

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії

(повна назва факультету)

Кафедра електричної інженерії

(повна назва кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

магістр

(назва освітнього ступеня)

на тему:

**РОЗРОБКА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОГО
СВІТИЛЬНИКА ДЛЯ ОСВІТЛЕННЯ ПТАШНИКА**

Виконав студент VI курсу, групи ЕТм-61
спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка

(шифр і назва спеціальності)

Сурмак В.В.
(прізвище та ініціали)

(підпис)

Керівник

Коваль В.П.
(прізвище та ініціали)

(підпис)

Нормоконтроль

Мовчан Л.Т.
(прізвище та ініціали)

(підпис)

Завідувач кафедри

Тарасенко М.Г.
(прізвище та ініціали)

(підпис)

Рецензент

Шелестовський Б.Г.
(прізвище та ініціали)

(підпис)

Тернопіль
2022

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота магістра містить пояснювальну записку та графічну частину. Пояснювальна записка має 73 сторінок, ___ аркушів формату А1 (слайдів), 37 ілюстрацій, 5 таблиць та 15 використаних першоджерел.

Об'єкт дослідження – процес перетворення електричної енергії у світлову.

Предмет дослідження – світлодіодний світильник із драйвером керування яскравістю.

Метою кваліфікаційної роботи є: дослідження умов світлового середовища для ефективного вирощування птиці та розробка світлодіодного світильника й дослідження його характеристик та драйвера

У роботі: Проаналізовано особливості використання світлодіодних світлових приладів для птахівництва, спроектовано світлодіодний світильник для приміщень в яких утримують в клітках на промисловому рівні стада птиці, проведено дослідження його характеристик, проведено аналіз алгоритмів керуванням освітлення, проведено моделювання роботи та дослідження драйвера в режимі широтно-імпульсної модуляції, який забезпечував реалізацію функції зміни яскравості світлодіодів.

Ключові слова: СВІТЛОДІОДНИЙ СВІТИЛЬНИК, ДРАЙВЕР, РЕЖИМИ ОСВІТЛЕННЯ, ТЕМПЕРАТУРНИЙ РЕЖИМ

ЗМІСТ

ВСТУП

1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ	9
1.1 Особливості світильників для птахівництва	9
1.2 Огляд освітлювальних приладів для пташників	9
1.3 Пристрої для керування освітленням птахофабрик	14
1.4 Висновки до розділу	17
2 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ	19
2.1 Обґрунтування конструкції світильника	19
2.2 Вибір матеріалу корпусу світильника	21
2.3 Світлодіодні джерела світла	23
2.4 Джерело живлення	29
2.5 Висновки до розділу	31
3 РОЗРАХУНКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ	33
3.1 Дослідження принципів організації освітлення для утримання промислового стада птиці у клітках	33
3.1.1 Проблеми освітлення у птахівництві	33
3.1.2 Традиційні освітлювальні системи у птахівництві	33
3.1.2 Енергозберігаюче освітлення для пташників	34
3.1.3 Енергоефективне світлодіодне освітлення у птахівництві	35
3.1.4 Електро-, пожежна безпека, захист освітлювальних систем	35
3.2 Аналіз алгоритмів керуванням освітленням	36
3.3 Експериментальне дослідження характеристик світлодіодного світильника	37
3.4 Визначення розташування світильника у просторі	42
3.5 Дослідження способів керування яскравістю LED світильника для пташника	45

3.5.1 Основні принципи керування яскравістю LED світильника на постійному струмі.....	45
3.5.2 Керованість драйверів в імпульсному режимі роботи та неперервному режимі роботи.....	47
3.5.3 Параметри керованості.....	48
3.5.8 Математична модель та моделювання драйвера світло діода.....	51
3.6 Аналіз отриманих даних.....	53
3.7 Втрати потужності в ПРР та НРР.....	54
3.7.1 Аналітична оцінка втрат.....	54
3.7.2 Аналіз експериментальних даних.....	59
3.8 Висновки до розділу.....	64
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	
4.1 Можливість виникнення статичної електрики та заходи боротьби з нею.....	65
4.2 Фізичні основи електробезпеки.....	67
4.3 Надзвичайні ситуації природного характеру.....	68
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	70
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	72

ВСТУП

Актуальність теми. Освітлення є важливим фактором успіху комерційного вирощування курей-несучок та бройлерів. Очікується, що до 2030 року попит на продовольство в усьому світі подвоїться. Щоб задовольнити цей попит, виробники курятини застосовують нові підходи до збільшення виробництва за менших витрат і з меншим навантаженням на навколишнє середовище. Загалом, основна увага приділяється покращенню традиційних факторів виробництва, таких як вода, повітря, поживні речовини та житло, проте освітлення заслуговує на більший інтерес.

Світло є важливим аспектом середовища існування тварин. Птахи реагують на світлову енергію різними способами, включаючи ріст і репродуктивну функцію. Цінність регулювання впливу світла на птицю та худобу для стимулювання репродукції була визнана протягом багатьох років і регулярно використовується комерційними птахівниками та фермерами.

Багато птахівників все ще використовують старі побутові та комерційні лампи розжарювання у своїх пташниках. Ці лампи не найкраще підходять для птиці. Дійсно, світло ламп розжарювання - це не те ж саме, що сонячне світло, і найкраще світло для людей не обов'язково є найкращим світлом для тварин.

Тварини звикли жити під сонячним світлом, спектр якого суттєво відрізняється від спектру світла лампи розжарювання. Сонячне світло - це поєднання всіх кольорів. Сучасна система освітлення ферми повинна намагатися імітувати сонячний спектр.

Світлодіоди є найбільш ефективним і екологічно чистим варіантом сільськогосподарського освітлення, що виробляє біле світло шляхом поєднання синього світлодіода з червоним і зеленим люмінофорами. Крім того, спектр майже безперервний. Крім того, що спектр світлодіодів не такий, як у денного світла, він максимально наближений до денного світла. Світлодіодні світильники мають найдовший термін служби, мають високу міцність, не сприйнятливі до ударів і вібрації, дозволяють змінювати колір і керувати

кольором. Навіть якщо світлодіоди мають високі початкові витрати, ці витрати швидко окупаються за рахунок економії електроенергії.

Актуальним є використання світлодіодного освітлення, задовольняючи унікальні вимоги птиці спектру світла. При цьому фермери можуть зменшити стрес і смертність, регулювати циркадний ритм і значно збільшити виробництво яєць, м'яса та інших джерел білка, при цьому різко скоротивши використання енергії та інші виробничі витрати.

Мета і завдання дослідження. Метою даної роботи є: дослідження умов світлового середовища для ефективного вирощування птиці та розробка світлодіодного світильника й дослідження його характеристик та драйвера.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

1. Проаналізувати особливості використання світлодіодних світлових приладів для птахівництва.
2. Спроекувати світлодіодний світильник для приміщень в яких утримують в клітках на промисловому рівні стада птиці. Провести дослідження його характеристик.
3. Провести аналіз алгоритмів керуванням освітленням.
4. Провести моделювання роботи та дослідження драйвера в режимі широтно-імпульсної модуляції, який забезпечував реалізацію функції зміни яскравості світлодіодів.

Об'єкт дослідження – процес перетворення електричної енергії у світлову.

Предмет дослідження – світлодіодний світильник із драйвером керування яскравістю.

Наукова новизна отриманих результатів.

Дістали подальший розвиток дослідження температурних режимів роботи світлодіодного джерела світла і силових елементів buck-драйвера. Досліджено роботу світильника в режимі широтно-імпульсної модуляції, який забезпечував реалізацію функції зміни яскравості світлодіодів.

Практичне значення отриманих результатів.

Виконано проект світлодіодного світильника для приміщень в яких

утримують в клітках на промисловому рівні стада птиці.

На основі аналізу алгоритмів керуванням освітленням, встановлено, що алгоритми переривчастого освітлення сільськогосподарських приміщень дозволяють ефективно підвищувати виробничі показники при вирощуванні курчат-бройлерів.

Апробація. Результати досліджень за темою кваліфікаційної роботи були представлені на ІХ Міжнародна науково-технічній конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій», 25-26 листопада 2021 року. ТНТУ [1]

Структура роботи. Робота складається зі вступу, 4 розділів, висновків та переліку посилань (15 найменувань).

Загальний обсяг текстової частини – 74 сторінок, 5 таблиць, 37 рисунків.

1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1 Особливості світильників для птахівництва

Конструкції світильників, виготовлених для промислових будівель, у пташниках не працюють. Причини криються у специфіці підприємств:

- на птахофабриках дуже жорсткі умови експлуатації: сильне запилення, часті миття обладнання апаратами високого тиску, підвищена температура;

- вирощування птиці відповідно до зоотехнічних норм передбачає високу рівномірність освітленості, періодичну зміну кількості світла, причому перехід з рівня на рівень не повинен викликати стресу у тварин, тобто обов'язково наявність функції «світанок/захід»;

- застосування світильників з традиційними лампами тягне за собою істотне збільшення витрат на обслуговування, оскільки цехи мають великі розміри, а при розміщенні освітлення всередині кліток, заміна ламп стає дуже непростим завданням для персоналу.

Оскільки лінії годування та напування розташовуються безпосередньо всередині кліткової батареї, розміщення світильників у проходах виявляється неефективним через численні тіні і нерівномірний розподіл світла по ярусах. Використовувати освітлення для пташника, застосовуючи лампи розжарювання або компактні люмінесцентні з патроном E27, досить складно через те, що вони вимагають періодичної заміни, яку важко робити всередині багатоярусної клітки. Також слід зазначити, що такі світильники при висоті підвісу менше 45 см нерівномірно освітлюють поверхню.

1.2 Огляд освітлювальних приладів для пташників

Використовувати світлодіодне освітлення для бройлерів у клітці – це найкраще рішення, що дозволяє усунути усі наявні проблеми. Так, розмістивши світлодіодний світильник завдовжки два метри в триметровій клітці, можна

отримати плавне розподілення світла всередині. Для того, щоб досягти однорідної освітленості по ширині клітки (з огляду на невелику висоту підвісу), світлодіоди всередині світильника розміщують у двох площинах під кутом один до одного. Подібне рішення застосувала компанія ТОВ "Резерв", проектуючи своє світлодіодне освітлення для бройлерів. LED-світильники оптимізовані для досягнення максимальної ефективності виробництва птахівництва.

Компанія серійно виготовляє широку лінійку світлодіодних світильників. Наймасовіші з них: LED-19.2, LED-15.4, LED-11.5, LED-7.7, LED-1.44. Усі вони мають подібний конструктив і відрізняються лише розмірами та кількістю встановлених світлодіодів. Всі світильники живляться 24В постійного струму, а управління яскравістю освітлення здійснюється ШІМ модуляцією.



Рисунок 1.1 - Світлодіодні світильники серії LED-XXX

Характеристики світильників:

- кількість світлодіодів 240 шт.;
- колір світіння теплий білий 2800-3200К;
- напруга живлення 24 V DC;
- ступінь захисту від пилу та вологи IP65;
- діапазон робочих температур $-20 \div +50^{\circ} \text{C}$;
- маса трохи більше 500 г.

Світильники потужністю 19,2 Вт зазвичай застосовуються в батьківських і бройлерних пташниках з підлоговим вмістом, де необхідні високі рівні освітленості, порядку 50-100 люкс. Діаграма спрямованості світлодіода 120 градусів дозволяє практично весь світловий потік, що випромінюється, направити вниз і, тим самим, підвищити ефективність LED лампи в порівнянні з лампою розжарювання або люмінесцентною.

Якщо птахофабрика використовує для утримання молодняку або бройлерів кліткове обладнання з кормовими жолобами, то найоптимальнішим варіантом системи освітлення буде застосування світильників потужністю 15,4 Вт, які розміщуються у проходах між клітками з інтервалом від 0,5 м до 2 м. Таке рішення дозволяє освітлювати корм у жолобах на рівні 50-100 лк та забезпечує комфортні умови для вирощування птиці.

При клітковому утриманні птиці в приміщеннях з освітленістю до 60 лк, наприклад, батьківське стадо або промислова несущка, застосовуються світлодіодні світильники меншої потужності: 11,5 Вт та 7,7 Вт. Світильник LED-7.7 був розроблений спеціально для яєчних птахофабрик, оскільки там за зоотехнічними нормами потрібен невисокий рівень освітленості, як правило, менше 20 лк.

Були проведені порівняльні експерименти з вирощування бройлерів, у яких використовувалися компактні люмінесцентні лампи та світлодіодне освітлення для клітини. Результати наведено у таблиці 1.1.

Австрійська фірма Orion [2] наголошує на застосуванні кольорових ламп. За твердженням розробників, монохромне освітлення має великі переваги перед білим: покращує конверсію корму, збільшує середні показники живої маси, збільшує однорідність птахів у групі і т. д. Втім, інші (теж голландські) фірми - виробники та постачальники обладнання, не так захоплено ставляться до можливостей монохромного освітлення. Світильники Orion дуже гарної якості, легко монтуються, мають високий рівень захисту. Система універсальна - є світильники вертикального розташування (їх використовують для освітлення пташників з підлоговим та клітковим вмістом) та горизонтальні (одно- та дволампові). Останні

призначені для установки всередину вольєрів. Лампи з цоколем G23 мають потужність 11Вт і 4 Вт споживає адаптер. Пристрій управління дозволяє регулювати силу світла ступенями від 100 % до 70 % або 55-50 %. Термін служби ламп 8000...10000 годин. При визначенні потрібної кількості світильників слід враховувати, що світловіддача зелених ламп вища, ніж білих, а червоних та синіх значно нижча. Це слушно і для лінійних люмінесцентних ламп.

Таблиця 1.1 - Результати порівняльного експерименту з вирощування бройлерів з використанням КЛЛ та світлодіодного освітлення для кліток бройлерів

Вік, дні	Середня вага бройлера, (КЛЛ)	Середня вага бройлера, (світлодіодна лампа)	Збільшення середнього приросту ваги, при застосуванні світлодіодних ламп
5	111,6	112,6	+0,9
10	251,3	252,7	+1,4
15	468,7	472,0	+3,3
20	745,2	753,3	+8,1
25	1073,0	1081,4	+8,4
30	1428,5	1444,5	+16
35	1781,2	1803,6	+22,4
40	2227,5	2258,6	+31,1

Світильники на основі металогалогенних лампи в Україні застосовують досить рідко. А в Європі вони використовуються активно з початку 90-х років. Таке освітлення пропонують, зокрема, фірми LLC (Франція) та Agrilight (Нідерланди). Для пташників застосовують лампи потужністю 75÷ 100 Вт. Їхню яскравість можна регулювати в діапазоні 3÷100% за допомогою спеціального ПРА. Лампи мають дуже високу світловіддачу, гарний індекс кольору та термін служби близько 20000 годин. Високий світловий потік цих світильників дозволяє обмежитися лише однією тросівкою посередині пташника, але при цьому вимагає великої

висоти підвісу отримання рівномірного освітлення. Таким обладнанням добре освітлювати приміщення з високою стелею без внутрішніх колон.

Для підлоги у Китаї застосовуються регульовані CCFL лампи (люмінесцентні лампи з холодним катодом) вітчизняного (китайського) виробництва. Їх пропонують місцеві виробники птахників та використовують місцеві птахівники.

Лампа CCFL потужністю 13Вт (за світловим потоком замінює лампу розжарювання потужністю 65 Вт) та регулюється звичайним тиристорним регулятором. У Європі такі лампи також використовують, як і регульовані CFL (люмінесцентні лампи з підігрівом електродів), але для освітлення кліток.

Світильник з U-подібною компактною люмінесцентною лампою з діапазоном регулювання яскравості 8...100% за допомогою спеціального димера наведено на рисунку 1.2.



Рисунок 1.2 - Світильник з U-подібною КЛЛ

Останнім часом на птахофабриках популярні батареї з великою кількістю ярусів кліток. Освітлення таких кліток складніше. Зазвичай світильники

підвішують у кілька ярусів за висотою. Виникає нова проблема: світильники, що низько висять, заважають персоналу при обслуговуванні. Цікавий вихід запропонований італійською фірмою TECNO. Вони підвісили світильники на тросах, висоту підвісу можна регулювати лебідкою (рис. 1.3).



Рисунок 1.3 - Підвіс світильників на тросах

Світильники дволампові: одна – лампа розжарювання, її яскравість можна регулювати, друга – звичайна компактна люмінесцентна.

1.3 Пристрої для керування освітленням птахофабрик

У конструкції систем автоматичного керування освітленням мають бути максимально враховані особливості експлуатації пристроїв за умов птахівницьких ферм.

Регульоване освітлення для птахофабрики - один із основних елементів

системи, що забезпечують технологію «безстресового» вирощування птиці. Так, якість світла безпосередньо впливає на прирости ваги, несучість, смертність, конверсію корму і багато інших параметрів технологічного процесу. Регульоване освітлення для пташника має на увазі не тільки можливість регулювання рівнів освітленості за певною програмою, але й функцію плавного увімкнення/вимкнення.

Енергозберігаюче світлодіодне освітлення для пташника вимагає використання спеціальних надійних приладів для регулювання яскравості.

На ринку птахівницького обладнання представлений спеціалізований прилад, що має всі необхідні для зоотехніки опції і дозволяє якісно керувати та використовувати світлодіодне освітлення у пташнику. Це шафа управління освітленням ШУО-05-СД (рис. 1.4) [3].



Рисунок 1.4 - Шафа керування освітленням ШУО-05-СД

Світлодіодна система [3] для освітлення пташників складається з комплекту світлодіодних світильників ДДУ02 STR2 П (рис. 1.5) (8 шт.), модуля живлення та блоку управління. Світлодіодні світильники з'єднані між собою кабелем. Світильники запитуються через роз'єм із ступенем захисту IP65. Світильники можуть кріпитися на опорній поверхні за допомогою монтажної

клямки або троса за допомогою гаків. Блок управління світильників має можливість встановлення попередньої максимальної потужності живлення світильників. Для автоматичного регулювання освітленості пташників підключається система керування освітленням "ЛЮКС-АЦ". Дана система дозволяє створювати регульоване висвітлення з високою рівномірністю.



Рисунок 1.5 - Світильник світлодіодний ДДУ02 STR2 П

Чотириканальне енергонезалежне реле часу «Ритм-202» (рис. 1.6) призначене для керування обладнанням за заданою програмою, у т.ч. обладнанням пташників на птахофабриках (освітлення, кормороздача, напувалки та ін). Вихід являє собою чотири перемикаючі контакти реле, програмовані за часом незалежно один від одного. Реле часу дозволяє встановити програму на 250 діб вперед. Складність програми мало обмежена. На панелі приладу відображається стан всіх каналів (увімкн./вимкн.) На 9-розрядному світлодіодному індикаторі відображається поточний час та кількість діб, що минула від початку роботи програми. За допомогою вбудованої клавіатури можна запустити програму з будь-якої з 250 діб роботи, зберігши при цьому поточний час. Можна налаштувати поточний час. Час підтримки ходу годинника та програми при відключенні від мережі - 10 років



Рисунок 1.6 – Реле часу "Ритм-202"

Для створення та програмування реле часу необхідний будь-який комп'ютер, що має COM-порт або USB (з адаптером USB-com). Програма для реле створюється швидко, у зручній та наочній формі, з автоматичною перевіркою помилок. Введені програми зберігаються на комп'ютері і можуть бути введені в прилади надалі, надруковані на принтері або скориговані на прохання зоотехніка. Програма записується за допомогою адаптера на носій інформації протягом кількох секунд, після чого він вставляється в спеціальний роз'єм реле часу, і пристрій починає працювати.

1.4 Висновки до розділу

1. Встановлено, що вирощування птиці відповідно до зоотехнічних норм передбачає високу рівномірність освітленості, періодичну зміну кількості світла, причому перехід з рівня на рівень не повинен викликати стресу у тварин, тобто обов'язково наявність функції «світанок/захід».

2. Застосування світильників з традиційними лампами тягне за собою істотне збільшення витрат на обслуговування, оскільки цехи мають великі

розміри, а при розміщенні освітлення всередині кліток, заміна ламп стає дуже непростим завданням для персоналу.

3. Використовувати світлодіодне освітлення для бройлерів у клітці – це найкраще рішення, що дозволяє усунути усі наявні проблеми. Так, розмістивши світлодіодний світильник завдовжки два метри в триметровій клітці, можна отримати плавне розподілення світла всередині. Для того, щоб досягти однорідної освітленості по ширині клітки (з огляду на невелику висоту підвісу), світлодіоди всередині світильника розміщують у двох площинах під кутом один до одного.

4. Регульоване освітлення для птахофабрики - один із основних елементів системи, що забезпечують технологію «безстресового» вирощування птиці. Так, якість світла безпосередньо впливає на прирости ваги, несучість, смертність, конверсію корму і багато інших параметрів технологічного процесу. Регульоване освітлення для пташника має на увазі не тільки можливість регулювання рівнів освітленості за певною програмою, але й функцію плавного увімкнення/вимкнення.

2 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

2.1 Обґрунтування конструкції світильника

Значний вплив на життєздатність, продуктивність бройлерів має світло. Найбільш сприятлива тривалість освітлення 13-14 год на добу, що відповідає світловому дню навесні. Короткий 7-8-годинний зимовий день негативно позначається на розвитку птиці: у темряві птах не поїдає корм, отже, споживає його за день менше, ніж необхідно для інтенсивного росту.

Особливістю освітлення при утриманні бройлерів у клітках (рис. 2.1) є забезпечення птахів рівномірним освітленням всередині клітки.

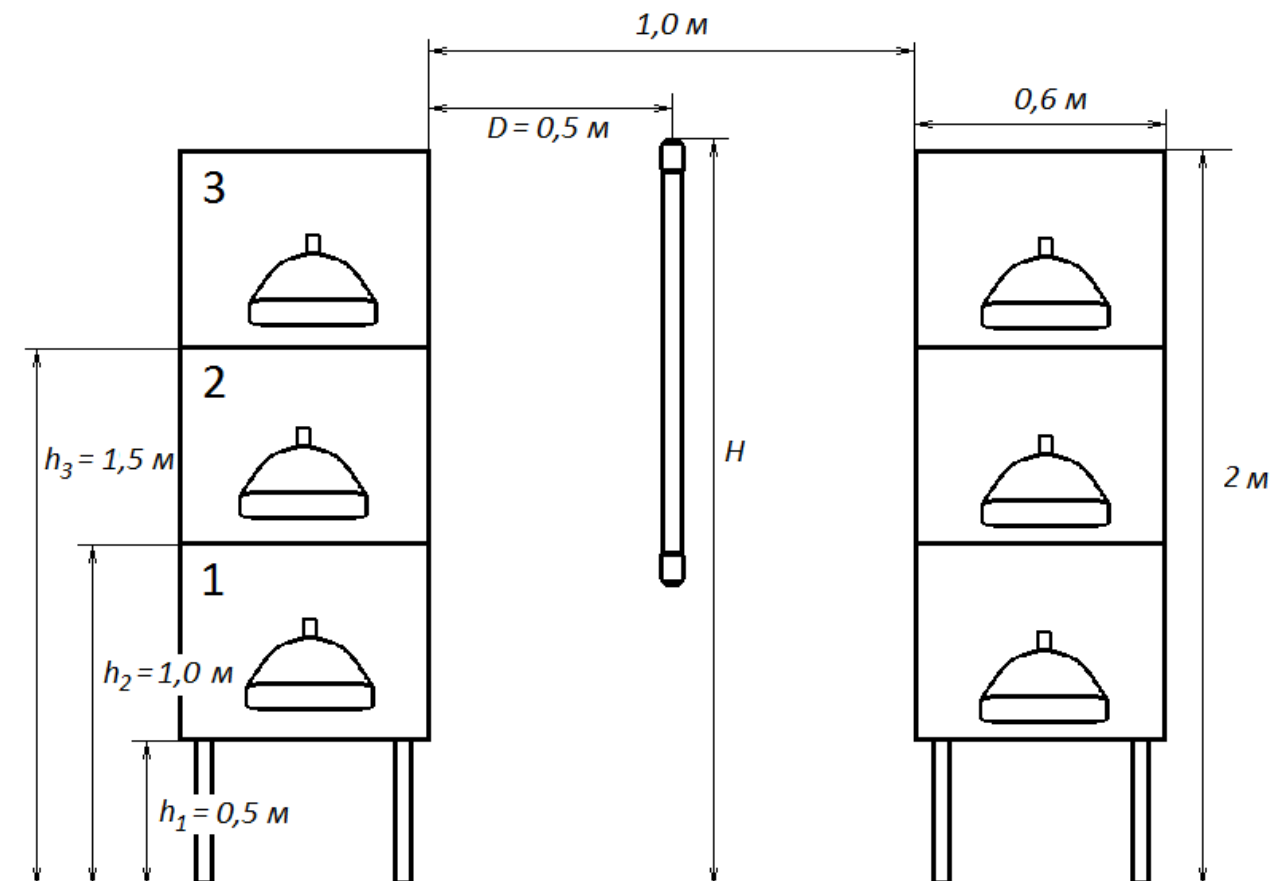


Рисунок 2.1 – Схема розташування світильника

На підставі цього розроблено рекомендації щодо використання світлових режимів. Нормальний світловий день в осінньо-зимовий період забезпечують

за рахунок додаткового освітлення. Головне завдання освітлення бройлерних кліток – освітити годівниці. Освітлення таких кліток проводиться розміщенням світильників у проходах між батареями, при цьому освітлюється кормовий жолоб. При утриманні в клітках птиці світильники підвішують рівномірно на відстані 30 см від верхнього краю батареї в середині проходу через кожні 4 м. Оптимальний показник для бройлера при підлоговому утриманні - 25-40 лк, в клітках - 40-50 лк [4].

Вибираючи світлодіодне освітлення для пташників, рекомендується звертати увагу на такі моменти:

- великі (довгі) світильники кращі, оскільки чим компактніший корпус і вища щільність світлодіодів, тим сильніше він гріється;
- краще, якщо у світильнику багато малопотужних світлодіодів, оскільки застосування кристалів від 0,5 Вт завжди пов'язане із підвищеним нагріванням;
- світильник з радіатором неприйнятний для використання в пташнику, оскільки при забрудненні радіатора різко зростає температура кристалів, а при нагріванні знижується як термін служби світлодіода, так і його світловіддача;
- світлодіодне освітлення для пташника з холодними на дотик працюючими світильниками прослужить значно довше, ніж з нагрітими.

Для системи освітлення сучасної птахофабрики базовими елементами є герметичні світлодіодні світильники. У середині їх корпусу розміщені плати зі світлодіодами, кабелі та роз'єми. Масагабаритні характеристики світильника визначаються, в першу чергу, параметрами радіатора, необхідного для ефективного відведення тепла від світловипромінюючих елементів.

При проектуванні LED-світильника для утримання бройлера в клітці, необхідно дотримуватися наступних рекомендацій:

- конструкція LED-світильника повинна бути розроблена так, щоб була можливість з'єднати в єдину лінію кілька джерел, створюючи тим самим безперервну систему освітлення на певній ділянці для формування всередині клітки з птахом рівномірного світла;

- конструкція LED-світильника повинна бути вологонепроникною, щоб корпусу та елементам нічого не загрожувало від попадання струменів води, а також підвищеної вологості всередині приміщення;
- всі елементи LED-світильника повинні бути зроблені з ударостійкого пластику, щоб позбавити необхідності монтувати дроти в захисних коробах і встановлювати розподільні коробки;
- електрична безпека та ступінь захисту LED-світильників має бути високою.

У розроблюваному світильнику (рис. 2.2) світлодіоди монтується на спеціальну плату МСРСВ (Metal Core Printed Circuit Board), що є алюмінієвою підкладкою, на яку за допомогою тонкого шару діелектрика монтується окремі світлодіоди та допоміжні елементи.

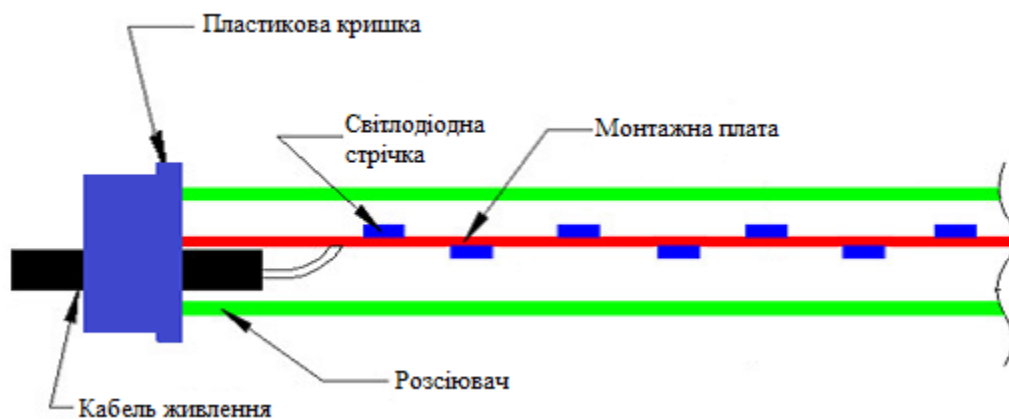


Рисунок 2.2- Схема конструкції світильника

Плата МСРСВ розташована усередині пластикової трубки. Для забезпечення герметичності по обидва боки корпус закривається пластиковою кришкою. Пластиковий корпус має безпосередній контакт із навколишнім середовищем. Здійснимо вибір кожного з цих елементів та їх характеристик.

2.2 Вибір матеріалу корпусу світильника

При проходженні світла через розсіювач світильника втрати повинні бути мінімальними і становити не більше 10%. Для забезпечення цієї вимоги

вибираємо оптично прозорий ударостійкий полікарбонат, виготовлений із сировини Macrolon® німецької компанії BAYER. Важливою властивістю є стійкість до ультрафіолетового випромінювання та дії дезінфікуючих розчинів. Цей матеріал при діаметрі 30 мм та товщині стінки корпусу світильника 1,5 мм пропускає 90 % світла.

Якщо розсіювач виготовити з китайської сировини, цей показник буде помітно гіршим. Крім того вторинний полікарбонат, який використовують деякі фірми, має не тільки меншу прозорість, але й має властивість з часом жовтіти. Для особливо жорстких умов експлуатації можна використовувати як матеріал для корпусів світильників акрилове скло (поліметилметакрилат або РММА), коефіцієнт світлопропускання якого досягає 92%. Але РММА - тендітний матеріал і тому при екструзії профілів для світильників необхідно додавати спеціальну присадку "high impact", яка робить світильник ударостійким. Ця присадка знижує прозорість приблизно на 2%, внаслідок чого міцний акриловий світильник має такий самий коефіцієнт світлопропускання, як і полікарбонатний.

Відсутність різного виду засувок у корпусі світильників гарантує їх тривалу експлуатацію при частому митті. З торців світильник захищений від попадання води та пилу сальниками підвищеної герметичності PG7 (діаметр провідника 5-6мм), забезпечуючи герметичність світильнику IP548. Сальник призначений для введення проводів та кабелів з метою захисту провідників від механічних пошкоджень та захисту від проникнення пилу та вологи у місці введення. Сальник (рис. 2.3) складається з корпусу, ущільнювача, гайки ущільнення, прокладки, що фіксує гайки. Ущільнювач та прокладка виготовлені з неопрену. Корпус, гайка ущільнення та фіксуюча гайка виготовлені з нейлону. Установка сальника відбувається за допомогою трубного (газового) ключа. Діапазон робочих температур – від -40 до 80°C.



Рисунок 2.3- Сальник PG7

2.3 Світлодіодні джерела світла

Світлодіодне джерело світла складається з напівпровідникових тепловиділяючих елементів із нелінійними температурними властивостями. Надійність і вихідні характеристики світлодіодних світильників тісно пов'язані з температурою світловипромінюючих кристалів світлодіодів, що входять до них. Від дотримання теплового режиму роботи світлодіодів залежать як мінімум два основні параметри:

- світловий потік світильника;
- деградація світлодіодів у часі.

При проектуванні світлодіодного джерела світла враховуються:

- забезпечення необхідного значення світлового потоку;
- допустиме зменшення ціни світильника;
- зменшення вагогабаритних параметрів світильника.

Оскільки світловий потік, що випромінюється світлодіодом, залежить від струму, що протікає (рис. 2.4), питання побудови тепловідведення з оптимальними вагогабаритними характеристиками для тепловиділяючих елементів ґрунтується на виборі оптимального діапазону споживаного струму світлодіодами при забезпеченні робочого режиму тепловідведення радіатором.

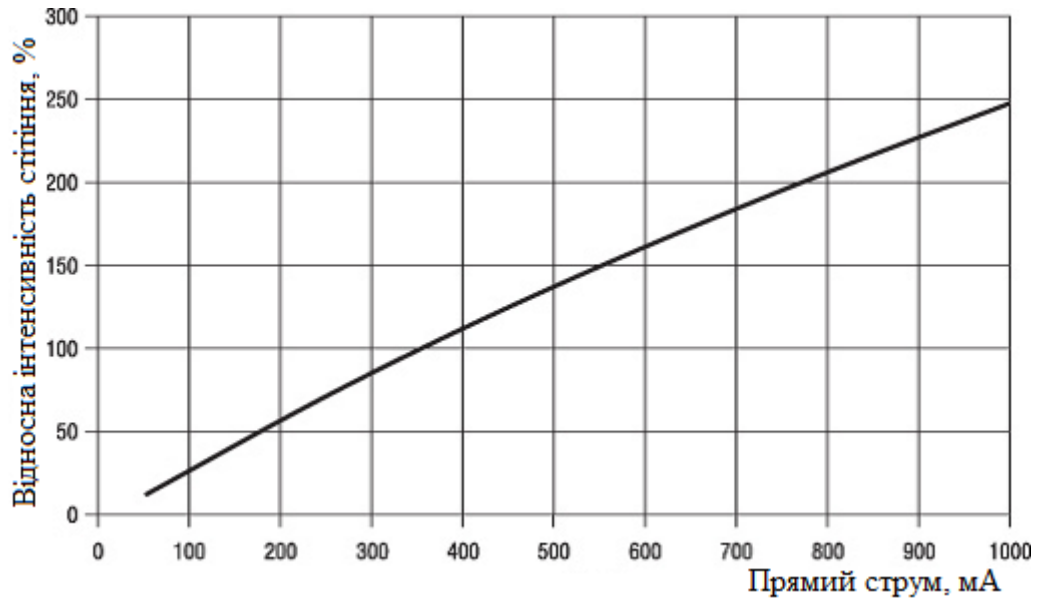


Рисунок 2.4 – Залежність інтенсивності світіння від величини прямого струму для світлодіодів

Кількість світлодіодів, необхідна для забезпечення заданого світлового потоку, залежить від споживаного струму. Так, при зменшенні споживаного струму світлодіодним джерелом світла для забезпечення світлових вимог необхідно збільшувати кількість світлодіодів.

Кількість світлодіодів, необхідних для забезпечення необхідного світлового потоку, нелінійно залежить від струму світлодіодів. Збільшення кількості світлодіодів призводить, своєю чергою, до подорожчання вартості самого світлодіодного світильника. Економічна ефективність побудови таких світлодіодних світильників значно знижується.

Деградація світлодіода є зміною первинних хімічних і фізичних властивостей світловипромінюючого кристала, а для світлодіодів білого спектра випромінювання та люмінофора з часом. Деградація проявляється у зменшенні світлового потоку, аж до повної втрати світла світлодіода, а також зміщення спектра світла світлодіода, як правило, в область синього. Це явище притаманне будь-якому світлодіоду за будь-яких умов, але неправильна експлуатація призводить до збільшення швидкості деградації в десятки разів. Однією з основних причин прискореної деградації є недотримання теплового

режиму світлодіода. При підвищенні температури активної області світлодіода на 10°C світловий потік знижується приблизно на 2,5% (рис. 2.5).

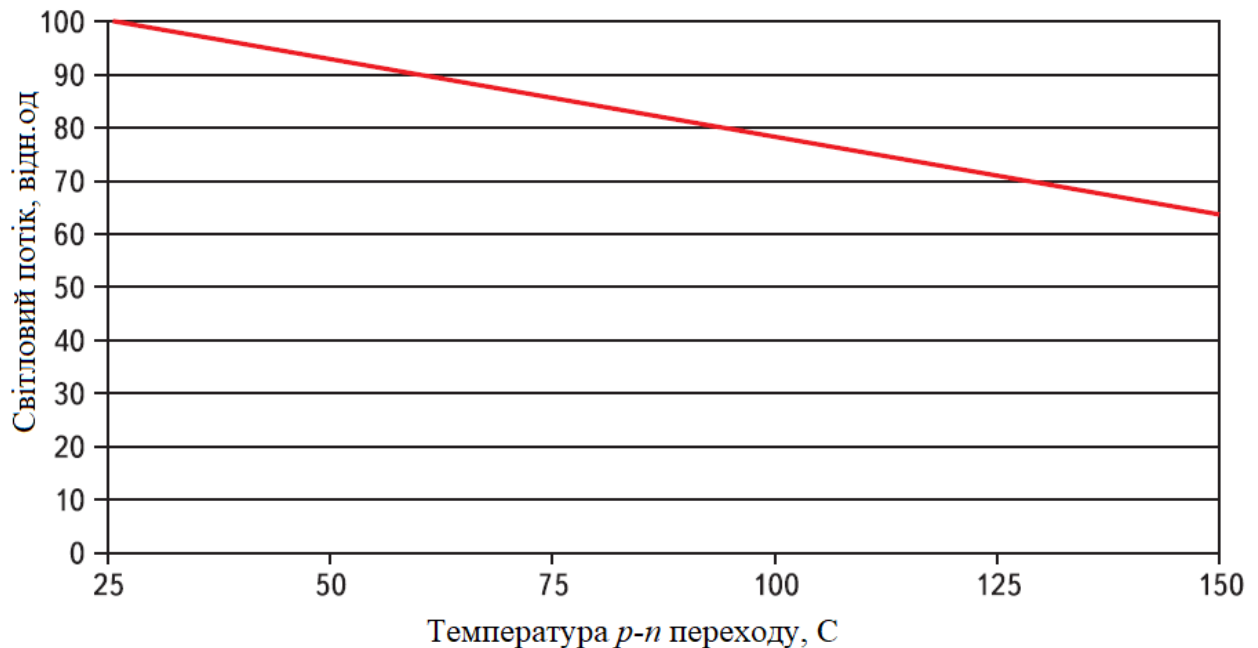


Рисунок 2.5 - Залежність світлового потоку від активної температури області

Таким чином, як правило, зниження світлового потоку світильника спостерігається не відразу на початку експлуатації світлодіодних світильників, а лише через деякий час, який безпосередньо залежить від правильно спроектованого тепловідведення, для якого може використовуватися алюмінієвий корпус самого світильника. В результаті можна говорити про швидкість деградації, яка у разі правильної експлуатації та дотримання теплового режиму на кристалі дозволяє досягти часу використання світлодіода до 50000 і 100000 годин при зниженні світлового потоку на прогнозовану величину, що враховується при розробці та виробництві світильників.

На підставі цього можна зробити висновок, що відведення тепла від кристала світлодіода є однією з основних вимог при проектуванні та виробництві світлодіодних світильників.

Як номінальну робочу температуру підкладки світлодіода виберемо

+55°C, що є можливим реально досяжним значенням при температурі навколишнього середовища до +45°C (наприклад, корпуси для вирощування бройлерів при розміщенні світильників під стелею). Падіння світлового потоку по відношенню до контрольного рівня при +55°C може становити до 20-25%, що є негативним фактором та знижує ефективність використання світлодіода.

З урахуванням вищесказаного вибираємо відкриту гнучку надяскраву світлодіодну стрічку SMD 5050 IP67 на самоклеючій основі 3М на білій основі з характеристиками (рис. 2.6):

- колірна температура 4500-5000К;
- світловий потік 960 лм/м;
- кут 120 градусів;
- ступінь захисту IP67;
- термін служби 50 000 годин;
- робоча температура -40° С до +60° С;
- тип діодів SMD 5050 (5·5 мм) (рис. 2.7);
- 60 світлодіодів на метр;
- напруга DC 24;
- споживана потужність 14 Вт на 1 метр;
- струм 0,6 А.

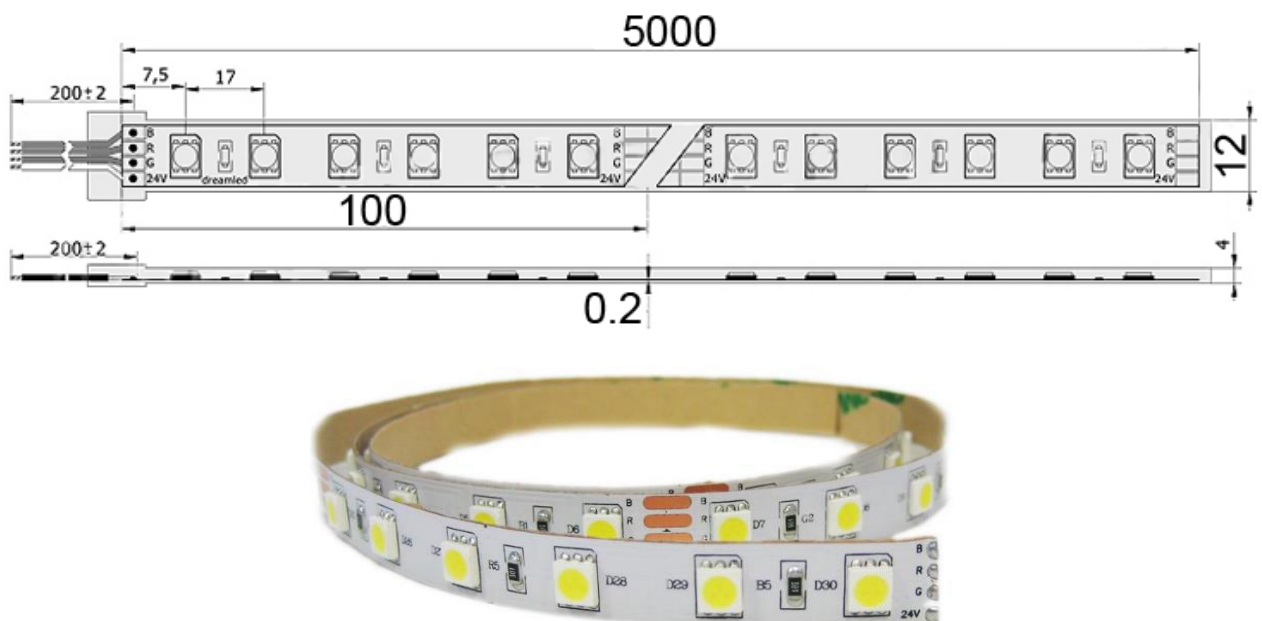


Рисунок 2.6 – Світлодіодна стрічка SMD 5050 IP67

Переваги світлодіодної стрічки SMD:

- легка система кріплень, 3М основа;
- низьке тепловиділення;
- малі розміри, можливість різання кратно 100 мм (6 світлодіодів);
- стабільна яскравість у всьому температурному діапазоні;
- тривалий ресурс роботи.

Світлодіодна стрічка SMD монтується на металеву друкарську плату МСРСВ NEO-L-2x5ХРМХ (рис. 2.8), яка складається з металевої основи, в якості якої використовується лист з алюмінієвого сплаву товщиною 1,5 мм, шару діелектрика, що має підвищену, порівняно зі звичайними матеріалами, теплопровідність та мідну фольгу.

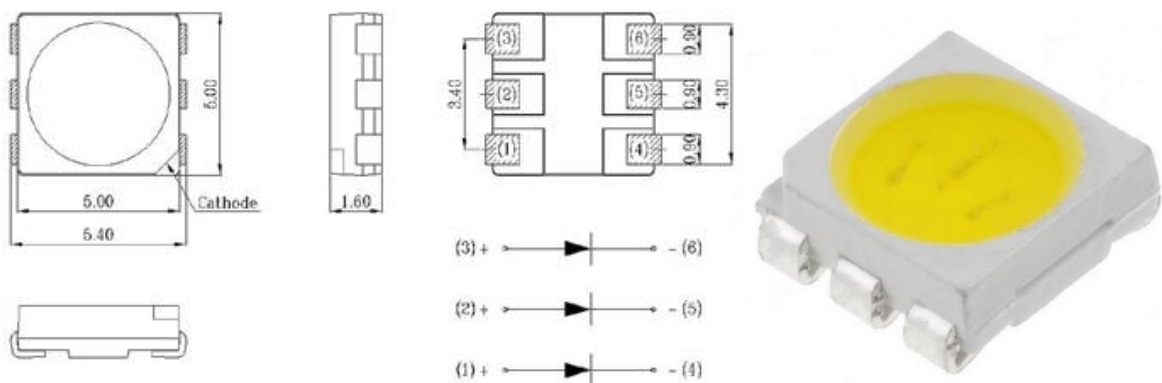


Рисунок 2.7 - Світлодіод 5050

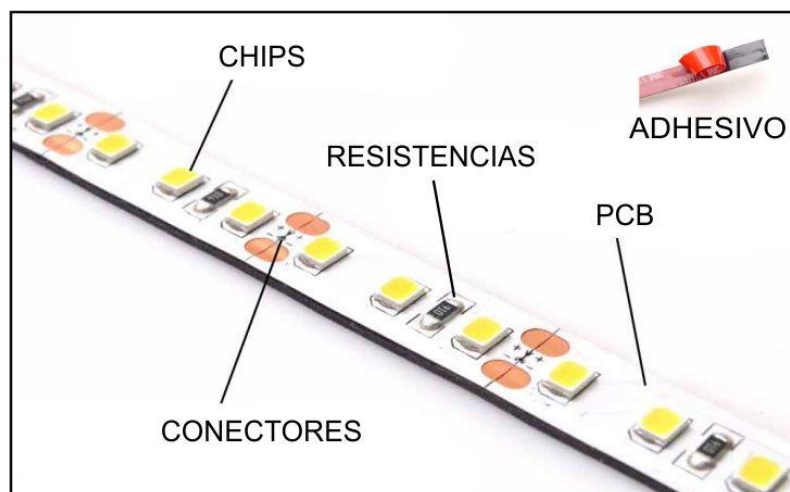


Рисунок 2.8 – Плата МСРСВ

Теплопровідність діелектричного шару $0,5 \div 5$ Вт/м·К, завдяки невеликій товщині діелектричного шару (як правило від 50 до 200 мкм) такі плати мають низький тепловий опір. Типові значення теплового опору між світлодіодом та основою плати становлять від десятих до одиниць ватів на кельвін.

Технологія виготовлення МСРСВ, а також вимоги до мінімальних розмірів та допусків практично повністю аналогічні звичайним друкованим платам. Для покращення фотометричних характеристик на плату може бути нанесена маска білого кольору з покращеним коефіцієнтом відображення, стійка до теплових дій. Вона не жовтіє у процесі паяння компонентів у тунельній печі.

Світлодіод SMD 5050 має склад корпусу, показаний на рис. 2.9. На рис.2.10 наведено світлотехнічні характеристики світлодіода SMD 5050.



Рисунок 2.9 - Корпус світлодіода 5050

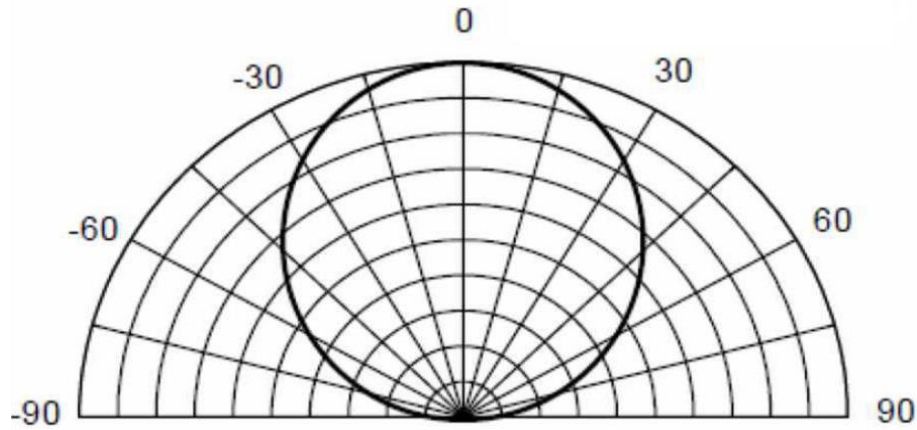


Рисунок 2.10 – Типова полярна діаграма спрямованості випромінювання

2.4 Джерело живлення

Система, що забезпечує світлодіодне освітлення в пташнику - це не одиничний світильник, а цілий комплекс обладнання, що включає кілька сотень світлодіодних ламп, прилади управління режимами, джерела живлення, кілометри кабельної продукції і безліч проміжних з'єднань. Надійність системи освітлення для пташника визначатиметься найслабшою ланкою. Якщо розглядати світлодіодне освітлення в цілому, то найчастіше слабка ланка - це джерело живлення, що має у своєму складі електролітичні конденсатори.

Світлодіоди є низьковольтними споживачами енергії і навіть при їх послідовному з'єднанні напруга живлення, як правило, не перевищує 24 В. Тому доводиться застосовувати перетворювачі змінної напруги 220 В в постійну, які містять електролітичні конденсатори, що працюють при підвищених пульсаціях.

Термін служби конденсаторних елементів сильно залежить від температури навколишнього середовища та, власне, від величини цих пульсацій. Ці параметри тісно пов'язані один з одним, і при підборі обладнання необхідно звертати увагу на кілька моментів:

- наскільки якісно організовано тепловідведення від джерела живлення. Сучасні імпульсні джерела, що застосовуються зі світильниками, мають ККД близько 80-90%. Відповідно, 10-20% потужності йтиме в тепло.

Якщо розмістити джерела живлення в малому обсязі і не влаштувати належним чином тепловідведення, через рік-два експлуатації система почне давати збої. В цьому випадку доведеться нести додаткові витрати на ремонт та обслуговування, хоча самі світильники будуть справними;

- якість та надійність самого джерела живлення. Імпульсний перетворювач є складним електронним пристроєм. Якщо в гонитві за прибутком вам продали дешевий продукт від невідомого виробника, то крім сумнівної надійності можна отримати підвищення нагрівання через низький ККД і, як наслідок, передчасний вихід з ладу конденсаторів або інших елементів;

- режим роботи блоку живлення. У пташнику навколишня температура може досягати 40°C, що знижує ефективність охолодження приладів. Тому для довговічної роботи краще мати запас з потужністю не менше ніж 15-20%.

Світлодіоди не можна безпосередньо підключати до джерела живлення, для надійної та довговічної роботи вони повинні житись фіксованим струмом, що не перевищує номінальне значення, встановлене виробником. Тому будь-яка схема світлодіодного світильника повинна містити струмообмежуючі елементи, на яких, у сукупності з проводами, втрачається близько 10% потужності, що віддається джерелом живлення.

Використовуємо джерела постійної напруги компанії MeanWell (провідний виробник імпульсних джерел живлення). Джерело живлення MDR-20-24 (рис. 2.11) для перетворення напруги в стабілізовану напругу являє собою одноканальний, модульний AC/DC-перетворювач універсального застосування, призначений для енергозабезпечення електроприладів з постійною напругою 48 В.

Характеристики блоку живлення MDR-20-24 Mean Well [6]:

- тип блоку живлення: імпульсний;
- кількість фаз 1;
- потужність 24 Вт;
- вхідна напруга AC 85-264;

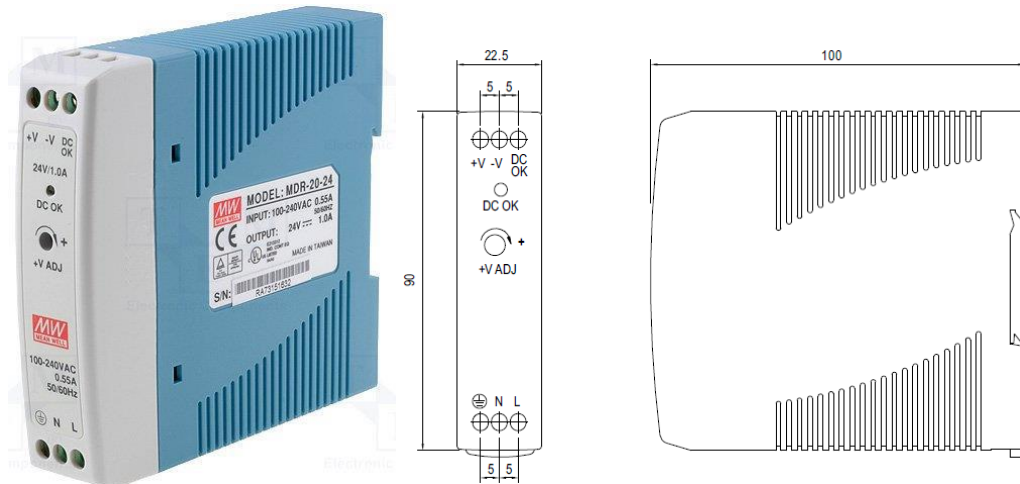


Рисунок 2.11 - Блок живлення MDR-20-24 Mean Well

- вхідна напруга DC 120-370;
- вихідна потужність 350 Вт;
- мінімальна робоча температура -20°C ;
- максимальна робоча температура 60°C ;
- ККД 84 %;
- захист від короткого замикання;
- захист від перевантаження та перегріву;
- ступінь захисту IP20;
- тип контактів: клемна колодка для входів та виходів;
- корпус для монтажу на DIN-рейку

Потужність джерела живлення для світлодіодної стрічки (12 В DC) розраховується виходячи із споживаної потужності LED стрічки на 1 м необхідної довжини: $P_{\text{стрічки}} \text{ (Вт/м)} \cdot L_{\text{стрічки}} \text{ (м)} = P_{\text{ін}} \text{ (Вт)} + 20\% P_{\text{ін}} = 14 \text{ Вт/м} \cdot 2 \cdot 0,9 \text{ м} + 20\% = 30,2 \text{ Вт}$.

2.5 Висновки до розділу

1. Встановлено, що проектуючи світлодіодне освітлення для пташників, рекомендується звертати увагу на такі моменти:

- великі (довгі) світильники краці, оскільки, що компактніший

корпус і вища щільність світлодіодів, тим сильніше він гріється;

- краще, якщо у світильнику багато малопотужних світлодіодів, оскільки застосування кристалів від 0,5 Вт завжди пов'язане із підвищеним нагріванням;

- світильник з радіатором неприйнятний для використання в пташнику, оскільки при забрудненні радіатора різко зростає температура кристалів. При нагріванні знижується як термін служби світлодіода, так і його світловіддача;

- світлодіодне освітлення для пташника з холодними на дотик працюючими світильниками прослужить значно довше, ніж з нагрітими.

2. При проектуванні LED-світильника для утримання бройлера в клітці, необхідно дотримуватися наступних рекомендацій:

- конструкція LED-світильника повинна бути розроблена так, щоб була можливість з'єднати в єдину лінію кілька джерел, створюючи тим самим безперервну систему освітлення на певній ділянці для формування всередині клітки з птахом рівномірного світла;

- конструкція LED-світильника повинна бути вологонепроникною, щоб корпусу та елементам нічого не загрожувало від попадання струменів води, а також підвищеної вологості всередині приміщення;

- всі елементи LED-світильника повинні бути зроблені з ударостійкого пластику, щоб позбавити необхідності монтувати дроти в захисних коробах і встановлювати розподільні коробки;

- електрична безпека та ступінь захисту LED-світильників має бути високою.

3. Запропоновано конструкцію світильника, в якому світлодіоди монтуються на спеціальну плату. Плата розташована усередині пластикової трубки. Для забезпечення герметичності по обидва боки корпус закривається пластиковою кришкою.

4. Проведено аналіз світлотехнічних та електричних характеристик використаних у світильнику світло діодів.

5. Наведено аналіз та характеристики блока живлення світильників.

3 РОЗРАХУНКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ

3.1 Дослідження принципів організації освітлення для утримання промислового стада птиці у клітках

3.1.1 Проблеми освітлення у птахівництві

Сучасна система освітлення пташника має відповідати сучасним вимогам до енергозбереження, а також відповідати технологічним вимогам утримання [3].

Відомо, що у приміщеннях для утримання в клітках та підлогового утримання курей штучне освітлення суттєво впливає на техніко-економічні показники виробництва.

У жодній галузі тваринництва використання світла не набуло такого значення, як у птахівництві, де освітлення птиці є одним із найбільш енергоємних технологічних процесів, на частку якого припадає близько 50 % усієї споживаної електроенергії. Птахівництво несе великі економічні витрати, пов'язані з інтенсифікацією технології годівлі та утримання птиці.

Значні витрати електроенергії на освітлення та постійне зростання цін на електроенергію не менше ніж на 10% щороку змушують вчених та виробників зайнятися пошуком ефективних енергозберігаючих джерел освітлення.

В умовах жорсткої конкуренції власники сільгосп підприємств змушені серйозно підходити до вибору систем освітлення, прораховувати можливі наслідки на рік наперед.

3.1.2 Традиційні освітлювальні системи у птахівництві

На даний час із запровадженням нової технології утримання тварин спостерігається все більша ізоляція їх від природного середовища, тому зростає роль штучного світла та освітлювальних установок.

Донедавна у птахівництві найпоширенішими джерелами світла були

лампи розжарювання (ЛР) та традиційні люмінесцентні лампи (ЛЛ). Кожні з них мають свої переваги та недоліки.

Для штучного освітлення застосовують лампи розжарювання, випромінювання яких на 10-40 % складається з видимого світла.

Їх позитивними показниками є:

- невеликі розміри,
- простота пристрою,
- невелика вартість.

Водночас недоліки ламп розжарювання:

- порівняно невелика світлова віддача;
- велика яскравість розпечених ниток, які негативно діють на зір;
- порівняно короткий термін служби (800 -1000 год),
- значна енергоємність.

До цього слід додати, що у багатьох країнах реалізується програма заборони застосування як джерела світла ламп розжарювання.

Люмінесцентні лампи у зв'язку з більш тривалим терміном їх експлуатації та більшою світловіддачею у порівнянні з лампами розжарювання привертають дедалі більшу увагу птахівників. За деякими даними у світі на люмінесцентні лампи припадає близько 70% всіх джерел штучного світла. Вони дозволяють зменшити витрати електроенергії в 3-5 разів у порівнянні з лампами розжарювання.

3.1.2 Енергозберігаюче освітлення для пташників

Попит на енергозберігаюче освітлення для пташників виріс останніми роками кілька разів. Це пов'язано з кількома причинами:

- постійне зростання цін на електроенергію;
- короткий термін служби ламп розжарювання;
- покращення характеристик світлодіодних світильників;
- підвищення вимог до екологічної безпеки.

У сукупності ці фактори призвели до масової відмови птахівників від

придбання систем освітлення на лампах розжарювання та пошуку більш економічних рішень.

В даний час енергозберігаюче освітлення для птахофабрик розвивається за трьома напрямками: застосування компактних люмінесцентних ламп, лінійних люмінесцентних ламп та світильників на основі світлодіодів. Кожен із напрямків має певні переваги та недоліки, а також різні перспективи на найближчі роки.

3.1.3 Енергоефективне світлодіодне освітлення у птахівництві

Найперспективніший напрямок – енергозберігаюче світлодіодне освітлення [7,8] для птахофабрик. Останнім часом світильники на основі світлодіодів знаходять все більше застосування у різних галузях народного господарства, птахівництво теж не є винятком.

На сьогоднішній день спостерігається підвищена увага до світлодіодів як найбільш енергоефективних джерел світла. У сільському господарстві, як одній з найбільш енергозатратних галузей, застосування світлодіодних систем найбільш актуальне, оскільки дозволяє знизити собівартість продукції. Сучасна наука створила напівпровідникові джерела світла, які часом можуть бути без заміни протягом усього життєвого циклу устаткування всередині пташника. Також завдяки безпечній напрузі живлення та довговічності такі світильники опиняються поза конкуренцією при розміщенні всередині кліток. При цьому за показником світловіддачі (лм/Вт) світлодіоди випередили люмінесцентні лампи, а за ціною такі системи освітлення для птахофабрики вже можна порівняти з ними [9].

3.1.4 Електро-, пожежна безпека, захист освітлювальних систем

Виходячи з вимог щодо вирощування та утримання птиці та сільськогосподарських тварин через певний час приміщення піддаються інтенсивному миттю водою апаратами високого тиску із застосуванням

агресивних миючих та дезінфікуючих засобів. Наприклад, при вирощуванні курчат-бройлерів процес повної обробки та миття всього обладнання відбувається кожні 40-50 діб. Застосування світильників, в ланцюгу живлення яких використовується напруга промислової мережі 220 В (лампи розжарювання або люмінесцентні лампи) тягне за собою небезпеку виникнення ситуацій, коли через втрату герметичності корпусу світильника або пошкодження кабелів живлення, можливе ураження електричним струмом обслуговуючого персоналу або виникнення пожежі. У світлодіодних світильниках може використовуватися низька напруга живлення,

Система IP (Ingress Protection Rating) – система класифікації ступенів захисту оболонки електрообладнання (electrical enclosure equipment) від проникнення твердих предметів та води відповідно до міжнародного стандарту IEC 60529 (DIN 40050, ГОСТ 14254-96). Відповідно до цього ГОСТ ступінь захисту світильників для пташників має бути не нижчим за IP 65 (повний захист від проникнення пилу і випадкового проникнення, захист від попадання струменів води, що падають під будь-яким кутом), оскільки працювати їм доводиться у досить жорстких умовах: висока концентрація пуху, пилу, загазованість; під час санітарної обробки пташника світильники піддаються миттю під сильними струменями води.

3.2 Аналіз алгоритмів керуванням освітленням

Алгоритми переривчастого освітлення сільськогосподарських приміщень дозволяють ефективно підвищувати виробничі показники при вирощуванні курчат-бройлерів, утриманні промислового стада курей-несучок, ремонтного молодняку, батьківського стада, а також тварин. Зокрема, останніми роками при виробництві курячих яєць інтерес до режимів переривчастого освітлення помітно зріс. Це викликано тим, що, на відміну від режимів неперервного освітлення, переривчасте дозволяє не тільки збільшувати несучість, масу яєць, міцність шкаралупи, тривалість використання курей - несучок, але й одночасно знизити витрати корму, відхід поголів'я, витрату електроенергії.

Реалізація режимів переривчастого освітлення на лампах розжарювання тягне за собою використання малоефективних, з точки зору споживання електроенергії, технологій, що призводять до скорочення і так невеликого терміну служби таких ламп.

Люмінесцентні лампи без застосування спеціальних елементів, так званих баластів, не дозволяють регулювати рівень освітленості в приміщенні нижче, ніж 30-50% від максимального.

Вартість світильників з можливістю такого регулювання зростає у кілька разів і зрівнюється з вартістю світлодіодного світильника, споживання електроенергії якого у 2-2,5 рази менше, а термін служби більший у 5-8 разів.

Застосування світлодіодних світильників з використанням широтноімпульсної модуляції (ШІМ) дозволяє реалізовувати режими переривчастого освітлення максимально ефективно з точки зору енергоспоживання, за низької вартості обладнання та високої надійності.

3.3 Експериментальне дослідження характеристик світлодіодного світильника

Для спроектованого світильника було здійснено вимірювання світлотехнічних характеристик та температурного режиму. Для цього використовувалися наступні прилади та обладнання:

- тепловізор;
- люксметр;

Після виходу світильника в режим були проведені вимірювання, в результаті чого отримані графіки залежності вертикальної освітленості від відстані (рис. 3.1). Фотометричні тіла побудовані відповідно до паспортних даних світлодіодів (рис. 3.2, 3.3).

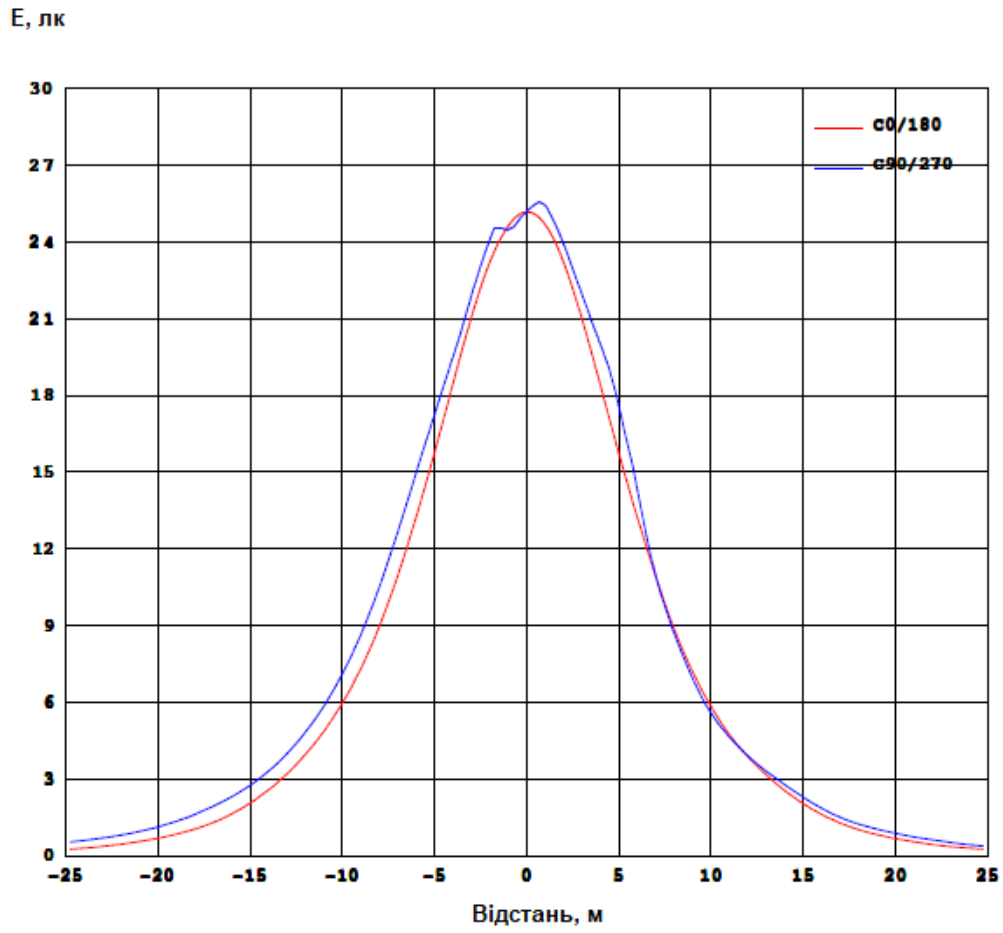


Рисунок 3.8 – Графіки залежності освітленості від відстані

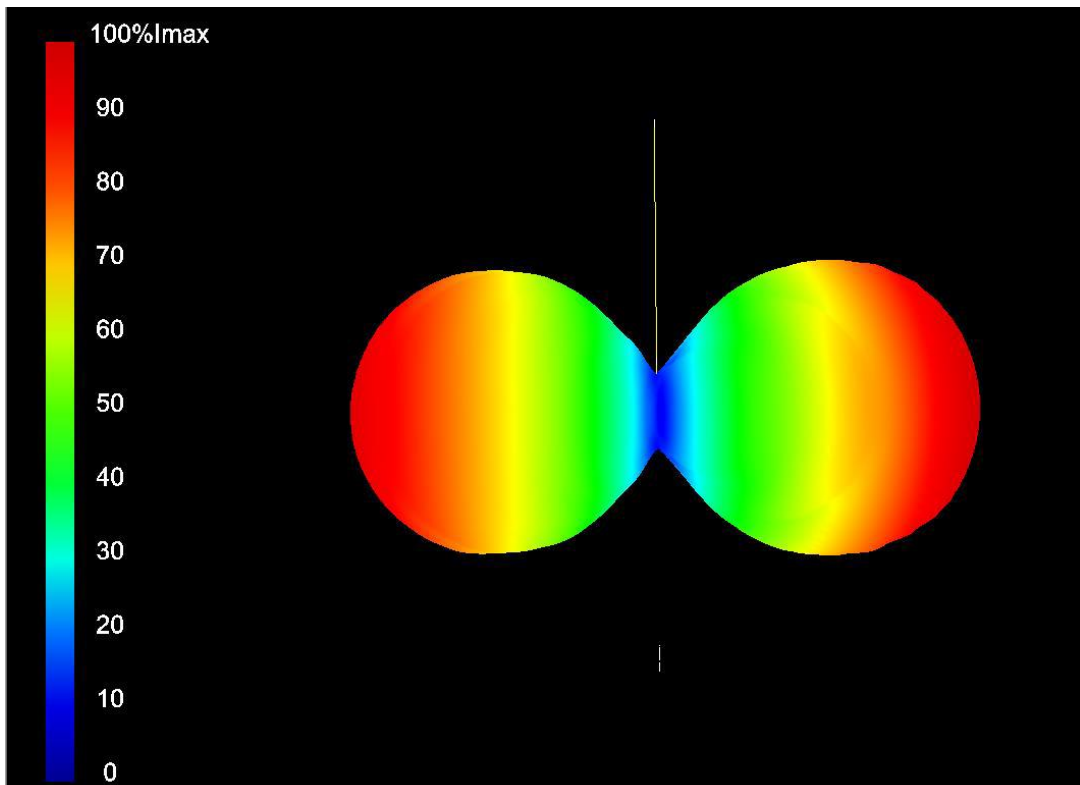


Рисунок 3.2 - Фотометричне тіло у меридіональній площині

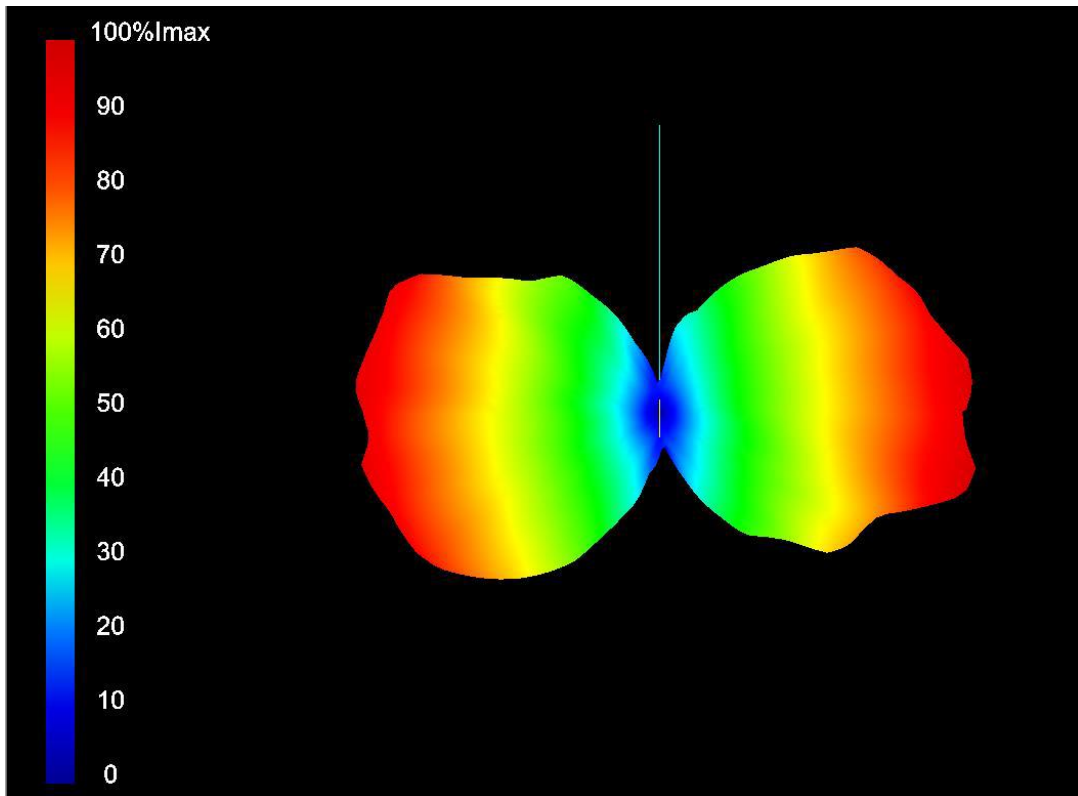


Рисунок 3.3 - Фотометричне тіло в екваторіальній площині

Електричні та світлові характеристики світильника:

- світловий потік 1557 лм;
- світлова віддача 49 лм/Вт;
- потужність 32 Вт;
- максимальна сила світла 270 кд.

Результати вимірювання температурного режиму світильника наведені на рисунках 3.4-3.7.

Також було проведено виміри освітленості у точках розташування годівниць від світильника з різною орієнтацією світлодіодів, результати яких наведено у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 Освітлення на кормушках

H, м	Освітленість при орієнтації світлодіодів, лк		
	На кормушку	Під кутом 45°	Вздовж проходу
0,0	0	0	0
0,25	24	18	7
0,5	69	34	15
0,75	98	52	30
1,0	121	56	33
1,25	95	51	27
1,5	47	26	15
1,75	21	12	9
2,0	12	7	5

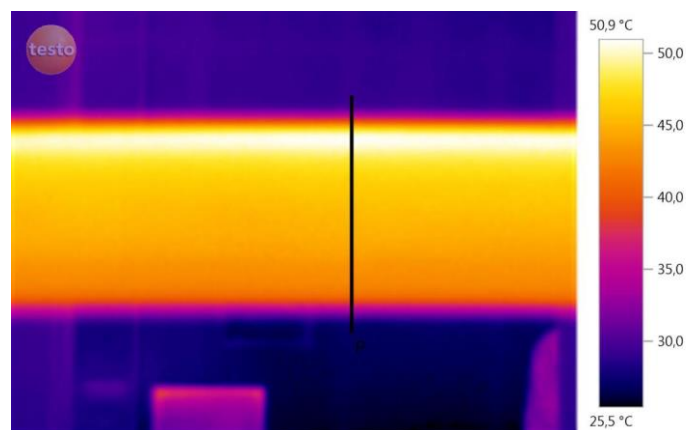


Рисунок 3.4 - Температурний режим світильника у напрямку спостереження перпендикулярно до площини світлодіодної стрічки (ІЧ зображення)

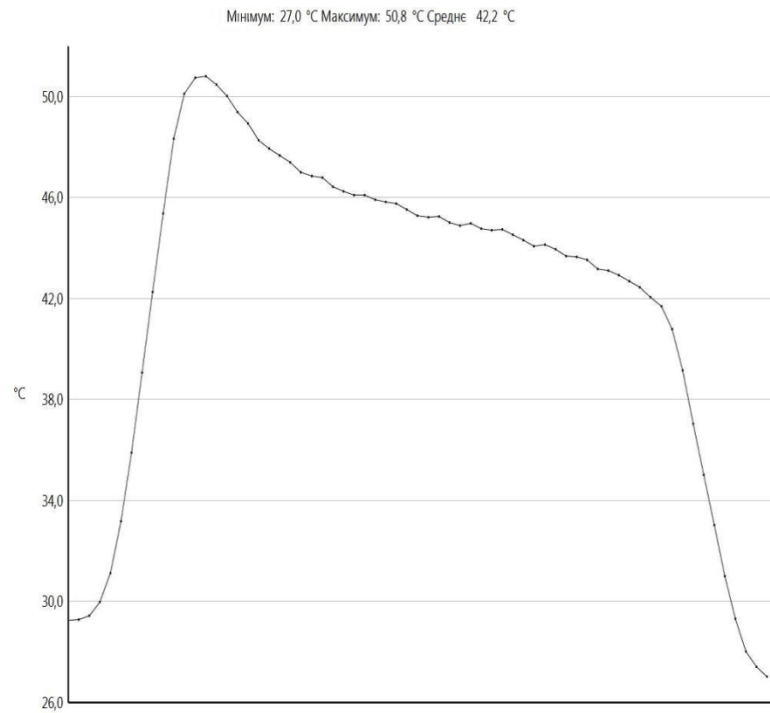


Рисунок 3.5 - Температурний режим світильника у напрямку спостереження перпендикулярно до площини світлодіодної стрічки (профільна температурна крива)

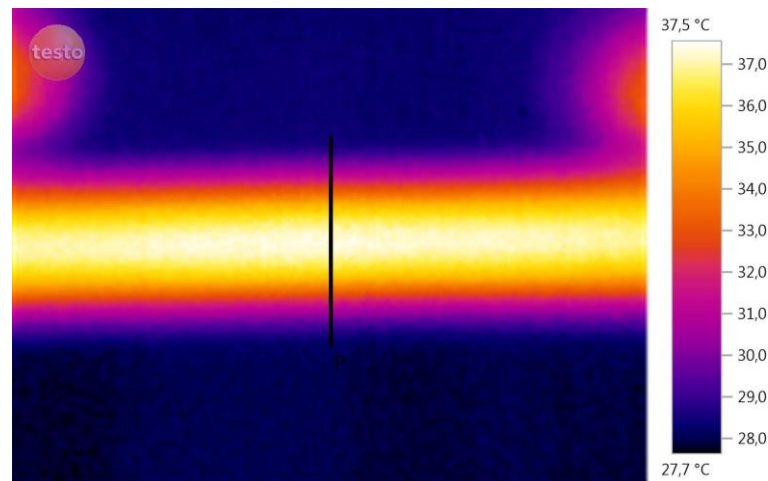


Рисунок 3.6 - Температурний режим світильника у напрямку спостереження паралельно площині світлодіодної стрічки (ІЧ зображення)

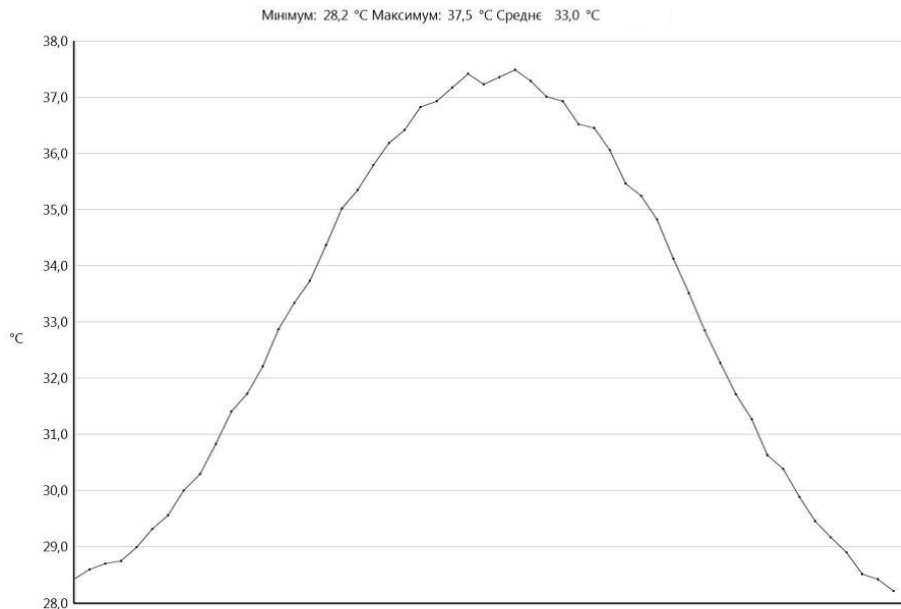


Рисунок 3.7 - Температурний режим світильника у напрямку спостереження паралельно площині світлодіодної стрічки (профільна температурна крива)

3.4 Визначення розташування світильника у просторі

На основі екваторіальної КСС світильника (рис. 3.3) визначимо такий кут повороту навколо вертикальної осі OZ , щоб він забезпечував найбільш рівномірну освітленість по всіх прилеглих годівницях. Ця КСС повинна прагнути форми, що описується наступним аналітичним виразом:

$$I_{\alpha} = \frac{E \cdot h^2}{\cos^3 \alpha} \quad (3.1)$$

де E - необхідна освітленість на цій прямій,

h - відстань від світильника до годівниці.

На рис. 3.8 представлена форма цієї КСС, поєднана з вимірною реальною КСС розробленого світильника, де найбільший збіг забезпечується при його розташуванні з орієнтацією світлодіодів у напрямку проходу.

Для визначення висоти підвісу світильника щодо об'єктів, що освітлюються (кліток і годівниць) провели вимірювання освітленості на різних висотах по відношенню до світильника під кутами 90° і 45° до кліток (рис. 3.9).

На рис. 3.10 представлені графіки залежностей освітленості від висоти виміру щодо точки підвісу світильника для двох напрямків.

Щоб забезпечити приблизну рівність освітленості на годівницях всіх ярусів, годівниці повинні бути віддалені по вертикалі від точки підвісу на відстані 0,5 м, 1,0 м та 1,5 м відповідно. При цьому на середній годівниці при будь-якій варіації висоти підвісу світильника освітленість буде дещо вищою, ніж на двох інших.

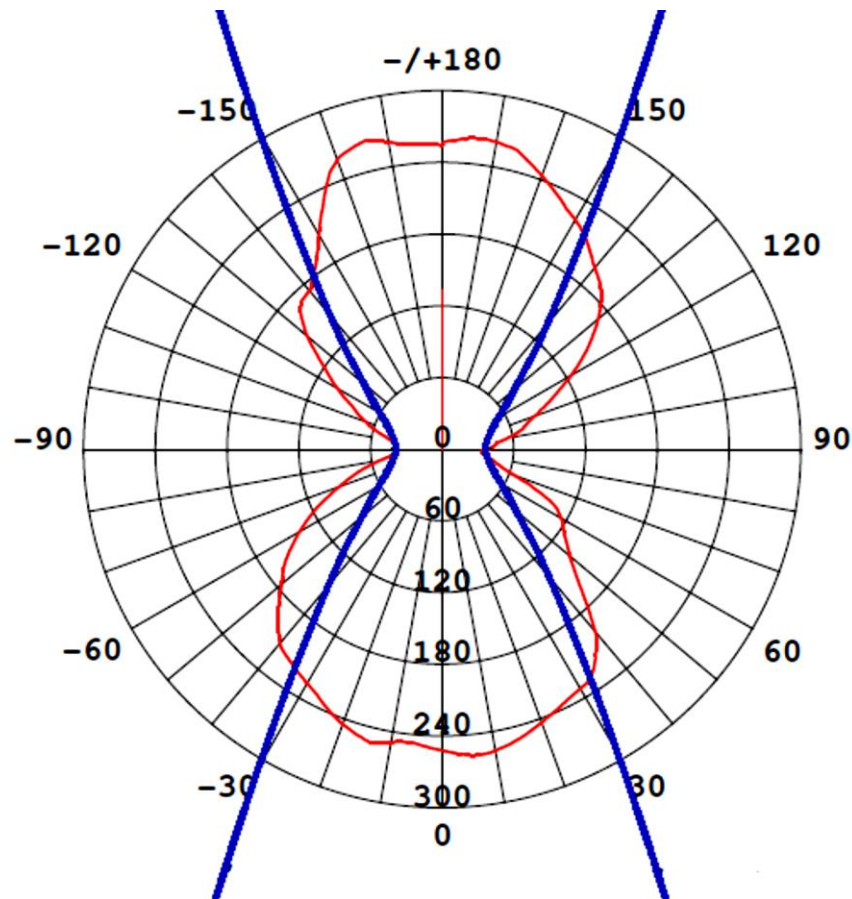


Рисунок 3.8 - Поєднання графіків необхідної та реальної екваторіальних КСС

Оскільки висота розташування нижньої годівниці становить 0,5 м, середньої – 1,0 м, а верхньої – 1,5 м, то висота підвісу світильника буде 2 м.

З суміщення графіків необхідної та реальної екваторіальних КСС (рис. 3.10) видно, що світильник забезпечує потрібну освітленість лише в діапазоні від 30° до 150°. В інших напрямках потрібна освітленість має бути забезпечена іншими розташованими в ряд такими ж світильниками.

Відстань між світильниками визначаємо за формулою

$$S = 2D / \operatorname{tg} \alpha \quad (3.2)$$

де D - відстань від світильника до клітки, м;

α – корисний кут світильника.

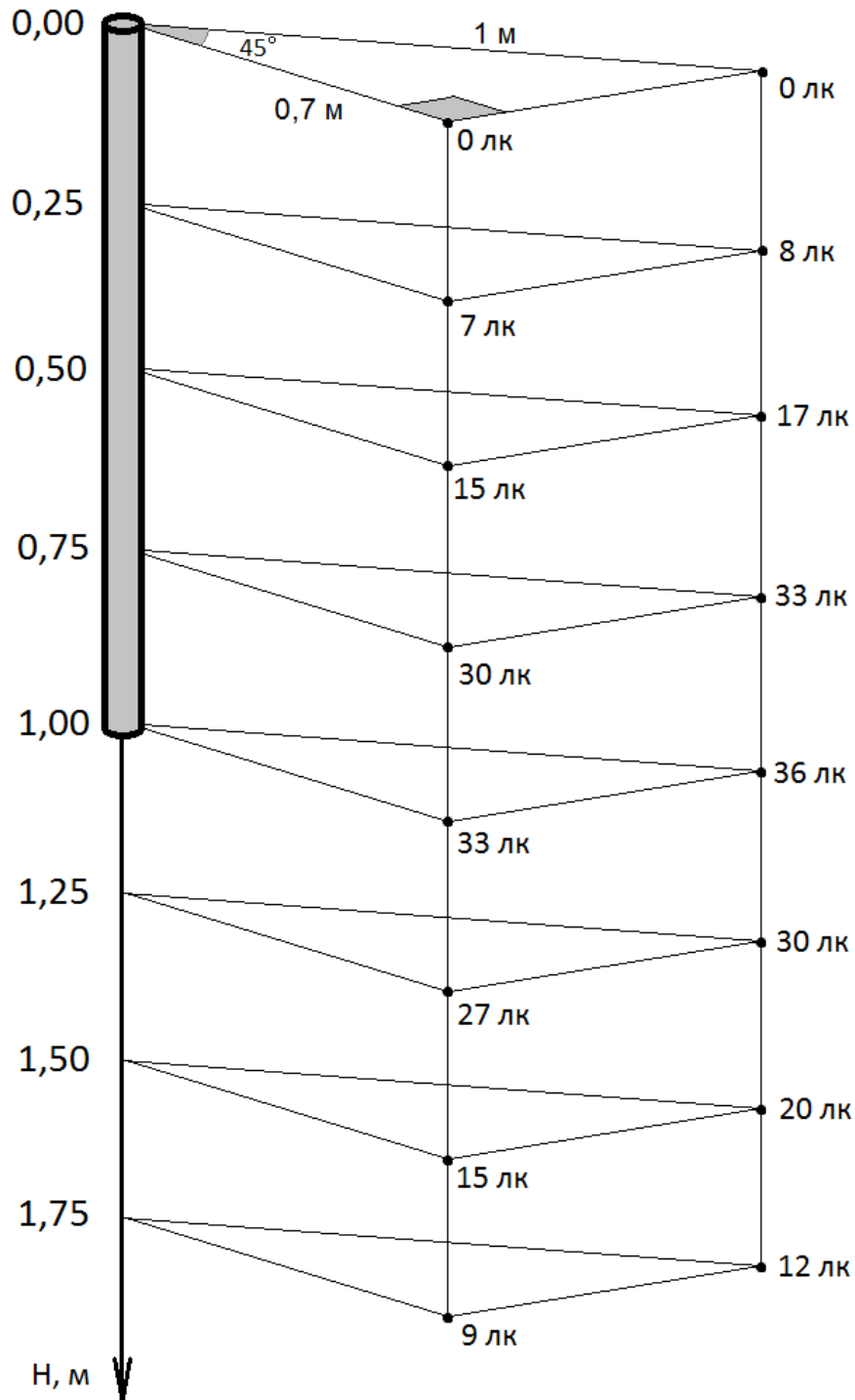


Рисунок 3.9 - Виміряні значення освітленості в районі годівниць для двох напрямків щодо світильника

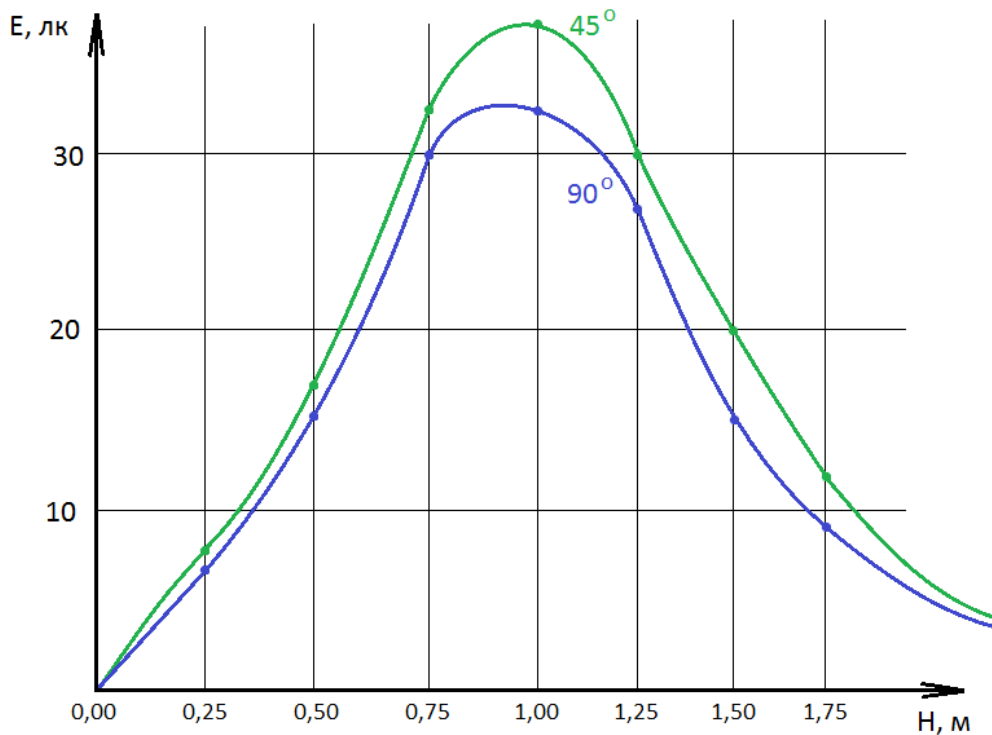


Рисунок 3.10 - Графіки залежностей освітленості від висоти вимірювання щодо точки підвісу світильника для двох напрямків

3.5 Дослідження способів керування яскравістю LED світильника для пташника

3.5.1 Основні принципи керування яскравістю LED світильника на постійному струмі

Кількість світла, що випромінюється світлодіодами, пропорційна їхньому струму. Звідси впливає два способи регулювання освітленості: плавне та імпульсне регулювання освітленості. Оскільки світло, що виробляється світлодіодами, пропорційно їх струму практично без інерції, [10] то другий метод може призвести до мерехтіння та стробоскопічних ефектів. Другий спосіб регулювання освітленості можливий тому, що світлодіоди є досить малопотужними елементами і світлодіодний світильник зазвичай включає в себе декілька світлодіодів. Є можливість розділити їх на групи і керувати кожною групою окремо. Враховуючи недоліки та переваги способів, перший з

них (плавне регулювання) є кращим.

Плавне регулювання освітленості може бути забезпечено спеціальною схемою, яка називається електронним світлодіодним баластом, що формує вихідний струм у відповідності з командою керування. Існує багато різновидів електронних баластів, але найбільш ефективні з них виконані у вигляді імпульсних джерел живлення з входом змінного або постійного струму. У випадку входу постійного струму в якості плавних регуляторів освітленості можуть бути використані різні DC/DC перетворювачі постійного струму: buck, boost, buck-boost та cuk [11]. У вищезгаданих роботах не приділено особливої уваги роботі цих перетворювачів в переривчастому режимі роботи (ПРР) або неперервному режимі роботи (НРР). В той же час в деяких інших дослідженнях ПРР застосовується для вирішення проблем взаємодії з мережею або для зменшення габаритів драйверів світлодіодів (в основному при високих вхідних напругах).

Існує декілька критеріїв придатності різних електронних схем в якості драйверів світлодіодів. Раніше авторами була проведена оцінка найбільш поширених DC/DC перетворювачів з точки зору їх керованості, ефективності та співвідношення маса/габарити. Згадані роботи здебільшого зосереджені на роботі цих перетворювачів у режимі НРР. В даній роботі порівнюється робота buck-драйверів для світлодіодів як в НРР, так і в ПРР.

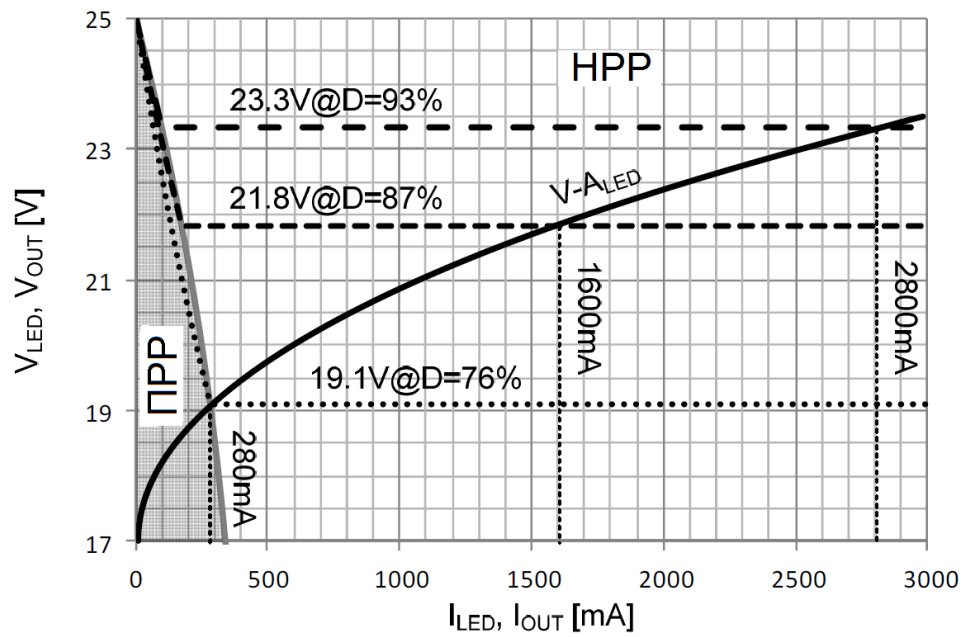
У даному дослідженні нами заплановано виконати наступні кроки: 1) визначити параметри керованості перетворювача в режимі ПРР та порівняти їх з параметрами в режимі НРР; 2) виявити вплив режиму провідності на втрати та ККД; 3) оцінити об'єм та масу перетворювача, що працює в режимі ПРР; 4) виявити причини позитивних відмінностей роботи в режимі ПРР з метою застосування їх до інших світлодіодних драйверів; 5) виявити можливі недоліки даного підходу та знайти шляхи їх усунення.

3.5.2 Керованість драйверів в імпульсному режимі роботи та неперервному режимі роботи

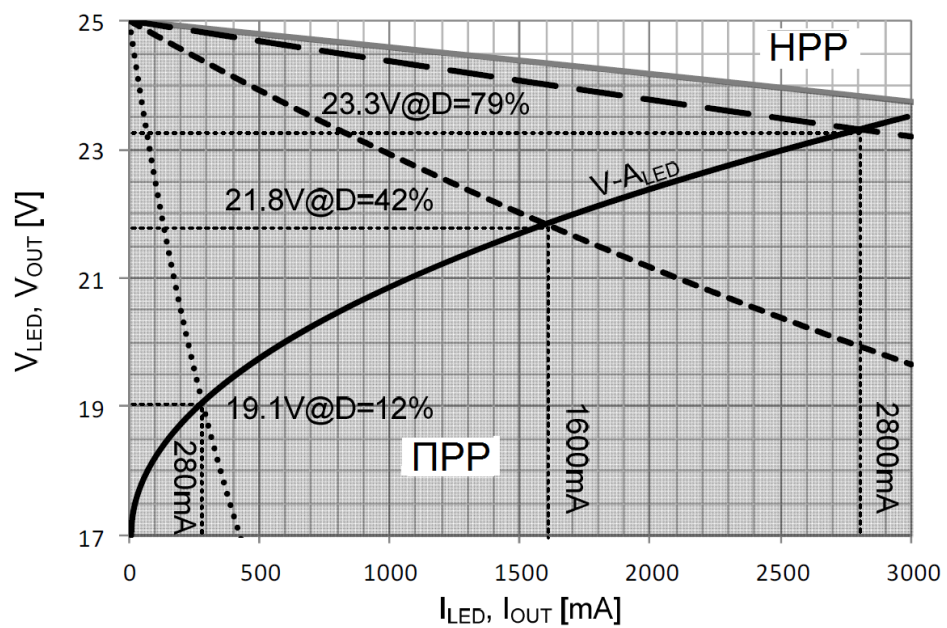
Під керованістю світлодіодних драйверів розуміють сукупність параметрів цих драйверів, які відображають їх здатність керувати світлотехнічними параметрами. Параметри керованості важливі в контексті замкнутої системи, яка складається з регулятора та світлодіодного світильника. Останній, в свою чергу, включає світлодіодний драйвер та світлодіодну матрицю.

В даній роботі в якості драйвера світлодіодів використовується DC/DC buck-перетворювач. Він може працювати як в неперервному, так і в імпульсному режимі. Перетворювач працює в імпульсному режимі, коли навантаження споживає малий струм, і в неперервному режимі при більшому струмі навантаження. Існує також гранична точка між НРР і ПРР, коли струм індуктора падає до нуля точно в кінці циклу комутації.

Узагальнена ідея даного дослідження полягає в тому, щоб перемістити межу між ПРР і НРР таким чином, щоб вольт-амперна характеристика світлодіодів переважно розташовувалася в області роботи драйвера в режимі НРР. Очікується, що в ПРР вихідна напруга драйвера зростає, що призводить до необхідності зменшення шпаруватості (скважності) при однакових значеннях вихідної напруги та струму, що, в свою чергу, спричинить межі регулювання шпаруватості ширшими, а керування драйвером - простішим (рис.3.11). Робота драйвера в ПРР показана на рис.3.11(а). Тут робочі точки лампи визначаються горизонтальними лініями ПРР, але діапазон значень робочого циклу драйвера вузький (від 76 % до 93 %). На відміну від цього, рис.3.11 (б) відображає роботу драйвера в НРР. Тут ті ж значення напруги та струму досягаються при менших значеннях скважності, але її діапазон ширший (від 12 % до 79 %).



а) повністю в режимі HPP



б) повністю в режимі ПРР

Рис.3.11 - Розрахункові робочі ВАХ buck-драйвера світлодіоду ($V_{IN}=25\text{ В}$, навантаження – світлодіодна лампа)

3.5.3 Параметри керованості

В якості критеріїв оцінки керованості використовуються наступні

параметри: 1) максимальний коефіцієнт підсилення лампи; 2) співвідношення його максимуму і мінімуму; 3) нелінійність регулювання і 4) діапазон практично використовуваних значень коефіцієнта завантаження. Першим параметром є швидкість зміни відносної потужності (ВП) при відповідній зміні шпаруватості (скважності) D , де відносна потужність визначається як відношення регульованого параметра (світлового потоку, освітленості, сили струму і т.д.) до його максимального значення, вираженого у відсотках. В узагальненому вигляді коефіцієнт підсилення може бути знайдений як похідна від RO по відношенню до D і також є функцією D :

$$G_{LED} = f D = \frac{dRO}{dD} \approx \frac{\Delta RO_k}{\Delta D_k} \quad (3.3)$$

В (3.3) ΔRO і ΔD - це кінцеві зміни RO і D в k -й точці. У цій роботі RO є відносним струмом, віднесеним до бази 3000 мА з міркувань простоти. Відношення максимального і мінімального значень коефіцієнта підсилення утворює динамічний діапазон (3.4), який виражає також зміну коефіцієнта підсилення системи регулювання.

$$RG_{LED} = \frac{G_{LED \max}}{G_{LED \min}}, \quad (3.4)$$

В (3.4)

$$G_{LED \max} = \Delta RO_{@ \max} / \Delta D_{@ \max}, \quad (3.5)$$

$$G_{LED \min} = \Delta RO_{@ \min} / \Delta D_{@ \min}, \quad (3.6)$$

де $RO_{@ \max}$ і $RO_{@ \min}$ - зміни відносної потужності, що досягаються при відповідних значеннях робочого циклу $D_{@ \max}$ і $D_{@ \min}$, при яких досягається максимум і мінімум.

Нелінійність NL - це середньоквадратичне відхилення ΔS кривої регулювання $RO(D)$ від еквівалентної лінійної кривої $RO_L(D)$, віднесене до

середньоквадратичного значення кривої S :

$$NL = \frac{\Delta S}{S} \cdot 100\% , \quad (3.7)$$

де ΔS визначається як:

$$\Delta S = \sqrt{\frac{1}{D_{\max} - D_{\min}} \int_{D_{\min}}^{D_{\max}} [RO D - RO_L D]^2 dD} , \quad (3.8)$$

а S - як

$$S = \sqrt{\frac{1}{D_{\max} - D_{\min}} \int_{D_{\min}}^{D_{\max}} RO^2 D dD} . \quad (3.9)$$

Останнім оціночним параметром є відношення досяжного розмаху відносної потужності до розмаху корисних значень робочого (середнього коефіцієнта підсилення) циклу, що показує, наскільки повно використовується апаратура керування. Знаходиться як співвідношення:

$$G_a = \frac{RO_{\max} - RO_{\min}}{D_{\max} - D_{\min}} , \quad (3.10)$$

де D_{\min} і D_{\max} - значення робочого циклу, що забезпечують максимальне RO_{\max} і мінімальне RO_{\min} значення коефіцієнта підсилення (припускається, що крива не має екстремумів).

3.5.8 Математична модель та моделювання драйвера світлодіода

Оскільки розглянутий світлодіодний світильник складається з світлодіодного драйвера та світлодіодної матриці, його статична математична модель містить два рівняння: драйвера та матриці. Загальновідомі рівняння для buck-перетворювача можна знайти в навчальній літературі [12]. Для НРР вони мають вигляд:

$$V_{LED_{ccm}} = V_{IN} \times D, \quad (3.11)$$

а для ПРР:

$$V_{LED_{dcm}} = V_{IN} \cdot \frac{D^2}{I_{LED} / 4I_{обм} + D^2}, \quad (3.12)$$

де $V_{LED_{ccm}}$ та $V_{LED_{dcm}}$ - вихідні напруги перетворювача (напруги на світлодіодах) в режимах НРР та ПРР відповідно,;

V_{IN} - вхідна напруга перетворювача,

I_{LED} - струм світлодіодів,

$I_{обм}$ - межа вихідного струму між режимами роботи НРР та ПРР.

Знаходження наближеного виразу ВАХ світлодіодної матриці (див. рис. 2.6) необхідно тому, що її аналітичного виразу не існує, але вона наведена у вигляді графіка в технічному паспорті. Нижче наведено поліноміальну апроксимацію вольт-амперної характеристики світлодіодів 3-го порядку:

$$I_{LED} = f(V_{LED}) = a_0 + a_1 \cdot V_{LED} - V_0 + \dots + a_2 \cdot V_{LED} - V_0^2 + a_3 \cdot V_{LED} - V_0^3, \quad (3.13)$$

де $V_0=20,2$ В - робоча точка матриці,

a_0, a_1, a_2 і a_3 - коефіцієнти полінома для досліджуваних світлодіодів в діапазоні від 17 В до 23,5 В і від 0 мА до 3000 мА.

Коефіцієнти полінома для описаної робочої точки становлять: $a_0=557$, $a_1=442$, $a_2=89,6$ та $a_3=1,92$. Оскільки дане дослідження здебільшого орієнтоване на НРР, а аналітичне розв'язання (3.12) та (3.13) є досить складним, було вирішено провести первинну апробацію шляхом імітаційного моделювання. Для цього була складена PSpice модель лампи та проведено моделювання. Криві регулювання змодельованої світлодіодної лампи при різних значеннях індуктивності представлені на рис. 3.12.

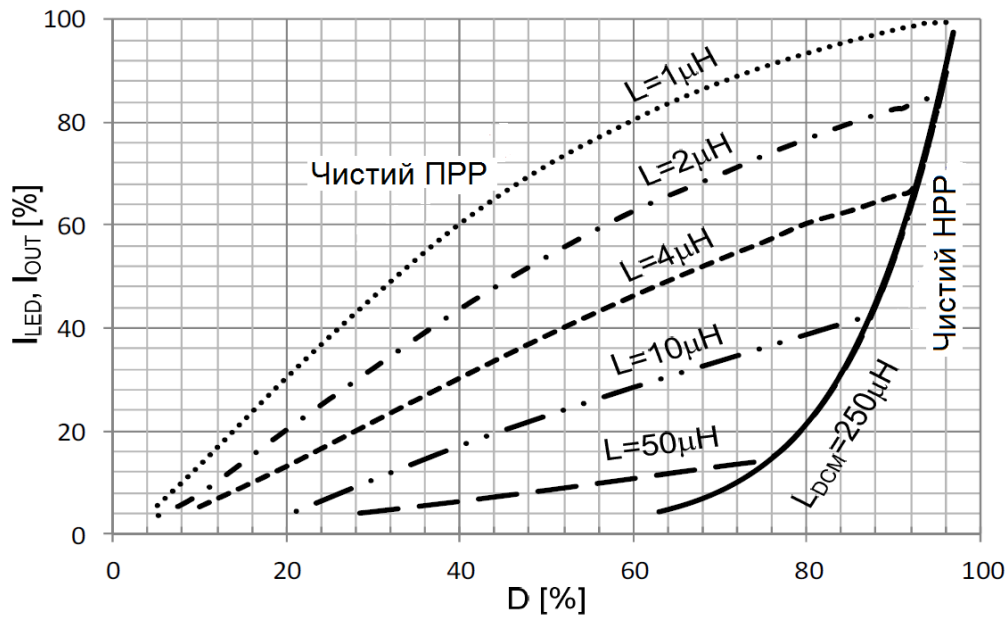


Рисунок 3.12 - Змодельовані криві регулювання світлодіодної лампи, зняті в ПРР і НРР

Як видно з рис.3.12, запропонована ідея використання ПРР для покращення керованості видається цілком реалістичною. Чим менша індуктивність, тим ширше і краще регулювання може бути досягнуто. Це також підтверджується даними таблиці 3.1. Чим менший динамічний діапазон RG , тим стабільніше працює система в усьому діапазоні регулювання. Коефіцієнт розмаху G_a показує використання параметра регулювання (коефіцієнта заповнення): параметр регулювання використовується краще, якщо G_a ближче до одиниці.

Таблиця 3.1 - Моделювання параметрів керованості світлодіодної лампи

$L, \mu\text{H}$	G_{LEDmin}	G_{LEDmax}	RG	$NL, \%$	G_a
1	0,53	1,61	3,03	13,2	1,15
2	0,66	5,37	8,14	6,48	0,94
4	0,73	5,37	7,36	2,10	0,77
10	0,51	5,37	10,53	0,44	0,53
50	0,22	5,37	24,41	0,46	0,23
250	1,20	5,37	4,48	17,7	2,97

Відповідно до цих міркувань та даних таблиці 3.1 індуктивність 1 мкГн забезпечує кращі характеристики регулювання. Оскільки початкове моделювання показало правильність самого принципу, було вирішено перевірити його експериментально.

3.6 Аналіз отриманих даних

Для перевірки раніше перерахованих припущень і результатів моделювання було проведено ряд експериментів. Було зібрано buck-перетворювач з напругою 25 В на вході, розрахований на світлодіодне навантаження потужністю до 70 Вт. Перетворювач було випробувано з різними значеннями індуктивності (1, 2, 4, 10, 50 і 250 мкГн). Відповідні криві регулювання наведені на рис.3.13, а вимірні параметри керуваності світлодіодної лампи наведені в таблиці 3.2.

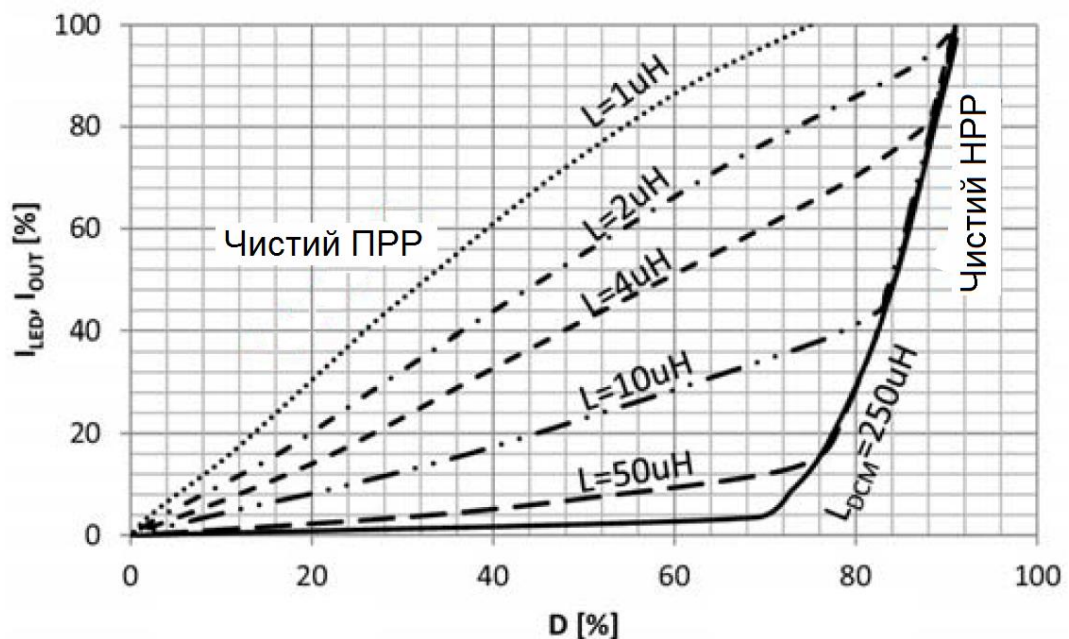


Рисунок 3.13 - Вимірні криві регулювання світлодіодної лампи, зняті в ПРР і НРР

На рис.3.13, а також в таблиці 3.2 показано добру відповідність результатів моделювання та вимірювань, що також підтверджує запропоновану ідею. Однак кращі показники регулювання практично проявляються при

індуктивності 2 мкГн, а також спостерігається більша різниця в нелінійності. Ці відмінності можна пояснити занадто ідеалізованою моделлю.

Таблиця 3.2 - Вимірні параметри керованості світлодіодної лампи

L, μH	G_{LEDmin}	G_{LEDmax}	RG	NL, %	G_a
1	0,74	1,66	2,24	8,1	1,32
2	0,92	1,25	1,36	1,9	1,10
4	0,74	7,26	9,81	5,2	0,94
10	0,45	7,26	16,13	3,2	0,5
50	0,24	7,26	30,25	1,8	0,20
250	2,11	7,26	2,79	19,6	4,49

3.7 Втрати потужності в ПРР та НРР

Іншим важливим питанням є вплив НРР на втрати. Нижче наведено аналітичну оцінку втрат потужності в ПРР і НРР, а також результати експериментів для обох режимів роботи.

3.7.1 Аналітична оцінка втрат

Втрати потужності перетворювача розподіляються між основними елементами перетворювача. Аналіз кривих напруги та струму в усталених та перехідних режимах в цих елементах дозволяє зробити оцінку розподілу втрат потужності. Основними елементами перетворювача є два ключі (транзистор і вільний діод), котушка індуктивності та вхідні і вихідні конденсатори, Аналітична оцінка втрат в даному розділі виконана для компонентів і на частоті, що використовувалася в експериментах.

Оцінка втрат потужності в ПРР в комутаторах buck-перетворювача детально розглянута в роботі [13], тому на рис. 3.14(а) та (в) наведені лише результати цієї оцінки при частоті комутації 50 кГц та з урахуванням

параметрів навантаження (3.13). Оцінка втрат потужності в ПРР в комутаторах проводилась аналогічним чином – рис. 3.14(б) та (г),

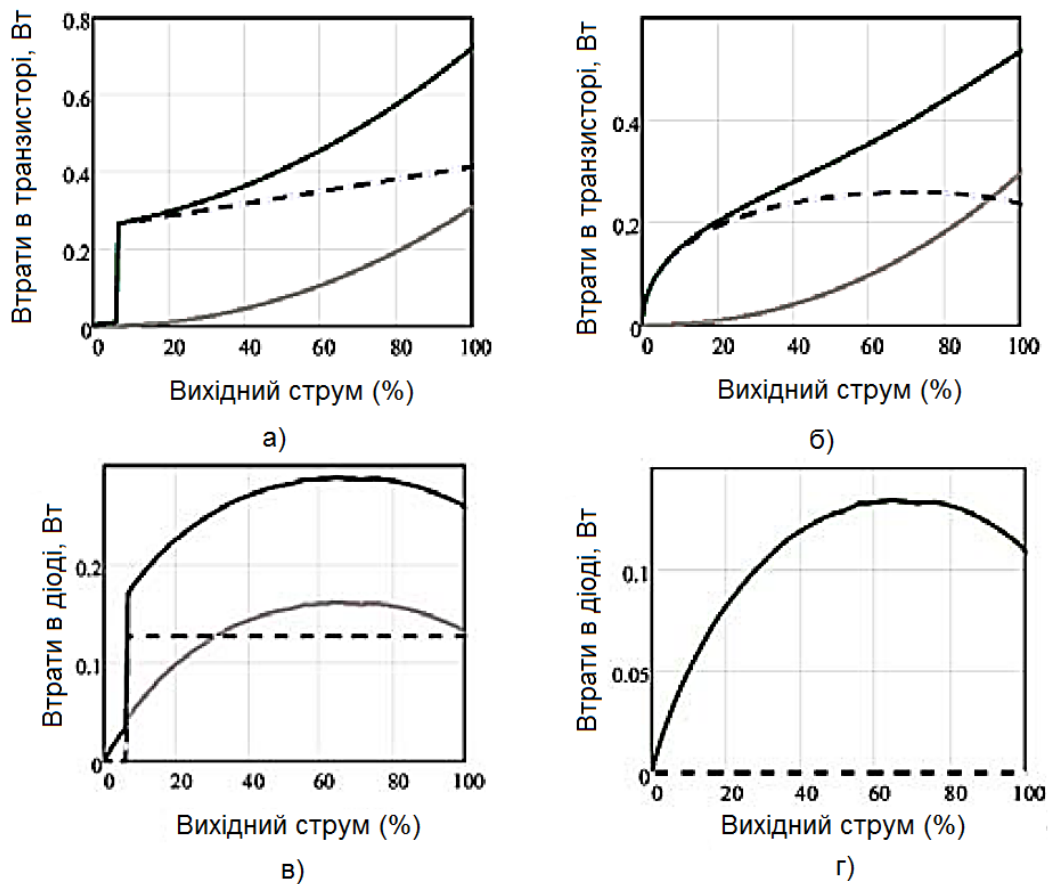


Рисунок 3.14 - Втрати потужності в перемикачах перетворювача (сірий колір - втрати на провідність, пунктир - втрати на комутацію, суцільний чорний - повні втрати):

- (а) втрати транзистора в чистому ПРР ($L = 250$ мкГн);
- (б) втрати транзистора в чистому ПРР ($L = 1$ мкГн);
- (в) втрати діода в чистому ПРР ($L = 250$ мкГн);
- (г) втрати діода в чистому ПРР ($L = 1$ мкГн),

Слід зазначити, що в НРР відсутні втрати на перемикання в діоді, а також втрати на ввімкнення в транзисторі, оскільки в кінці періоду перемикання через діод не протікає струм.

Аналітична оцінка втрат потужності в комутаторах показує, що робота цих пристроїв є більш ефективною в ПРР (рис.3.14).

Особливу увагу слід звернути на втрати потужності в котушці

індуктивності. Втрати потужності в котушці індуктивності прийнято розділяти на дві частини: втрати в осерді і втрати в міді (втрати в мідних проводах).

Основними втратами будь-якого матеріалу сердечника є втрати на гістерезис і втрати на вихрові струми. Втрати на гістерезис ΔP_h можна знайти з

$$\Delta P_h = K_h \cdot v \cdot f \cdot B_{\max}^2 \quad (3.14)$$

Втрати на вихрові струми ΔP_e дорівнюють

$$\Delta P_e = K_e \cdot v \cdot f^2 \cdot B_{\max}^2 \quad (3.15)$$

де k_h і k_e - константи втрат на гістерезис і вихрові струми відповідно (вказані в технічному паспорті сердечника),

v - об'єм сердечника,

f - частота комутації, і

B_{\max} - максимальна густина потоку, яку можна знайти з (3.16)

$$B_{\max} = \frac{V_{L\max} \cdot D}{2 \cdot T \cdot A_c \cdot N} \quad \text{або} \quad B_{\max} = \frac{L \cdot \Delta i}{2 \cdot A_c \cdot N} \quad (3.16)$$

де $V_{L\max}$ - пікова напруга на котушці в стані провідності транзистора,

D - шпаруватість сигналу керування MOSFET,

T - період перемикання перетворювача,

A_c - площа поперечного перерізу осердя котушки індуктивності,

N - кількість витків,

Δi - пульсація струму в котушці індуктивності.

З (3.14) і (3.15) видно, що втрати в осерді мають квадратичну залежність від максимальної густини потоку. З (3.16) можна зробити висновок, що максимальну густина потоку в загальному випадку можна зменшити, використовуючи матеріал осердя з меншою проникністю (осердя, яке потребує більшої кількості витків N для отримання того ж значення індуктивності L при тій же площі поперечного перерізу A_c і об'ємі матеріалу v) і більшим опором

матеріалу (запобігає вихровим струмам). Звичайно, втрати на гістерезис k_h також повинні бути враховані при оцінці.

Втрати в міді котушки індуктивності пов'язані з опором провідного дроту. Змінний струм призводить до ефектів (тобто скін-ефекту), які зменшують площу провідника, по якому протікає струм (збільшують опір провідника). Глибину d_{skin} , до якої існує струм, можна знайти з:

$$d_{skin} = \sqrt{\frac{\rho}{\pi \cdot \mu \cdot f}}, \quad (3.17)$$

де ρ - питомий електричний опір матеріалу провідника ($1,68 \cdot 10^{-8}$ Ом·м для міді);

μ - проникність провідника ($\mu = \mu_0 \cdot \mu_R$, де $\mu_R \approx 1$).

Тому опір можна розділити на дві частини: опір для постійного струму R_{DC} і опір для змінного струму R_{AC} :

$$R_{DC} = \frac{\rho \cdot l_w}{\pi \cdot r_w^2} \quad (3.18)$$

$$R_{AC} = \frac{\rho \cdot l_w}{\pi \cdot d_{skin} \cdot 2r_w - d_{skin}} \quad (3.19)$$

де l_w - довжина дроту,

r_w - радіус дроту.

Варто зазначити, що R_{AC} застосовується тільки для змінної складової, тому втрати потужності в дротах котушки індуктивності дорівнюють квадрату постійної складової струму, помноженому на опір R_{DC} , плюс квадрату середньоквадратичного значення змінної складової струму, помноженому на опір R_{AC} .

Для buck-перетворювача втрати потужності у вихідному конденсаторі залежать від його еквівалентного послідовного опору R_{ESR} і пульсацій струму в котушці індуктивності Δi . В цьому випадку втрати потужності дорівнюють добутку середньоквадратичного (RMS) змінного струму, що протікає через конденсатор, на еквівалентний послідовний опір R_{ESR} . У випадку чистого НРР

середньоквадратичне значення змінного струму, що протікає через конденсатор, дорівнює струму пульсацій індуктивності Δi , поділеному на чотири. У випадку чистого ПРР - це різниця між середньоквадратичним значенням струму пульсацій і вихідним струмом.

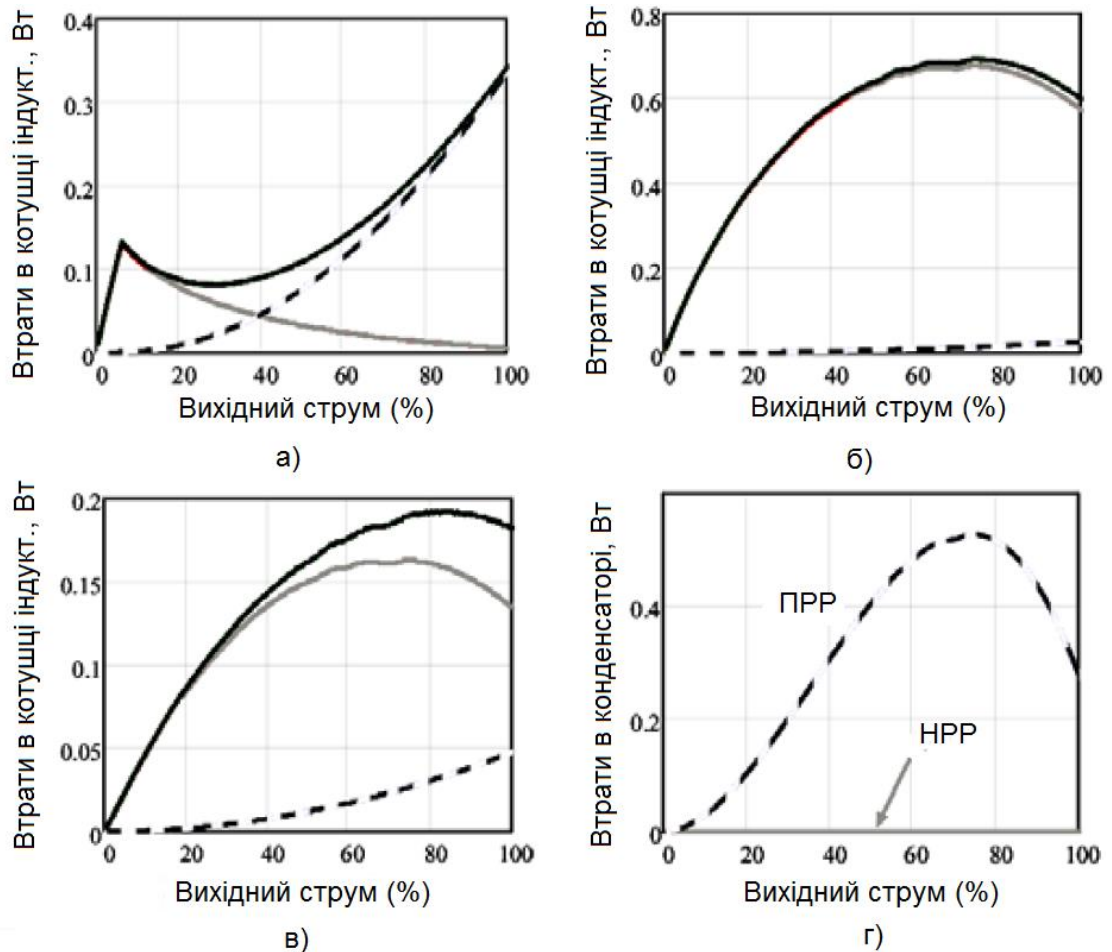


Рисунок 3.15 - Втрати потужності в котушці індуктивності і вихідному конденсаторі, де в (а), (б) і (в) суцільним сірим кольором - втрати в сердечнику, пунктирним чорним - втрати в міді, суцільним чорним - загальні втрати:

- (а) втрати індуктивності в НРР ($L = 250 \mu\text{Гн}$, матеріал сердечника 26);
- (б) втрати індуктивності в ПРР ($L = 2 \mu\text{Гн}$, матеріал сердечника 26);
- (в) втрати індуктивності в ПРР ($L = 2 \mu\text{Гн}$, матеріал сердечника 1);
- (г) втрати в конденсаторі (суцільний чорний колір - НРР, пунктирний чорний - ПРР)

Всі міркування щодо втрат в котушці індуктивності та вихідному конденсаторі, які обговорювалися вище, узагальнені на (рис.3.15). З рис.3.15(а)

і (б) видно, що в НРР особливу увагу слід звернути на втрати в міді, в той час як в ПРР втрати в основному з'являються в осерді індуктора – рис.3.15(б) і (в). Тому основним об'єктом, на якому слід зосередити увагу, є матеріал осердя. З (3.14) і (3.15) можна зробити висновок, що об'єм осердя повинен бути якомога меншим, щоб зменшити втрати в осерді.

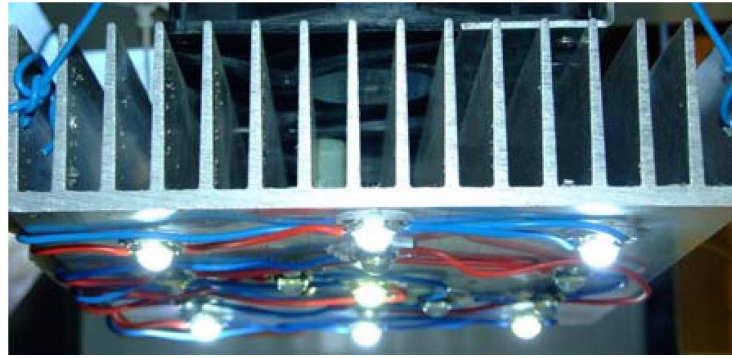
Втрати потужності вихідного конденсатора в ПРР незначні, в той час як в ПРР еквівалентний послідовний опір R_{ESR} відіграє значну роль – рис. 3.15(г). Параметри компонентів (перелік в таблиці 3.3) з експериментів також були використані для аналітичної оцінки.

3.7.2 Аналіз експериментальних даних

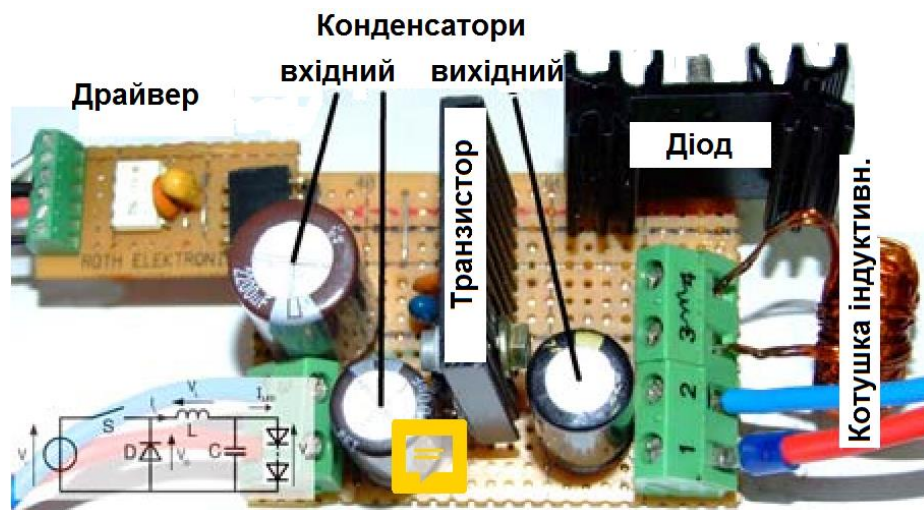
Для перевірки аналітичних розрахунків було проведено серію експериментів. Конфігурацію випробувального стенду, а також світлодіодну лампу, дослідний зразок перетворювача та котушки індуктивності, задіяні в експериментах, наведено на рис.3.16. Як видно з рис.3.13 чистий ПРР режим роботи перетворювача практично досягається при індуктивності 2 мкГн, тому для практичних вимірювань в чистому НРР і чистому ПРР режимах були обрані індуктивності 250 мкГн і 2 мкГн відповідно.

Таблиця 3.3 - Компоненти, використані в експериментах

Компонент	Виробник	Позначення	Основні параметри
Транзистор	NXP Semicon.	IRF540N	$V_{DS}=100V$, $R_{DS}=77m\Omega$
Діод	ON Semicon	MUR860	$V_{RR}=600V$, $V_F=1.2V$
Вихідний конденсатор	Nichicon	UPW1J47 1MHD	$C=470\mu F$, $R_{ESR}=0.13\Omega$
Котушка індуктивності 1	Micrometals	T60-26	Розмір T60, μ_0 , 75
Котушка індуктивності 2	Micrometals	T80-26	Розмір T80, μ_0 , 75
Котушка індуктивності 3	Micrometals	T80-1	Розмір T80, μ_0 , 20



а)



б)



в)

Рисунок 3.16 - Обладнання, задіяне в експериментах:

- (а) світлодіодне навантаження;
- (б) прототип перетворювача;
- (в) котушки індуктивності, задіяні у вимірюваннях ККД і втрат

Однією з найскладніших частин цих експериментів був розподіл втрат потужності між компонентами.

Було вирішено приблизно оцінити ці втрати за різницею ΔT між

температурою навколишнього середовища T_a і температурою кожного компонента за допомогою тепловізора.

Тепловізійне зображення перетворювача, що працює в режимі ПРР на повній вихідній потужності, показано на рис.3.17. Для наближеної оцінки втрат потужності були виміряні криві, що відображають залежність між температурою компонентів і розсіюваною потужністю (рис3.18). Вони були отримані шляхом подачі на компоненти відомої потужності з подальшим вимірюванням їх температури.

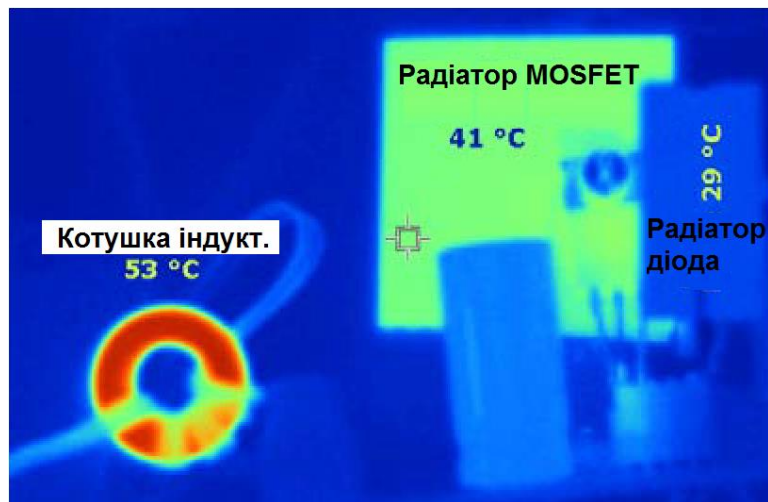


Рисунок 3.17 - Тепловізійне зображення котушки (53^oC), діода (29^oC) та транзистора (41^oC) в ПРР (D~100 %, $I_{\text{лед}}=2,7\text{A}$, осердя котушки Т60-26)

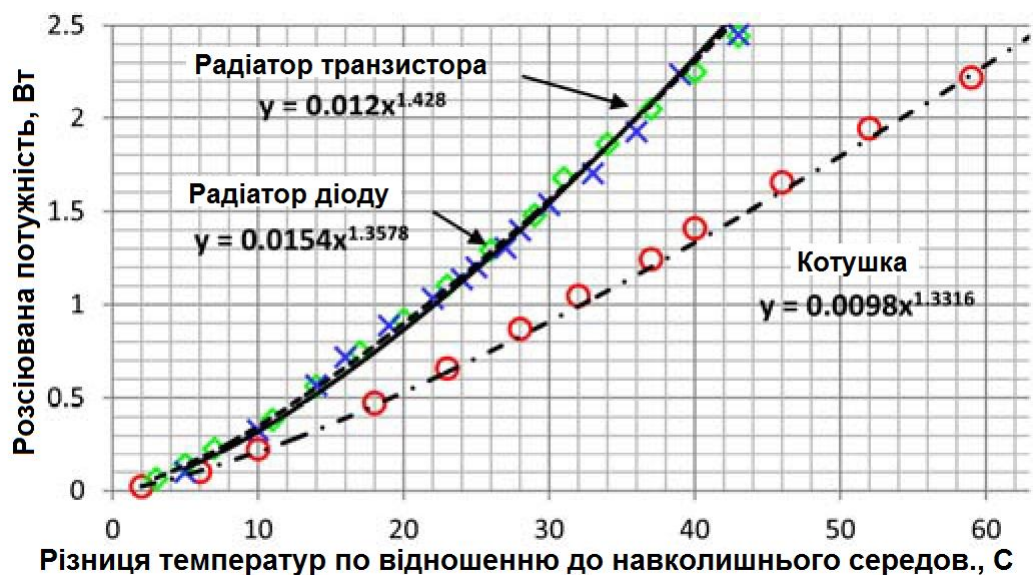


Рисунок 3.18 - Взаємозв'язок між розсіюваною потужністю в компонентах та їх температурою

Наступним кроком цього експерименту був аналіз теплових зображень перетворювача при різних режимах роботи та вихідних потужностях, Результати цього аналізу зведені в таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 - Вимірний розподіл втрат потужності бак конвертера в ПРР і НРР

$I_{out}, \%$	$\Delta P_{total}, W$	$\eta, \%$	Транзистор		Діод		Котушка індуктивності	
			$\Delta T, ^\circ C$	$\Delta P, W$	$\Delta T, ^\circ C$	$\Delta P, W$	$\Delta T, ^\circ C$	$\Delta P, W$
Чистий НРР, $L = 250\mu H$, Котушка індуктивності 1								
33	0,4	91,6	6	0,2	9	0,3	8	0,2
67	0,9	94,1	8	0,2	11	0,4	11	0,2
100	1,7	95,9	12	0,4	12	0,4	15	0,4
Чистий ПРР, $L = 2\mu H$, Котушка індуктивності 2								
33	1,8	91,6	9	0,3	4	0,1	29	0,9
67	2,6	94,1	16	0,6	7	0,2	36	1,2
100	2,8	95,9	19	0,8	7	0,2	31	1,0
Чистий ПРР, $L = 2\mu H$, Котушка індуктивності 3								
33	1,1	94,8	11	0,4	5	0,1	9	0,3
67	1,9	95,8	17	0,7	6	0,2	11	0,4
100	2,2	96,8	19	0,8	6	0,2	10	0,3

У цій таблиці сумарні втрати виміряні за допомогою аналізатора потужності. Дані таблиці 3.4 вказують хорошу збіжність з попередньо виконаною теоретичною оцінкою (рис.3.14 і рис.3.15), за винятком транзисторних втрат, які теоретично в ПРР є меншими. Таку різницю можна пояснити неточністю моделі транзистора. З таблиці 3.4 видно, що розподіл втрат між компонентами в ПРР досить рівномірний у всьому діапазоні вихідних струмів. У ПРР індуктор є основним джерелом втрат, які можуть бути зменшені відповідним вибором матеріалу осердя. Вимірні втрати потужності перетворювача при різних режимах роботи та вихідних

потужностях наведені на рис.3.19, а загальний ККД перетворювача - на рис.3.20. З цих кривих можна зробити висновок, що загальний ККД перетворювача вищий у НРР, однак ККД у ПРР також може бути покращений за рахунок правильного вибору розміру та матеріалу сердечника індуктора, а також вихідного конденсатора.

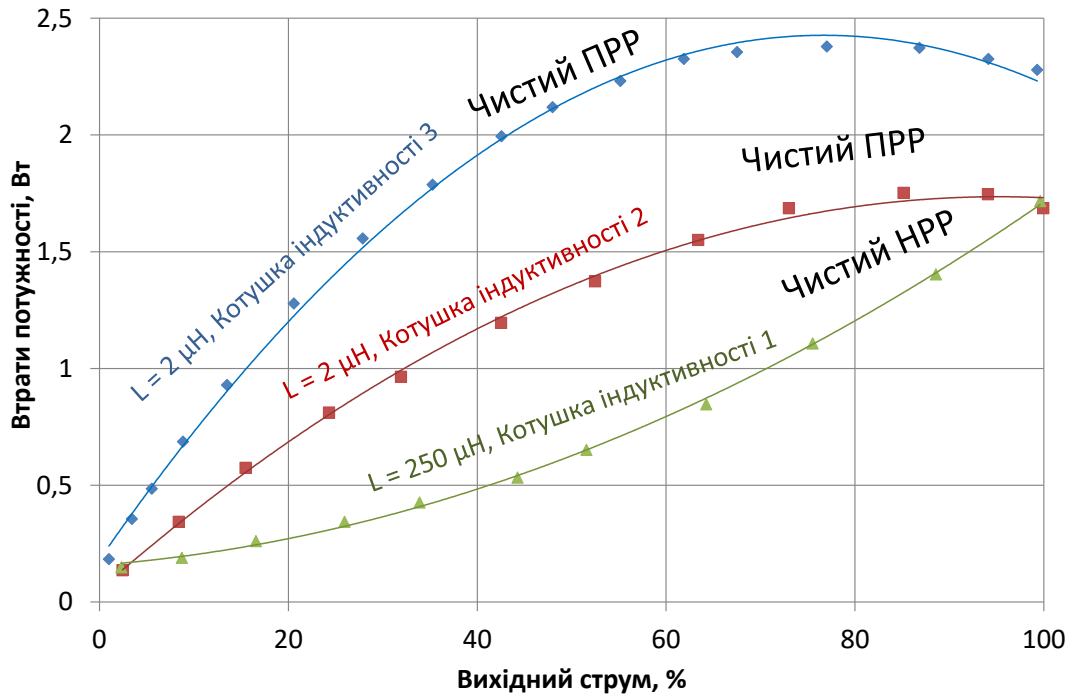


Рисунок 3.19 - Втрати світлодіодної лампи в ПРР та НРР

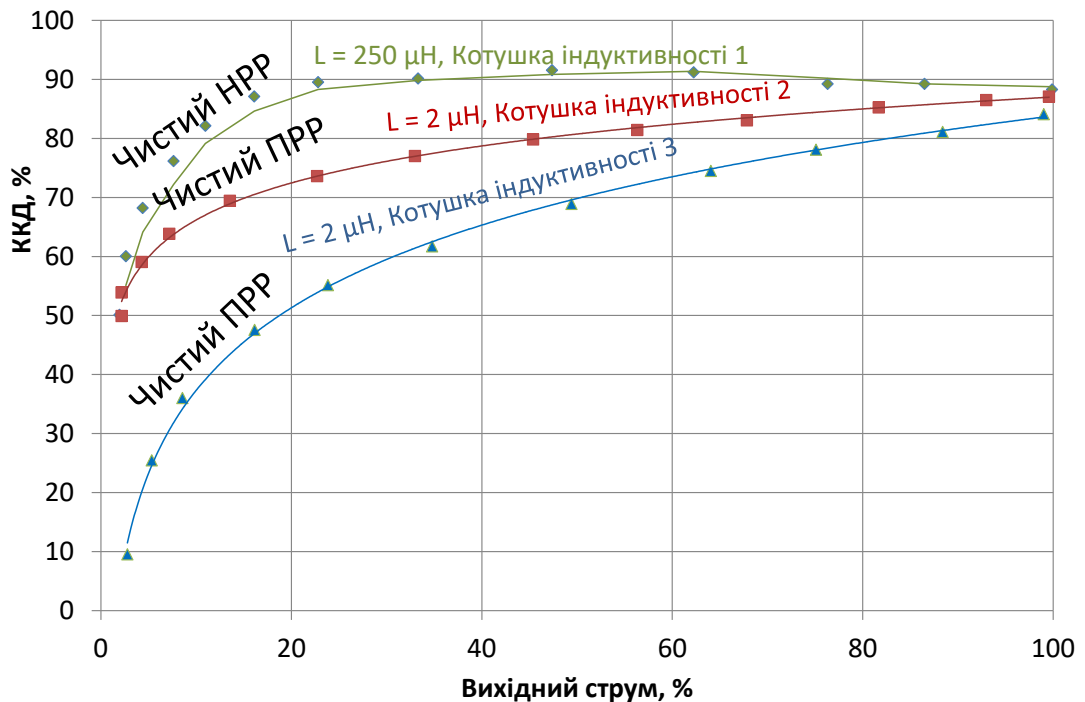


Рисунок 3.20 - Ефективність світлодіодної лампи в ПРР та НРР

3.8 Висновки до розділу

1. Проведено теоретичне дослідження основних принципів організації освітлення для утримання промислового стада птиці у клітках. Встановлено рід вимог до параметрів системи освітлення.

2. Проведено аналіз алгоритмів керуванням освітленням. Встановлено, що алгоритми переривчастого освітлення сільськогосподарських приміщень дозволяють ефективно підвищувати виробничі показники при вирощуванні курчат-бройлерів, утриманні промислового стада курей-несучок, ремонтного молодняка, батьківського стада, а також тварин.

3. Проведено вимірювання характеристик світлотехнічних та теплотехнічних спроектованого світильника.

4. Проаналізовано та запропоновано найбільш ефективно розташування світильника в просторі поряд з клітками де утримується птиця.

5. Розглянуто роботу світлодіодного драйвера світильника в переривчастому режимі роботи. Результати моделювання та експериментів дали можливість порівняти керування драйверів світлодіодів з різними значеннями індуктивності. Очевидно, що менша індуктивність призводить до зменшення ефективності переривчастого режиму роботи. В цьому режимі діапазони струму та шпаруватості більш рівні, тому переривчастий режим кращий. Також нелінійність в переривчастому режимі роботи дещо менша, ніж в неперервному. Тут дещо більші втрати потужності, але їх можна зменшити за рахунок оптимізації котушки індуктивності та вихідного конденсатора. При цьому габарити перетворювача менші за рахунок менших розмірів котушки індуктивності. Нарешті, враховуючи перелічені переваги та недоліки переривчастий режиму роботи можна рекомендувати для використання в світлодіодних лампах.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1 Можливість виникнення статичної електрики та заходи боротьби з нею

Статична електрика – це процес утворення і розділення зарядів у просторі при контакті двох матеріалів, якщо хоча б один з них є діелектриком. Підвищений рівень статичної електрики відноситься до групи фізичних небезпечних і шкідливих виробничих факторів [14].

Суть електризації заключається в тому, що діелектрики за певних умов стають електрично зарядженими. При цьому заряди не виникають і не зникають, а переходять з одного електризованого тіла на інше, накопичуються на поверхнях їх стикання чи переміщуються в межах одного й того ж тіла. Статична електрика може з'являтися на тілах і через індукцію, тобто через взаємодію на відстані. В основному виробництві харчової промисловості це можуть бути процеси помелу зерна, просіювання, транспортування трубопроводах борошна, процеси, пов'язані з приготуванням цукрової пудри, перевезенням чи транспортуванням по трубопроводах спирту, сухих дріжджів, розміщенням і фільтруванням рідин; технологічні процеси, пов'язані із застосуванням плоскопасових передач і транспортерів.

Якщо напруженість електричного поля перевищує електричну міцність середовища (повітря), то відбувається розряд статичної електрики. Основною причиною, що характеризує здатність різних матеріалів проводити струм, а також визначає їх здатність до електризації, є питомий електричний опір.

Умовно прийнято, що при питомому електричному опорі речовин і матеріалів порядку менше 10 Ом·м заряди не накопичують і безпеки не являють. Якщо ж опір високий і велика швидкість відриву поверхні, то заряди зберігаються. Величина зарядів визначається природою матеріалу і швидкістю розділення поверхонь, тобто інтенсивністю технологічного процесу.

Розряди статичної електрики являються одними з можливих імпульсів

спалахування і вибухів в харчовій промисловості, що зв'язано, в першу чергу, із застосуванням сильно електризуючих речовин і матеріалів (горючі рідини, пил органічного походження). Електризація рідин приводить до спалахування і вибухів втриє частіше, ніж електризація дрібнодисперсних матеріалів, оскільки мінімальна енергія запалювання пилово-вітрянних сумішей з 10...100 раз менше. При протіканні рідин величина заряду залежить від діелектричної сталої, її забрудненості, шорсткості стінок, швидкості протікання і діаметра труб.

Захист від статичної електрики та її небезпечних проявів повинен здійснюватись в двох напрямках: усунення електричних зарядів або зменшення їх до безпечних величин.

Апарати, машини, пристрої, які можуть стати джерелами виникнення зарядів статичної електрики, повинні бути заземлені не менше ніж у двох місцях незалежно від заземлення усього технологічного ланцюга.

Звичайні заземлюючі пристрої для захисту від розрядів статичної електрики об'єднують із заземлюючими пристроями для електрообладнання.

Заземлення повинно бути здійснене тільки паралельним приєднанням захисного обладнання. Допустимий опір заземленого пристрою для захисту від статичної електроенергії у вигляді малих струмів витрат допускається не більше 100 Ом.

Гнучкі трубопроводи для перекачування рідин, які здатні генерувати заряди (спирт, бензин, гас тощо), повинні мати металеве заземлене оплетення, а вихідні штуцери мають бути виконані із кольорових металів і з'єднані із заземленим металевим оплетенням.

Серед інших заходів, направлених на заземлення небезпечних проявів розрядів статичної електрики, слід відмітити такі, як заміна плоских пасів текстурними (клиновими); недопущення розприскування рідин при їх розливанні в ємності шляхом опущення завантажувальних труб на відстань не більше 0,2 м від днища приймальної посудини; зміна швидкості переміщення твердих і рідких матеріалів та ін.

4.2 Фізичні основи електробезпеки

Величина струму, що проходить через тіло людини при її попаданні під напругу, в найбільшій мірі визначає тяжкість ураження. Для розробки технічних і організаційно-технічних заходів і засобів профілактики електротравм важливо знати, від яких конструктивних особливостей електроустановок, їх робочих параметрів і стану залежить можлива величина струму через людину при потраплянні під напругу. Крім того, важливо, щоб весь електротехнічний персонал, усі працівники, робота яких пов'язана з експлуатацією електроустановок, чітко розуміли, чим обумовлена, що є причиною тієї чи іншої вимоги з електробезпеки. Таке знання, розуміння вимог чинних нормативів з електробезпеки сприятиме дотриманню їх працівниками, і якраз розуміння цих вимог відрізняє працівників п'ятої групи з електробезпеки від четвертої, і є обов'язковою складовою їх професійної підготовки з питань безпеки [14].

У реальній електричній мережі (повітряній чи кабельній) опір ізоляції проводів відносно землі розподіляється по всій довжині мережі — опорні, підвісні, натяжні ізолятори, ізоляція кабелю. Чим більша протяжність мережі, тим більше ізоляторів, які працюють паралельно, і менший загальний опір ізоляції проводів відносно землі. Необхідний опір ізоляції регламентується чинними нормативами. На практиці ізоляція струмопроводів виконується з реальних діелектриків, питомий опір яких не дорівнює нескінченності. Внаслідок старіння ізоляції, її частого зволоження, забруднення, нагріву, дії агресивного середовища тощо, питомий опір ізоляції знижується. Тому кожна ділянка довжини проводу має опір ізоляції певного значення або провідність, яка відрізняється від нуля, а при роботі реальної мережі мають місце постійні втрати струму (виток струму) через ізоляцію і землю. Таким чином, незважаючи на наявність ізоляції, струмопроводи електричної мережі електрично зв'язані між собою і землею провідниками (ізоляцію) з великим опором.

Відповідно до зазначеного вище, кожна ділянка довжини проводу електричної мережі, що знаходиться під напругою, крім опору ізоляції має певну

ємність відносно землі. Тому при дотиці людини до неізольованої струмовідної частини (проводу тощо) функціонуючої електромережі струм через людину обумовлюється величиною напруги дотику і ємністю зазначеної вище системи. Ємнісна складова струму через людину при потраплянні під напругу в розгалужених мережах може досягати небезпечних для людини значень. Тому навіть при відключенні мережі від джерела живлення для ремонтно-профілактичних робіт тощо, необхідно заземлити кожен провід переносним заземленням і тільки після цього та перевірки відсутності напруги допускати персонал до роботи.

4.3 Надзвичайні ситуації природного характеру

Надзвичайні ситуації природного характеру — це небезпечні геологічні, метеорологічні, гідрологічні морські та прісноводні явища, деградація ґрунтів чи надр, природні пожежі, зміна стану повітряного басейну, інфекційна захворюваність людей, сільськогосподарських тварин, масове ураження сільськогосподарських рослин хворобами чи шкідниками, зміна стану водних ресурсів та біосфери [15].

На території України можливе виникнення практично всього спектру небезпечних природних явищ і процесів геологічного, гідрогеологічного та метеорологічного походження. До них належать великі повені, катастрофічні затоплення, землетруси та зсувні процеси, лісові та польові пожежі, великі снігопади та ожеледі, урагани, смерчі та шквальні вітри тощо.

Серед надзвичайних ситуацій природного походження в Україні найчастіше трапляються:

- геологічна небезпечні явища, такі, як зсуви, обвали та осипи, просадки земної поверхні різного походження та ін.;
- метеорологічна небезпечні явища, такі, як зливи, урагани, сильні снігопади, сильний град, ожеледь;
- гідрологічна небезпечні явища, такі, як повені, паводки, підвищення рівня ґрунтових вод та ін.;
- природні пожежі лісових та хлібних масивів;

- масові інфекції та хвороби людей, тварин і рослин.

Виходячи з визначення стихійного лиха як природного явища, що безпосередньо впливає на стан навколишнього середовища і добробут населення та є екстремальним екологічним фактором, територія України характеризується дуже складними умовами, що визначає полігенетичний характер стихійних лих та певні просторові закономірності їх прояву в різних географічних зонах і районах.

Особливості географічного положення України, атмосферні процеси, наявність гірських масивів, підвищень, близькість теплих морів зумовлює різноманітність кліматичних умов: від надлишкового зволоження в західному Поліссі до посушливого в Південній Степовій зоні. Виняткові кліматичні умови на Південному березі Криму, в горах Українських Карпат та Криму. У результаті взаємодії всіх цих факторів виникають небезпечні стихійні явища. В окремих випадках вони носять катастрофічний характер для навколишнього природного середовища та населення.

Стихійні явища, як правило, виникають у комплексі, що значно посилює їх негативний вплив. Небезпечні природні явища, в основному, визначаються проявом трьох головних груп факторів – ендегенних, екзогенних та гідрометеорологічних процесів.

Стихійні лиха, що мають місце на території України, можна поділити на прості, що включають один елемент, наприклад, сильний вітер, зсув або землетрус, та складні, що включають декілька одночасно діючих процесів однієї групи або кількох груп, наприклад, негативних атмосферних та геодинамічних екзогенних процесів, ендегенних, екзогенних та гідрометеорологічних процесів у поєднанні з техногенними.

Аварії природного характеру класифікуються за такими основними ознаками:

- за масштабами наслідків відповідно до територіального поширення;
- за розмірами заподіяних (очікуваних) економічних збитків та людських втрат;
- за кваліфікаційними ознаками надзвичайних ситуацій.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. В даний час світлодіодне освітлення активно застосовується в сільському господарстві, забезпечуючи ефективне зниження витрат на електроенергію. Його використання дозволяє більш ефективно використовувати енергетичний ресурс підприємств та підвищувати за рахунок цього рентабельність виробництва, у тому числі за рахунок збільшеного терміну служби. Використання зниженої напруги в колах живлення світлодіодних світильників дозволяє підвищити електро- та пожежну безпеку приміщень, що актуально для специфічних умов експлуатації в сільському господарстві. Особливості світлодіодних світильників та систем освітлення на їх основі дозволяють застосовувати технології вирощування та утримання птиці та тварин, які забезпечують суттєве підвищення виробничих показників як у птахівництві, так і в інших галузях сільського господарства.

2. Здійснено огляд наявної технічної літератури з принципу роботи світлодіодів та світлодіодних світлових приладів, вивчено особливості використання світлодіодних світлових приладів для птахівництва, досліджено режими та принципи організації освітлення та їх вплив на продуктивність бройлерів.

3. Внаслідок проведеної роботи спроектовано світлодіодний світильник для приміщень в яких утримують в клітках на промисловому рівні стада птиці. Обґрунтовано його конструкцію, обрано комплектуючі вироби та матеріали.

4. Проведено експериментальне дослідження світлотехнічних характеристик та теплового режиму спроектованого світильника із застосуванням сучасного вимірювального обладнання.

5. Проведено аналіз алгоритмів керуванням освітленням. Встановлено, що алгоритми переривчастого освітлення сільськогосподарських приміщень дозволяють ефективно підвищувати виробничі показники при вирощуванні курчат-бройлерів, утриманні промислового стада курей-несучок, ремонтного молодняка, батьківського стада, а також тварин.

6. З метою забезпечення алгоритму переривчастого освітлення

спроєктованим світильником, проведено моделювання роботи та дослідження його драйвера. Досліджено його роботу в режимі широтно-імпульсної модуляції, який забезпечував реалізацію функції зміни яскравості світлодіодів.

7. Результати моделювання та експериментів дали можливість порівняти керуваність драйверів світлодіодів з різними значеннями індуктивності. Встановлено, що менша індуктивність призводить до зменшення ефективності переривчастого режиму роботи. В цьому режимі діапазони струму та шпаруватості більш рівні, тому переривчастий режим кращий. Також нелінійність в переривчастому режимі роботи дещо менша, ніж в неперервному. Тут дещо більші втрати потужності, але їх можна зменшити за рахунок оптимізації котушки індуктивності та вихідного конденсатора. При цьому габарити перетворювача менші за рахунок менших розмірів котушки індуктивності. Враховуючи перелічені переваги та недоліки переривчастий режиму роботи можна рекомендувати для використання в світлодіодних лампах.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Сурмак В.В. Роль освітлення та вимоги до нього при вирощуванні птиці // В.В. Сурмак, В.П.Коваль /Актуальні задачі сучасних технологій : зб. тез доповідей XI міжнар. наук.-практ. конф. Молодих учених та студентів, (Тернопіль, 7–8 груд. 2022.) / М-во освіти і науки України, Терн. націон.техн. ун-т ім. І. Пулюя [та ін.]. – Тернопіль: 2022. Т. 2. – .
2. Orion Group. <http://oriongr.com>.
3. Справочная книга по светотехнике / Моск. Дом Света; под. ред. Ю. Б. Айзенберга. – М.: Знак, 2006. – 951 с.
4. Manser C. E. Effects of lighting on the welfare of domestic poultry: a review / C. E. Manser // Animal Welfare. – 1996. – Vol. 5. – P. 341-360.
5. MDR-20-24 БЛОК ЖИВЛЕННЯ НА DIN-РЕЙКУ MEAN WELL 24ВТ. <https://meanwell.kiev.ua/ua/p9108653-mdr-blok-pitaniya.html>.
6. Тарасенко М.Г. Методика розрахунку енергоефективності джерел світла. / М.Г. Тарасенко // Світлотехніка та електроенергетика. – 2011 – № 1. – С. 25-34.
7. Коваль В., Тарасенко М., Коцюрко Р. Світлотехнічні аспекти заміни ламп розжарення на енергоефективні джерел світла. Енергозбереження. Енергетика. Енергоаудит. 2014. № 5 (123). С. 2–8.
8. Коваль В. П. Світлотехнічні аспекти заміни ламп розжарювання на енергоефективні лампи / В. П. Коваль // Матеріали науково-практичного семінару „Міжнародний інвестиційний форум-виставка з енергоефективності та енергоощадності 2015“, 8-9 жовтня 2015 року — Т. : ТНТУ, 2015 — С. 163-166.
9. Тарасенко, М. Г. Динамжа коефіцієнта пульсації світлового потоку теплових і люмінесцентних джерел свіла [Текст] / М. Г. Тарасенко, К. М. Козак, В. П. Коваль // Світлотехніка та електроенергетика. — 2015. — № 1 (41). — С. 37-43.
10. Schmid, M.; Kuebrich, D.; Weiland, M.; Duerbaum, T.; , "Evaluation on the Efficiency of Power LEDs Driven with Currents Typical to Switch Mode Power

Supplies," Industry Applications Conference, 2007. 42nd IAS Annual Meeting. Conference Record of the 2007 IEEE , vol., no., pp.1135-1140, 23-27 Sept. 2007

11. Van der Broeck, Heinz; Sauerlander, Georg; Wendt, Matthias; , "Power driver topologies and control schemes for LEDs," Applied Power Electronics Conference, APEC 2007 - Twenty Second Annual IEEE , vol., no., pp.1319-1325, Feb. 25 2007-March 1 2007.

12. Ned Mohan, Tore M. Undeland, William P. Robbins, Power Electronics: Converters, Applications, and Design. Wiley, 2003, pp.164- 172.

13. Milashevski I., Tetervenok O., Galkin I. "Assessment of Energy Efficient LED Ballasts Based on Their Weight and Size" // Scientific Journal of RTU. 4. series., Power and Electrical Engineering. - 29. vol. (2011), pp 105-112.

14. В. Ц. Жидецький, В. С. Джигирей, О. В. Мельников. Основи охорони праці. — Вид. 2-е, стереотипне. — Львів: Афіша, 2000. — 348 с.

15. Стеблюк М.І. Цивільна оборона. К.: Знання, 2006. – 487 с.