

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

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
електротехніки, електромеханіки та
електротехнологій

к.т.н., доцент /ОКУШКО О.В./

(підпис)

« _____ » _____ 2025 р.

ЗАВДАННЯ
ДО ВИКОНАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ
СТУДЕНТУ

Андрію Віталію Віталійовичу

Спеціальність 141 – електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Освітня програма Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Орієнтація освітньої програми освітньо-наукова

Тема магістерської кваліфікаційної роботи: „Проект світлодіодної енергозберігаючої системи освітлення для птахівництва”

затверджена наказом ректора НУБіП України від 26.09.2024 № 1665”С”

Термін подання завершеної роботи на кафедру 15. 05. 2025

Вихідні дані до магістерської кваліфікаційної роботи: Технічна документація.

Перелік питань, що підлягають дослідженню:

1. Дослідження режимів освітлення і їх впливу на продуктивність птиці;
2. Аналіз особливостей освітлення в птахівництві;
3. Дослідження принципів організації освітлення для клітинного вмісту промислового стада птиці;
4. Застосування енергозберігаючого освітлення для пташників;
5. Розробка та дослідження світлодіодного світильника для клітинного вмісту птиці.

Дата видачі завдання 26.09.2024 р.

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи _____ **Васюк В.В.**
(підпис) (ПІБ)

Завдання прийняв до виконання _____ **Андріюш В.В.**
(підпис) (ПІБ)

РЕФЕРАТ

Магістерська робота: 76с., 27 рис., 6 табл., 40 джерел.

У магістерській роботі розглянуто актуальне питання підвищення енергоефективності в галузі птахівництва шляхом впровадження світлодіодного освітлення.

Проведено комплексний аналіз впливу спектру, інтенсивності та режимів освітлення на фізіологічні показники та продуктивність птиці.

Особливу увагу приділено організації освітлення при клітинному утриманні, де рівномірність та якість світла мають вирішальне значення.

Запропоновано інженерне рішення – конструкція світлодіодного світильника з урахуванням вимог до електробезпеки, довговічності та відповідності агресивним умовам птахофабрик.

Результати дослідження доводять ефективність запропонованої системи як з точки зору зменшення енергоспоживання, так і покращення зоотехнічних показників вирощування птиці.

Ключові слова: світлодіодне освітлення, освітлювальна система, енергозбереження, кліткове утримання, спектр світла, фотоперіод, продуктивність птиці, LED-світильник, електробезпека, птахівництво.

ABSTRACT

Master's thesis: 76 p., 27 figures, 6 tables, 40 sources.

The master's thesis deals with the topical issue of improving energy efficiency in the poultry industry by introducing LED lighting.

A comprehensive analysis of the influence of the spectrum, intensity and lighting modes on the physiological parameters and productivity of poultry was carried out.

Particular attention is paid to the organization of lighting in cage housing, where the uniformity and quality of light are crucial.

An engineering solution is proposed - the design of an LED lamp, taking into account the requirements for electrical safety, durability and compliance with the aggressive conditions of poultry farms.

The results of the study prove the effectiveness of the proposed system both in terms of reducing energy consumption and improving the zootechnical indicators of poultry rearing.

Keywords: LED lighting, lighting system, energy saving, cage housing, light spectrum, photoperiod, poultry productivity, LED lamp, electrical safety, poultry farming.

ЗМІСТ

ВСТУП	6
РОЗДІЛ 1. ДОСЛІДЖЕННЯ РЕЖИМІВ ОСВІТЛЕННЯ І ЇХ ВПЛИВУ НА ПРОДУКТИВНІСТЬ ПТИЦІ	8
1.1. Дослідження впливу освітлення на процес вирощування птиці	8
1.2. Світлові програми вирощування птахів	11
1.3. Типи режимів освітлення пташників	14
Висновки до розділу 1	16
РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ ОСОБЛИВОСТЕЙ ОСВІТЛЕННЯ В ПТАХІВНИЦТВІ	17
2.1. Особливості освітлення в птахівництві	17
2.2. Особливості освітлення при вирощуванні птахів	19
2.3. Роль інтенсивності освітлення в птахівництві	21
2.4. Колір освітлення в птахівництві	22
Висновки до розділу 2	25
РОЗДІЛ 3. ДОСЛІДЖЕННЯ ПРИНЦИПІВ ОРГАНІЗАЦІЇ ОСВІТЛЕННЯ ДЛЯ КЛІТИННОГО ВМІСТУ ПРОМИСЛОВОГО СТАДА ПТИЦІ	26
3.1. Проблеми освітлення в птахівництві	26
3.2. Традиційні освітлювальні системи в птахівництві	27
Висновки до розділу 3	30
РОЗДІЛ 4. ЗАСТОСУВАННЯ ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧОГО ОСВІТЛЕННЯ ДЛЯ ПТАШНИКІВ	31
4.1. Енергозберігаюче освітлення для пташників	31
4.2. Енергоефективне світлодіодне освітлення в птахівництві	32
4.3. Електро-пожежна безпека, захист освітлювальних систем	34

	5
4.4. Застосування алгоритмів переривчастого освітлення	35
Висновки до розділу 4	36
РОЗДІЛ 5. РОЗРОБКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ СВІТЛОДІОДНОГО СВІТИЛЬНИКА ДЛЯ КЛІТИННОГО ВМІСТУ ПТИЦІ	37
5.1. Огляд систем освітлення та світлових приладів для утримання птиці та їх специфіка	37
5.2. Пристрої для керування освітленням на птахофабриках	47
5.3. Особливості конструкції кліток для бройлерів	48
5.4. Обґрунтування конструкції світильника	54
5.5. Джерело живлення	65
Висновки до розділу 5	72
ВИСНОВКИ	73
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	75

ВСТУП

Світло – найважливіший екзогенний чинник, що впливає на будь-який живий організм, зокрема і птахів. Розуміння та грамотне управління цим фактором є невід'ємною та найважливішою частиною технології вирощування всіх напрямів яєчної та м'ясний птахів.

Освітлення в пташнику відіграє важливу роль і дозволяє керувати процесами фізіологічного розвитку птиці, забезпечувати більш комфортні умови її утримання та добиватися суттєвого зростання практично всіх показників продуктивності зграї.

Правильно організована система освітлення спільно з правильно спроектованою програмою освітлення дозволяє впливати на вік статевого дозрівання, забезпечити оптимальний режим розвитку птиці, збільшити несучість, тривалість періоду яйцекладки, розмір яєць та їх масу, міцність шкаралупи, також знизити розбивання яєць. На освітлення витрачається до 50% споживаної електроенергії.

Наприклад, при використанні ламп розжарювання на освітленість припадає 45-48% від усіх витрат електроенергії, що у промислових умовах утримання курей-несучок становить 70-100 тис. кВт·год на рік.

Скоротити витрати можна завдяки використанню енергоефективних джерел світла. Перевагою світлодіодних світильників в умовах пташника є їхня мініатюрність, яка дозволяє створювати рівномірну освітленість у клітинах, розташованих на різних ярусах батареї.

При використанні світлодіодного висвітлення відкриваються додаткові можливості у цінній політиці підприємства, збільшується його рентабельність.

Деякі параметри світлодіодів, такі як колірна температура, можуть впливати на вироблену продукцію (кількість/розмір), тому підібравши відповідні параметри освітлення можна збільшити засвоюваність корму бройлерними породами або підвищити несучість.

Досвід показує, що у промислових умовах дедалі більше уваги приділяють світловим програмам, режимам висвітлення у різні періоди вирощування та утримання птиці, джерелам світла.

Таким чином, метою проекту є розробка світлодіодного світильника для клітинного утримання стада птахів.

Для цього необхідно вирішити наступні завдання:

- здійснити огляд наявної технічної літератури з світлодіодів та світлодіодних світлових приладів (СП);
- дослідити режими та принципи організації освітлення та їх вплив на продуктивність птиці (бройлерів);
- вивчити особливості світлодіодних систем для птахівництва;
- вивчити основні компоненти та матеріали світлодіодних світлових приладів;
- спроектувати світлодіодний світильник для клітинного вмісту промислового стада птиці;
- вибрати комплектуючі вироби і матеріали СП;
- дослідити світлотехнічні характеристики та тепловий режим спроектованого світильника;
- вивчити вимоги нормативних документів з електробезпеки, особливості проектування, виробництва, монтажу та експлуатації світлодіодного освітлювального обладнання для клітинного утримання птиці.

Актуальність даного проекту полягає у розробці енергоефективного світлодіодного світильника для клітинного утримання промислового стада птиці з оптимальними режимами та характеристиками.

Новизна роботи полягає у проведених дослідженнях характеристик енергоефективних світлових приладів, опрацюванні варіантів їхнього конструктивного виконання.

РОЗДІЛ 1

ДОСЛІДЖЕННЯ РЕЖИМІВ ОСВІТЛЕННЯ І ЇХ ВПЛИВУ НА ПРОДУКТИВНІСТЬ ПТИЦІ

1.1. Дослідження впливу освітлення на процес вирощування птиці

У промислових умовах птах зазвичай міститься при штучному висвітленні і дуже сприйнятливий до його змін. Особливо яскраво це проявляється у періоди статевого дозрівання та яйцекладки, що птахівники обов'язково враховують, складаючи програми освітлення.

Освітлювальні установки повинні забезпечувати рівномірну освітленість та можливість її зміни у широкому діапазоні. Вибір ламп та варіантів освітлення визначають відповідно до фізіологічних особливостей птиці та оптимального співвідношення між витратами на електроенергію та продуктивністю [1].

Основа ефективної роботи птахогосподарств - рентабельність кінцевого продукту (яєць та м'яса птиці), його конкурентоспроможність на внутрішньому ринку. А найважливіші складові успішної конкуренції – ресурсозберігаючі технології.

У разі сучасного виробництва птахівницької продукції розробка нових удосконалених технологій, і навіть окремих прийомів спрямовано як збільшення її обсягів, і зменшення матеріально-енергетичних витрат.

Сьогодні найпоширенішими є ресурсозберігаючі технології, основою яких входять досягнення біологічної науки та науково-технічного прогресу.

Відомо, що одним з найважливіших елементів технології вирощування та змісту птиці, що надає значний вплив на її зростання, розвиток та продуктивність, є висвітлення.

Правильно організована система та програма освітлення впливають на вік статевого дозрівання, сприяють оптимальному режиму розвитку птиці, збільшення несучості і маси яєць, підвищення якості шкаралупи, витрат

кормів, травматизму птиці та витрат електроенергії.

Проблема енергозбереження та ресурсозбереження у промисловому птахівництві загострилася при високому рівні споживання електроенергії для виробництва кормів та освітлення пташників, особливо при утриманні поголів'я у безвіконних приміщеннях.

Зростання обсягів виробництва птахофабрик стало можливим завдяки розвитку складних виробничих систем, технологій утримання та годівлі та ветеринарних заходів.

При інтенсивному розвитку птахівництва ефективність захисту організму птиці від патогенних факторів мікробної та вірусної природи повною мірою залежить від стану імунної системи, яка є сполучною ланкою між ветеринарними та зоотехнічними питаннями.

Роль висвітлення при вирощуванні курей часто недооцінюють, незважаючи на те, що ще кілька десятиліть тому було доведено ефективність запровадження науково обґрунтованих режимів висвітлення.

Висвітлення в пташнику відіграє важливу роль при вирощуванні курей усіх напрямків і дозволяє керувати процесами фізіологічного розвитку птиці, забезпечити більш комфортні умови її утримання та досягти суттєвого зростання практично всіх показників продуктивності стада.

Правильно організована система освітлення разом із правильно спроектованою програмою освітлення дозволяє впливати на вік статевого дозрівання, забезпечити оптимальний режим розвитку птахи, збільшити несучість, тривалість періоду яйцекладки, розмір яєць та їх масу, міцність шкаралупи, заплідненість, знизити бій яєць.

А також збільшити виживання молодняку, знизити витрати кормів і покращити їх засвоюваність, знизити травматизм у птиці і зменшити витрати врази.

Відомо, що активність центральних та периферичних органів імунітету залежить від повноцінності раціонів харчування за основними та біологічно активними речовинами та дотримання температурно-вологісного та

світлового режимів.

Значний багатогранний вплив на функції та розвиток організму має світло, діючи на організм через рецептори сітківки ока, шкіри, слизових оболонок, впливає на кору головного мозку, а потім рефлекторно на функції різних органів, систем та загальний обмін речовин.

Використання рекомендованого режиму освітлення для курчат-бройлерів підвищує показники, що характеризують продуктивність, стимулює гемопоез, загальну резистентність організму та запобігає багатьом незаразним захворюванням птиці.

На сьогоднішній день механізми впливу освітлення на курей досить добре вивчені. Основні параметри освітлення, що впливають на життєдіяльність курей – це освітленість, спектр випромінювання освітлювачів, тривалість світлового дня та її зміна.

Встановлено, що ритми денний активності і нічного спокою у курей регулюються епіфізом шляхом виділення ферменту, що відповідає за перетворення серотоніну в мелатонін, при підвищенні рівня якого у крові кури сідають на сідало, засинають, і температура тіла у них знижується. Експерименти показали, що епіфіз чутливий до світла, однак ця чутливість різна в різні періоди доби [2].

Припускають, що тривалість днів вимірюється з допомогою ендogenous ритму, який складається з двох напівциклів: «світлочутливого» та «темночутливого». Світлова стимуляція відбувається лише тоді, коли тривалість світлового дня поширюється на «темночутливу» частину ендogenous ритму. За останніми даними, світлочутлива фаза для курей настає через 11 годин після першого включення світла («світанку») і триває 5 годин, незважаючи на те, що цей період може перериватись короткими періодами темряви (рис. 1.1.).

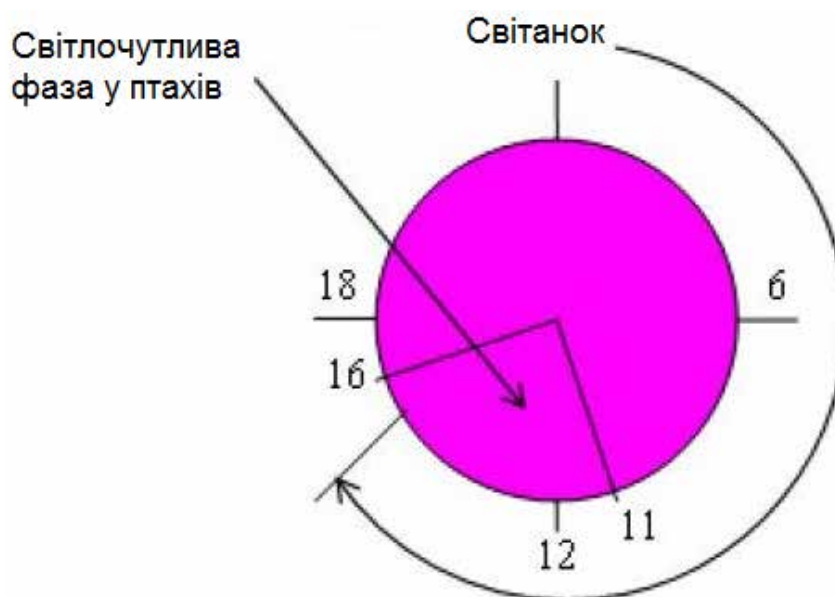


Рис. 1.1. Світлочутлива фаза у птахів

1.2. Світлові програми вирощування птахів

Ще донедавна як провідні селекційні фірми, так і вчені найчастіше при вирощуванні курчат-бройлерів рекомендували застосовувати постійний режим освітлення 23С:1Т. Однак останнє час, як вчені, так і виробничники, приходять до думки про необхідність наявності у світловому режимі протягом доби періоду темряви тривалістю не менше 4 годин. Це мотивується тим, що при майже цілодобовому освітленні птах використовується занадто інтенсивно, крім того, це негативно впливає на здоров'я.

Для зниження витрати електроенергії на освітлення рекомендується застосовувати уривчасті режими освітлення, яких зараз розроблено велику кількість.

Переривчасті режими освітлення дозволяють як зменшити витрати електроенергії на освітлення, а й у деяких випадках позитивно впливають на продуктивні показники птиці, сприяють зниженню питомих витрат кормів. Крім того, досвідченим шляхом було показано, що при уривчастому світловому режимі птах піддається меншому стресу, ніж при постійному.

Програми освітлення розробляють з урахуванням змін, що відбуваються на різних етапах розвитку птиці, оскільки від кількості та інтенсивності світла залежить активність пташенят та дорослих особин.

З літературних джерел відомо багато прикладів застосування різних режимів висвітлення з метою впливу на фізіологічні процеси в організмі курчат та їх регулюванн.

Основна стандартна програма освітлення завжди адаптується до конкретних виробничих умов з урахуванням клімату, типу приміщень, середньодобової ваги птиці, поживності раціону, рівня використання корму та загальної мети відгодівлі.

Недотримання вимог режимів освітлення для курчат може призвести до значного зниження виробничих показників цілого стада - приростів, збереження та конверсії корму.

Одним з факторів, який може негативно вплинути стан птаха - це різке включення/вимикання освітлення. Тому бажано забезпечити плавний «світан/захід» у пташнику, особливо для курей-несучок. Тим більше, не рекомендується вирощувати курей при постійному освітленні.

Вже з третьої доби їх необхідно поступово привчати до темряви, інакше при аварійному відключенні освітлення може початися тиснява, що призведе до загибелі птиці.

Цілодобове освітлення птах використовується занадто інтенсивно, крім того, це негативно впливає на здоров'я.

Для зниження витрати електроенергії на освітлення рекомендується застосовувати уривчасті режими освітлення, яких зараз розроблено велику кількість.

Переривчасті режими освітлення дозволяють як зменшити витрати електроенергії на освітлення, а й у деяких випадках позитивно впливають на продуктивні показники птиці, сприяють зниженню питомих витрат кормів.

Крім того, досвідченим шляхом було показано, що при уривчастому світловому режимі птах піддається меншому стресу, ніж при постійному.

Програми освітлення розробляють з урахуванням змін, що відбуваються на різних етапах розвитку птиці, оскільки від кількості та інтенсивності світла залежить активність пташенят та дорослих особин. З літературних джерел відомо багато прикладів застосування різних режимів висвітлення з метою впливу на фізіологічні процеси в організмі курчат та їх регулювання.

Основна стандартна програма освітлення завжди адаптується до конкретних виробничих умов з урахуванням клімату, типу приміщень, середньодобової ваги птиці, поживності раціону, рівня використання корму та загальної мети відгодівлі [3].

Недотримання вимог режимів освітлення для курчат може призвести до значного зниження виробничих показників цілого стада - приростів, збереження та конверсії корму.

Одним з факторів, який може негативно вплинути стан птаха - це різке включення/вимикання освітлення. Тому бажано забезпечити плавний «світанок/захід» у пташнику, особливо для курей-несучок. Тим більше, не рекомендується вирощувати курей при постійному освітленні. Вже з третьої доби їх необхідно поступово привчати до темряви, інакше при аварійному відключенні освітлення може початися тиснява, що призведе до загибелі птиці.

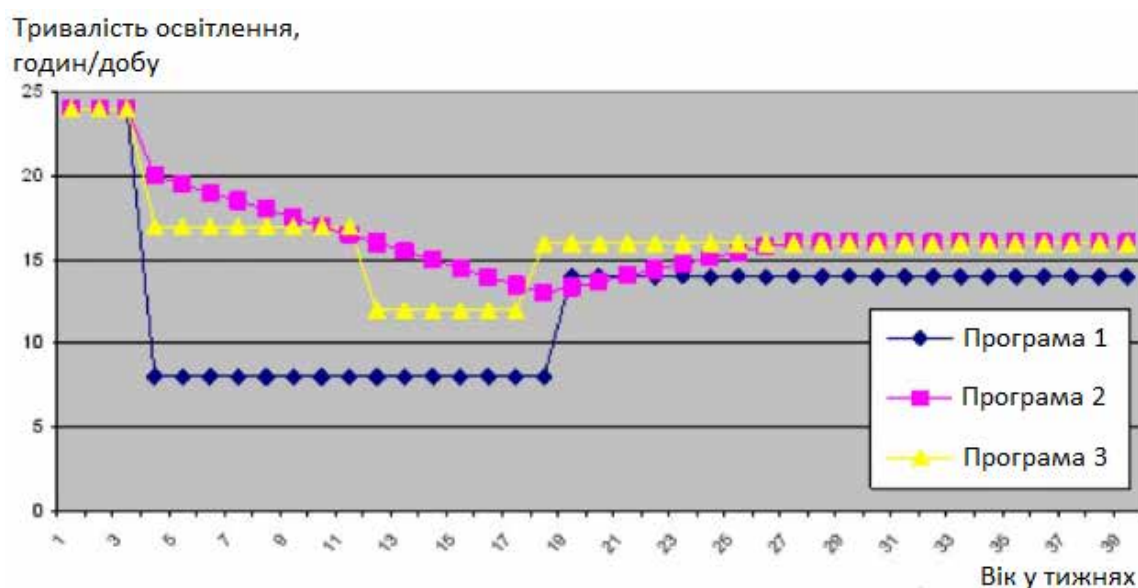


Рис. 1.2. Приклади програм освітлення

Плавне збільшення тривалості світлового дня дозволяє значно прискорити статеве дозрівання птиці, а також стимулювати початок яйцекладки, поступове її зменшення в період вирощування суттєво затримує статеве дозрівання. Між програмами з світловим днем, що збільшується і зменшується, різниця у віці дозрівання становить до 5 тижнів.

Програми освітлення, в яких світловий період зменшується менш ніж до 10 годин, є більш стримуючими, ніж 12-14 годинним, що закінчуються світловим вдень.

Збільшення тривалості світлового дня стимулює репродуктивний відгук, навіть якщо світло не потрапляє у світлочутливий період, як зображено рис. 1.2 (тобто. збільшення тривалості дня починається з 8 годин).

Зменшення тривалості світлового дня часто використовують як частину програми линяння, щоб зменшити кількість яєць. Прикладом програми освітлення зі світловим днем, що зменшується, може бути програма 2 на рис. 1.2.

Різкі зміни тривалості світлового дня іноді застосовують у період зростання за умови незначного їх впливу на статеве дозрівання.

Дослідження показали, що різке збільшення або зменшення тривалості світлового дня більш впливає на вік статевого дозрівання в пізнішому віці, але до початку яйцекладки [11].

1.3. Типи режимів освітлення пташників

Від раціонального нормування штучного висвітлення залежить фізіологічний стан птиці та її продуктивність.

При нормуванні світлового режиму слід чітко розрізняти два фактори: явище фотоперіодизму (тривалість) та інтенсивність освітлення. Численні дані вітчизняних та зарубіжних досліджень підтверджують необхідність нових нормативів освітлення, що використовуються у птахівництві.

Режими освітлення пташників можна умовно розділити на режими з одним світловим періодом і переривчасті режими освітлення.

Переривчасті режими освітлення використовуються як при вирощуванні курей-несучок, так і при вирощуванні бройлерів. Однак режими для різних напрямків суттєво відрізняються.

Встановлено, що з режимах переривчастого освітлення важлива не загальна тривалість світлового дня, бо, коли доби забезпечене світло, й у результаті яка виходить тривалість «суб'єктивного» дня, тобто. е. того періоду, який кури як переривчастого освітлення сприймають як тривалий світловий день.

Усі режими уривчастого освітлення, описані у світовій літературі умовно можна розділити на два типу: режими переривчастого освітлення асиметричного типу та режими переривчастого освітлення симетричного типу. Птах реагує на них абсолютно по-різному.

Режими переривчастого освітлення асиметричного типу (наприклад, 2С:4Т:8С:10Т), сприймаються стадом курей як одноразова зміна дня і ночі.

Встановлено, що з точки зору споживання корму, овуляції та яйцекладки в режимах переривчастого освітлення цього типу, кури найбільший період темряви сприймають як ніч, а наступний за ним світловий період - як початок суб'єктивного дня, або як світанок.

Інші короткі періоди темряви птах ігнорує і разом із світловими періодами сприймає як тривалий світловий день. Відбувається загальна синхронізація яйцекладки у стаді, т.е. е. ритм кладки яєць збігається із «суб'єктивним» днем [4].

При використанні режимів переривчастого освітлення асиметричного типу продуктивність птиці підвищується, а витрата корму знижується або ці показники залишаються на рівні постійного освітлення.

Саме режими цього знаходять широке застосування у яєчному птахівництві.

Режими переривчастого освітлення симетричного типу (наприклад, (2С:4Т)х4 або (1С:3Т)х6 і ін), не мають чіткою кордону між «суб'єктивним» днем та «суб'єктивною» вночі, оскільки всі періоди світла та темряви рівні за тривалістю. Встановлено, що у стаді курей відбувається десинхронізація яйцекладки, т. е. вона триває протягом 24 годин.

При використанні режимів переривчастого освітлення симетричного типу в цілому яєчна продуктивність знижується з одночасним підвищенням маси яєць і поліпшенням якості шкаралупи. Особливо характерно для режимів цього підвищення живої маси.

У зв'язку з цим режими переривчастого висвітлення даного типу доцільно переважно застосовувати у бройлерному виробництві.

Висновки до розділу 1

У першому розділі було досліджено вплив різних режимів освітлення на продуктивність птиці. Показано, що освітлення відіграє ключову роль у регуляції фізіологічних процесів, зокрема статевого дозрівання, несучості, розвитку імунної системи та загального здоров'я птахів. Переривчасті режими освітлення виявилися енергоефективнішими та менш стресовими для птиці порівняно з постійним освітленням.

РОЗДІЛ 2

АНАЛІЗ ОСОБЛИВОСТЕЙ ОСВІТЛЕННЯ В ПТАХІВНИЦТВІ

2.1. Особливості освітлення в птахівництві

В даний час практично всі великі зарубіжні птахівницькі компанії використовують переваги переривчастих режимів освітлення. Існує велика кількість програм освітлення, що дозволяють значно підвищити ефективність вирощування птахів як яєчного, так і м'ясного напрямків.

Однак у кожному конкретному випадку програма повинна складатися виходячи з поточних умов годівлі, утримання та економічних вимог до процесу вирощування.

Основна мета світлового стимулювання при вирощуванні курей-несучок - досягнення стадом статевої зрілості (50% яйцекладки) в оптимальному віці.

Цей вік залежить як від породи, так і від економічних вимог. Світлостимулювання в ранньому віці) наводить до збільшення числа яєць, але в той же час і до збільшення числа дрібних яєць, але в той же час і до зменшення загальної маси вироблених яєць.

Чутливість курей до збільшення світлового дня залежить від віку та максимальна у 9-12-тижневому віці, тому світлостимулювання найкраще починати в цьому віці. У 18-тижневому віці світлостимулювання практично не впливає на вік 50% яйцекладки.

Якщо ремонтний молодняк був вирощений при постійному висвітленні, у продуктивний період курей можна використовувати переривчасте висвітлення. А якщо ремонтний молодняк був вирощений при уривчастому освітленні, у продуктивний період курей використовувати постійне освітлення недоцільно [5].

Зрозуміло, найкращі результати досягаються, коли, як в період вирощування, так і в продуктивний період, використовується уривчасте освітлення.

Переходити на уривчасте освітлення курей можна у будь-який час продуктивного періоду, тільки при цьому перше включення світла після тривалого темряви не повинно бути пізніше, ніж включення світла при постійному висвітленні. Краще навіть якщо перше включення світла здійснюється на 2-3 години раніше.

Слід зазначити, що при переривчастому освітленні птиця поводить себе спокійно, менше схильна до стресів, випадків травм і розкльовування практично не буває.

Значно підвищується перетравлюваність та використання поживних та мінеральних речовин корму, знижується розсип корму, оскільки птиця 40-48% корму від норми споживає у темряві.

При використанні режимів переривчастого освітлення для того, щоб при нічному включенні світла у годівницях був корм, доцільно 25-30% корму від його добової норми роздавати перед вечірнім вимкненням світла.

Відомо, що джерело кормового кальцію повністю перетравлюється приблизно за 12 годин. Отже, якщо він згодовується о 14 годині дня, то до 2 години ночі, тобто якраз до моменту інтенсивного утворення шкаралупи у багатьох курей, повністю буде виведений із шлунково-кишкового тракту.

При нестачі кормового джерела до 30-40% кальцію надходить із кісткового депо. Однак, якість шкаралупи яєць завжди вища, коли її формування відбувається безпосередньо з кормового кальцію, ніж із кальцію кісткової тканини.

Як приклад програми переривчастого освітлення для курей-несучок наведемо програму Bio-Mittent™ (торгова марка Purina Mills). Фірма Ralston Purina Co. застосувала на 25 млн. несучок новий режим переривчастого освітлення, спільно розроблений фахівцями фірми та Корнельського університету.

Внаслідок застосування нового режиму витрата електроенергії на освітлення птахи скоротилася на 75%, бій яєць знизився на 10%, витрата корму отримання яєчної продукції зменшився на 5-7%.

Несучість несучок за 56 тижнів кладки склала 276 яєць/гол., Витрати корму на отримання 10 яєць - 1,6 кг (або 3,0 кг на 1 кг яйцемаси), середньодобове споживання корму - 117 г/год. Зміни мають бути плавними, щоб птах звикла до графіку годування від світлового періоду.

Дані вчених з університету Реддингу (Англія) показали можливість застосування переривчастого освітлення *Biomittent* з 18 і 23-тиж. вік молодок.

Фірмою *Purina Mills* був застосований цей режим для вирощування молодняку починаючи з 3-х тижневого віку при тривалості світлового дня 8 годин [6].

У внаслідок застосування цієї програми знизилися витрати корму та трохи збільшилася вага молодняку до 20-тижневого віком, без подальшого зниження продуктивності стада.

2.2. Особливості освітлення при вирощуванні птахів

При розробці програм висвітлення для вирощування птиці необхідно враховувати кілька важливих моментів.

Освітлення відіграє ключову роль у вирощуванні птиці, впливаючи на її ріст, продуктивність, здоров'я та поведінку.

Однією з проблем є те, що бройлери дуже швидко починають нарощувати м'язову масу, але це відбувається за рахунок розвитку скелета, серця та кровоносної системи, імунних порушень та життєздатності.

Таким чином, можна виростити великого птаха за короткий час, але прибуток від стада знижується за рахунок того, що у птиці з'являються проблеми з ногами, асцит, погана життєздатність, через що серйозно страждає ефективність споживання корму.

Тому необхідно забезпечити контроль за розвитком бройлерів у ранньому віці, щоб їх серце, легені та скелет встигли сформуватися перед початком активного формування м'язової тканини.

Цього можна досягти за допомогою використання стримувальних

світлових програм та обмеження споживання корму у ранньому віці.

У деяких випадках під час темряви включають кілька коротких світлових періодів.

Це стимулює активність птиці, дає можливість споживання води та їжі під час періоду відпочинку.

Крім того, короткі світлові періоди дозволяють зменшити ймовірність появи пухирів на грудях птиці, а також тисняви біля годівниць, які можуть виникати після тривалих періодів темряви.

Високу ефективність показало використання під час вирощування бройлерів режимів переривчастого освітлення симетричного типу.

Як приклад наведемо кілька широко використовуваних програм освітлення, що застосовуються для вирощування бройлерів (табл. 1.1).

Дані зміни крові та продуктивних показників курчат-бройлерів при їх вирощуванні з використанням програми світло-темрява, свідчать о необхідності зміни світла «дня» і «ніч», що забезпечує безпеку енергії в період темряви, підвищення приростів живої маси і зниження витрат корми на одиницю приросту [7].

При цьому покращується розвиток скелета, стимулюється імунна система за рахунок продукування мелатоніну, покращується однорідність стада, а безпека молодняку складає 97 %.

Однією з ключових особливостей є необхідність врахування фотоперіоду — співвідношення тривалості світлової та темної частин доби. У перші дні життя пташенят необхідне тривале освітлення (до 23 годин на добу) з поступовим скороченням тривалості, що сприяє нормальному розвитку та адаптації. У подальшому періоди освітлення регулюють відповідно до фази росту чи несучості.

Таблиця 1.1.

Програми освітлення для вирощування птиці

День	Освітлення	Інтенсивність, лк
Програма Classen and Goldkist, Inc, USA		
0	23С:1Т	20
1-2	20С:4Т	20
3-4	18С:6Т	20
5-14	6С:18Т(*)	5
15-21	10С:14Т(*)	5
22-28	14С:10Т(*)	5
29-35	18С6Т	5
Ю-42	24С	5
День	Освітлення	Інтенсивність, лк
Програма Light Control Housing - major integrator - USA		
0-3	24С	5
4-7	18С:6Т	5
8-14	14С:10Т	5
15-22	16С:8Т	5
23-28	18С:6Т	5
29 и далее	22С:2Т	5

(*) У середньої частини періоду темряви додається 1 година світла.

2.3. Роль інтенсивності освітлення в птахівництві

При вирощуванні та утриманні курей важливе значення має інтенсивність висвітлення. Освітленість у приміщенні на рівні годівниць, у горизонтальній площині має бути 10-70 лк. Однак необхідно пам'ятати, що при інтенсивному вирощуванні завищена освітленість (100-150 лк і більше)

може негативно вплинути на стан птиці.

Для курчат у віці до 4 тижнів рекомендується вища освітленість. У перші дні вирощування рекомендована освітленість 30-40 лк. Така освітленість створює у напувалках так зване «дзеркало води», що у свою чергу стимулює споживання води курчатами. Далі освітленість поступово знижується до 5-7 лк у 3-тижневому віці і залишається на такому рівні до кінця вирощування.

При утриманні дорослих курей-несучок раціональною є освітленість 10 лк, а батьківського стада - 15 лк (при освітленості нижчеказаного рівня статева активність півнів помітно знижується). Зниження яскравості освітлення також дозволяє знизити явище обскубування пір'я та канібалізму у птиці. Мінімальна яскравість освітлення для вирощування молодняку становить 5 люкс, виміряне біля годівниці. При змісті курей на підлозі освітленість має бути вище, ніж у клітинах [8].

В даний час багато зарубіжних фірм рекомендують освітлення 20-25 лк. Це пов'язано з тим, що якщо у пташнику є зони зі зниженою освітленістю (нижче 10 лк), кури у цих місцях зносять яйця і різко підвищується їх забрудненість. Система освітлення має бути спроектована з певним запасом, т.к. яскравість ламп з часом знижується, і згодом вони запилюються та засмічуються.

2.4. Колір освітлення в птахівництві

Дослідження показали, що колір освітлення також впливає на поведінку, зростання та відтворення птиці.

Кури сприймають світло як через сітківку ока, і через фоточутливі клітини мозку.

Оскільки довгохвильова (червона) частина світлового спектру краще проникає крізь шкіру та кістки черепа, ніж короткохвильова, було встановлено, що ріст і поведінка пов'язані з рецепторами сітківки, а

репродуктивні функції пов'язані з фоточутливими клітинами мозку.

Колір світла має важливий вплив на фізіологічні процеси, поведінку та продуктивність птиці. Завдяки розвитку LED-технологій стало можливим точно налаштувати спектр випромінювання, адаптуючи його під конкретні потреби різних вікових і виробничих груп.

Наприклад, її чутливість до різних довжин хвиль світлового спектру відрізняється від чутливості людського ока (рис. 1.3).

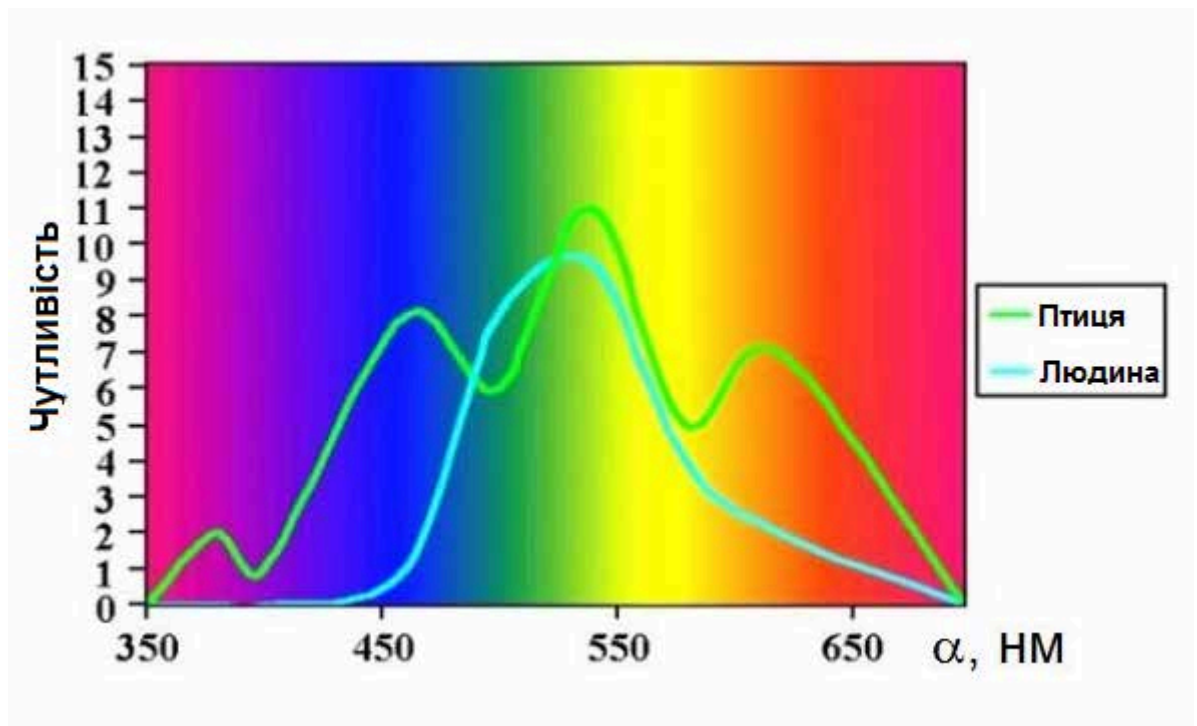


Рис. 1.3. Чутливість до світлового спектру людини та птиці

Спостереження показали, що синій світло діє на птицю заспокійливо. Монохромне синє світло стимулює вироблення в плазмі тестостерону, який виробляє протеїни, що збільшують м'язові клітини.

Синьо-зелене світло стимулює зростання курчат, тоді як червоно-оранжевий стимулює репродуктивні функції. Монохромне зелене світло стимулює зростання м'язових клітин та розвиток скелета.

Червоне світло використовується для зниження канібалізму та розкльовування пір'я. Червоне світло глибоко проникає не лише через очі, а й через шкіру птиці. Монохромне червоне світло стимулює гіпоталамус, який

виробляє гормони для відтворення, підвищуючи несучість і запліднюваність.

Однак спостереження показали, що червоні лампи знижують тривалість кладки яєць.

Виходячи з цього і т.к. червоні лампи енергоємніші, їх не рекомендують використовувати для молодняку.

Синє та зелене світло мають відносно коротку довжину хвилі, і тому сприймаються тільки оком, стимулюючи зростання.

Біле нейтральне світло часто використовується як універсальне, проте воно менш ефективне у спрямованому впливі на окремі фізіологічні функції птиці. Важливим аспектом є можливість комбінування спектрів у різні періоди доби або життєвого циклу.

Червоне світло має саму довгу хвилю з видимого спектру, тому сприймається оком, а також проникає через череп до гіпоталамусу (табл. 1.2).

Таблиця 1.2.

Сприйняття світла людиною і птахом

Довжина хвилі, нм	Сприйняття людиною	Показник сприйняття людиною 0,1 люкс	Показник сприйняття птахом 0,1 люкс	Кратність різниці
440-460	Синій	3,0	39,8	13,3
460-480	Синій	7,1	52,4	7,34
480-500	Синій	16,4	53,1	3,24
520-540	Зелений	60,2	59,0	0,98
540-560	Зелений	67,8	66,9	0,99
620-640	Помаранчевий/ Червоний	16,7	42,7	2,56
640-660	Червоний	6,6	20,7	3,12
680-700	Червоний	0,5	5,8	11,3

З табл. 1.2. видно, що пташине око бачить в 13 разів краще за нашого в

синій частині спектру і в 3,5 рази краще в червоній частині спектру.

Дія монохромного світла на тваринах ще повністю не вивчена, проте в останні роки з'явилося нове розуміння, нові підходи та застосування.

Птах стає набагато спокійнішим, коли в пташниках використовуються монохромні світильники, які не тільки випромінюють світло потрібного кольору, але й пригнічують небажані кольори [9].

Однак вважається, що найкращий спектр освітлення сьогодні – теплий білий із колірною температурою 2800-3200К. Цей колір є найближчим до сонячному, а для нього отримання можна використовувати світлодіодні чи люмінесцентні лампи.

Крім всього для відпочинку і правильного розвитку птахи необхідні періоди темряви.

Висновки до розділу 2

У другому розділі було проаналізовано особливості освітлення в птахівництві. Було визначено, що спектральний склад, інтенсивність та тривалість освітлення суттєво впливають на поведінку, продуктивність і здоров'я птиці. Особливу увагу приділено ролі кольору світла: зелений і синій стимулюють ріст, червоний — репродуктивну функцію. Виявлено доцільність застосування адаптованих програм освітлення, залежно від фази росту птиці.

РОЗДІЛ 3

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРИНЦИПІВ ОРГАНІЗАЦІЇ ОСВІТЛЕННЯ ДЛЯ КЛІТИННОГО ВМІСТУ ПРОМИСЛОВОГО СТАДА ПТИЦІ

3.1. Проблеми освітлення в птахівництві

Освітлення є одним із ключових факторів, що впливають на фізіологічний стан, продуктивність та добробут птиці. Проте у сучасному птахівництві існує низка проблем, пов'язаних із нераціональним використанням освітлювальних систем.

Сучасна система освітлення пташника має відповідати сучасним вимогам до енергозбереження, а також відповідати технологічним вимогам утримання відповідних видів курей.

Проблеми освітлення в птахівництві можуть негативно впливати на продуктивність, здоров'я та поведінку птиці.

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

Однією з основних проблем є використання застарілих джерел світла, таких як лампи розжарювання або люмінесцентні лампи, які мають низький коефіцієнт енергоефективності та короткий термін служби. Це призводить до високих витрат електроенергії, частих замін ламп і, відповідно, зростання експлуатаційних витрат.

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.

Ще однією суттєвою проблемою є невідповідність спектру світла фізіологічним потребам птиці. Розв'язання зазначених проблем можливе шляхом впровадження сучасних світлодіодних систем освітлення.

Неправильно підібрана колірна температура або інтенсивність освітлення можуть викликати стрес, агресію, зниження несучості або затримку росту. Надмірне або недостатнє освітлення впливає на ритми кормоспоживання, сну та розмноження.

Птахівництво несе великі економічні витрати, пов'язані з інтенсифікацією технології годівлі та утримання птиці.

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

Розв'язання зазначених проблем можливе шляхом впровадження сучасних світлодіодних (LED) систем освітлення, які дають змогу забезпечити енергоефективність, тривалий ресурс роботи, оптимальний спектр та можливість інтелектуального керування світлом. Це дозволяє не лише зменшити витрати, але й суттєво покращити умови утримання птахів, підвищити їх продуктивність та благополуччя.

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

3.2. Традиційні освітлювальні системи в птахівництві

В даний час із запровадженням нової технології змісту тварин спостерігається все велика ізоляція їх від природної середовища, тому зростає роль штучного світла і освітлювальних установок.

Донедавна в птахівництві найпоширенішими джерелами світла були лампи розжарювання (ЛН) та традиційні люмінесцентні лампи (ЛЛ). Кожні з них мають свої переваги та недоліки.

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

Їх позитивними показниками є:

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

У той же час недоліки ламп розжарювання:

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

При вивченні впливу ламп розжарювання, натрієвих ламп високого тиску та люмінесцентних ламп білого світла на ріст та розвиток індичат та бройлерів суттєвих переваг тих або інших джерел світла встановлено не було, проте при застосуванні останніх двох типів ламп досягалася значна економія електроенергії [11].

Використання люмінесцентних ламп спочатку диктувалося з енергозбереження, але вивчення їх використання показало більше високу їх

ефективність в формуванні продуктивні показники птиці.

Обидва типи ламп мають обмежену можливість регулювання спектру випромінювання, що знижує ефективність впливу на фізіологію птиці.

Дослідження показують, що світлодіодні системи, що використовуються в сільському господарстві, скорочують споживання електроенергії на освітлення корпусів для птиці та тварин у 8-10 разів у порівнянні з лампами розжарювання та в 1,8-2,2 рази порівняно з люмінесцентними лампами.

Застосування в системах освітлення пташників для утримання курей-несучок компактних люмінесцентних ламп (КЛЛ) потужністю 16 Вт і колірною температурою 2700 К дозволяє знизити витрати електроенергії на освітлення з розрахунку на одиницю продукції 3,1 (при розміщенні ламп на відстані 3 м) та 6 2 рази (відстань між лампами 6 м).

Але крім економії електроенергії це дозволяє підвищити несучість, масу яєць і збереження птиці. Крім того, за своїм спектральним складом люмінесцентне світло ближче до природного (денного).

Причому, світловіддача люмінесцентних ламп у 3-10 разів вища, ніж ламп розжарювання.

Однак люмінесцентним лампам притаманний ряд суттєвих недоліків:

- при їх використанні важко регулювати рівень освітленості в приміщеннях, ті ж методи, що пропонуються, призводять до зменшення терміну служби ламп;
- люмінесцентним лампам властиве мерехтіння (до 100 разів на секунду), що може викликати у тварин так званий стробоскопічний ефект, який негативно впливає на їх фізіологічний стан;
- люмінесцентні лампи містять деяку кількість небезпечної речовини, як ртуть, тому порядок утилізації перегорілих ламп суворо регламентуються чинним законодавством.

За недотримання норм законодавства підприємства піддаються

штрафним санкціям, розмір яких може навіть перевищувати вартість заощадженої електроенергії [12].

Традиційні системи зазвичай не обладнані засобами автоматичного керування, що унеможливорює оптимізацію освітлення відповідно до вікових потреб птиці та фази виробництва.

У результаті використання традиційних джерел світла призводить до підвищеного споживання електроенергії, підвищеного рівня стресу у птиці та обмежених можливостей для покращення продуктивності [13]. Ці чинники зумовлюють потребу у переході до більш сучасних та енергоефективних технологій освітлення, зокрема LED-систем.

Висновки до розділу 3

У третьому розділі було досліджено принципи організації освітлення для клітинного вмісту птиці. Виявлено проблеми, пов'язані з нераціональним використанням застарілих освітлювальних систем, що призводить до зниження продуктивності та високих витрат. Обґрунтовано необхідність переходу до сучасних світлодіодних систем, які забезпечують рівномірне освітлення, правильний спектр та енергоефективність.

РОЗДІЛ 4

ЗАСТОСУВАННЯ ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧОГО ОСВІТЛЕННЯ ДЛЯ ПТАШНИКІВ

4.1. Енергозберігаюче освітлення для пташників

Використання енергозберігаючого освітлення в пташниках дозволяє знизити витрати на електроенергію, покращити продуктивність птиці та забезпечити комфортні умови для її утримання.

Попит на енергозберігаюче освітлення для пташників зріс останніми роками кілька разів.

Це за кількома причинами:

- постійний зростання цін на електроенергію;
- короткий термін служби ламп розжарювання;
- покращення характеристик світлодіодних світильників;

підвищення вимог екологічної безпеки.

У сукупності ці фактори привели до масовому відмові птахівників від придбання систем накаливого освітлення та пошуку більш економічних рішень [14].

В даний час енергозберігаюче освітлення для птахофабрик розвивається по трьом напрямкам: 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.

Освітлення для птахофабрик на основі компактних люмінесцентних ламп – напрямок, який дуже бурхливо розвивався останніми роками, але через прорив у галузі світлодіодних технологій, мабуть, не має перспектив.

Головна причина цьому - це щодо короткий термін служби (6-8 тисяч годин) та складності з регулюванням яскравості в широких межах, що має значення у птахівництві. Компактні люмінесцентні лампи бувають двох типів: з підігрівним (CFL) та холодним катодами (CCFL).

Перші у штатній складання не регулюються, а у виконанні з можливістю димування включаються на високій яскравості, і тільки потім можна знизити їхню світність до 20-30% (ціна при цьому в 3-4 рази вище). Лампи CCFL також мають дуже високу ціну, регулюються звичайним симісторним диммером, але при низьких рівнях освітленості можливі моргання і, крім усього іншого, вони дуже тендітні (діаметр спіралі всього 3-4 мм).

4.2. Енергоефективне світлодіодне освітлення в птахівництві

Найперспективніший напрямок – енергозберігаюче світлодіодне освітлення для птахофабрик.

Використання LED-освітлення в пташниках значно зменшує витрати на електроенергію, покращує продуктивність птиці та створює оптимальні умови для її росту та розвитку.

Останнім часом світильники на основі світлодіодів знаходять все більше застосування у різних галузях. народного господарства, птахівництво теж є винятком. На сьогоднішній день спостерігається підвищена увага до світлодіодів як найбільш енергоефективних джерел світла [15].

У сільському господарстві як однієї з найбільш енергоємних 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 безпечному напрузі живлення та довговічності такі світильники виявляються поза конкуренцією при розміщенні всередині

клітинної батареї.

При цьому за показником світловіддачі (лм/Вт) світлодіоди випередили люмінесцентні лампи, а за ціною такі системи освітлення для птахофабрики вже можна порівняти з ними.

Світлодіоди дають можливість зменшити витрати електроенергії на 85 % по порівнянні з лампами розжарювання і до 50 % по порівнянні з люмінесцентними лампами. Вони мають більший термін їхньої служби – понад 50000 годин, тобто майже в 50 та 5 разів відповідно більше, ніж у ламп розжарювання та люмінесцентних ламп, а також вони стійкі до багаторазових включень і вимкнень, мають протипожежну та електричну безпеку (низька напруга - зазвичай 12-36 В).

Іншими перевагами світлодіодних систем освітлення є можливість регулювання рівня освітленості від "0" до номінального, одержання світла будь-якого спектру, відсутність у складі токсичних речовин, відсутність ефекту мерехтіння [16].

Способи керування яскравістю ламп розжарювання та люмінесцентних ламп обмежені певним рівнем напруги та струму, при якому настає для ламп розжарювання свічення нагрітої до певної температури вольфрамової нитки, для люмінесцентних ламп електричний розряд, що тліє через область всередині колби з парами ртуті. Крім того, сам режим подачі імпульсної напруги або струму живлення постійного значення є кращим для світлодіодів, зважаючи на особливості їх функціонування.

Необхідно також відзначити, що у приміщеннях для змісту птиці та тварин світильники можна розміщувати на відносно невеликій висоті від 0,4 м (при клітинному) до 2,5-4 метрів (при підлоговому утриманні птахів та тварин), що дозволяє ефективно використовувати у світильниках малопотужні надяскраві світлодіоди, масове виробництво яких в даний час визначає досить низьку вартість системи світлодіодного освітлення, яка окупається в перебіг від одного року до трьох років порівняно з лампами розжарювання чи люмінесцентними лампами.

У порівнянні з лампами розжарювання та люмінесцентними лампами, які мають спрямованість світлового потоку 360° , світлодіоди з кутом половинної яскравості в 120° - 140° дозволяють більше ефективно використовувати інтенсивність джерела світла.

4.3. Електро-пожежна безпека, захист освітлювальних систем

Забезпечення електропожежної безпеки є одним із ключових аспектів при проєктуванні та експлуатації систем освітлення в птахівничих приміщеннях. Птахофабрики характеризуються підвищеною вогнебезпечністю через наявність горючого пилю, пуху, кормів, а також високу вологість і температуру, що створює сприятливі умови для коротких замикань, перегріву обладнання та виникнення пожеж.

Виходячи з вимог щодо вирощування та утримання птиці та сільськогосподарських тварин через певний час приміщення піддаються інтенсивному миття водою апаратами високого тиску із застосуванням агресивних миючих та дезінфікуючих засобів.

Наприклад, при вирощуванні курчат-бройлерів процес повної обробки і миття всього обладнання відбувається кожні 40-50 діб. Застосування світильників, у ланцюгах живлення яких використовується напруга промислової мережі 220 В (лампи розжарювання або люмінесцентні лампи) спричиняє небезпеку виникнення ситуацій, коли через втрату герметичності корпусу світильника або пошкодження кабелів живлення, можливе ураження електричним струмом обслуговуючого персоналу або виникнення. У світлодіодних світильниках може використовуватися низька напруга живлення, яка забезпечує електро- та пожежну безпеку при обслуговуванні та експлуатації системи освітлення [17].

Особливу увагу слід приділяти заземленню корпусів освітлювального обладнання та правильному монтажу електропроводки. Перевагу слід надавати кабелям з подвійною ізоляцією, прокладеним у металевих або

пластикових коробах, які виключають контакт із зовнішнім середовищем та птахами. Система IP (Ingress Protection Rating) - система класифікації ступенів захисту оболонки електроустаткування (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), т.к. працювати їм доводиться у досить жорстких умовах: висока концентрація пуху, пилу, газація; під час санітарної обробки пташника світильники піддаються миття під сильними струменями води.

4.4. Застосування алгоритмів переривчастого освітлення

Алгоритми переривчастого освітлення сільськогосподарських приміщень, розроблені у провідних сільськогосподарських інститутах України, дозволяють ефективно підвищити виробничі показники при вирощуванні курчат-бройлерів, зміст промислового стада курей-несучок, ремонтного молодняку, батьківського стада, а також тварин.

Зокрема, в останні роки при виробництві курячих яєць інтерес до режимів переривчастого освітлення помітно зріс.

Це викликано тим, що, на відміну від режимів постійного освітлення, переривчасте дозволяє не тільки збільшувати несучість, масу яєць, міцність шкаралупи, тривалість використання курей-несучок, але й одночасно знизити витрати корму, відхід поголів'я, витрата електроенергії [18].

Реалізація режимів переривчастого освітлення на лампах розжарювання тягне за собою за собою використання малоефективних, з крапки 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 у приміщенні нижче, ніж 30-50% від максимального.

Вартість світильників з можливістю такого регулювання зростає в кілька разів і стає порівнянною з вартістю світлодіодного світильника.

Споживання електроенергії якого в 2-2,5 рази менше, термін служби більший у 5-8 разів [19].

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

Висновки до розділу 4

Четвертий розділ присвячено застосуванню енергозберігаючих технологій в освітленні пташників. Світлодіодні системи показали найвищу ефективність серед усіх типів джерел світла, завдяки низькому споживанню енергії, тривалому ресурсу та можливості інтелектуального керування освітленням. Було підкреслено важливість дотримання електропожежної безпеки та захисту світильників згідно з IP65, що забезпечує безпечну експлуатацію в агресивному середовищі птахофабрик.

РОЗДІЛ 5

РОЗРОБКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ СВІТЛОДІОДНОГО СВІТИЛЬНИКА ДЛЯ КЛІТИННОГО ВМІСТУ ПТИЦІ

5.1. Огляд систем освітлення та світлових приладів для утримання пташника та їх специфіка

Конструкції світильників, виготовлених для промислових будівель, у пташниках не працюють.

Причини криються у специфіці підприємств:

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

- вирощування пташника відповідно до зоотехнічних норм передбачає високу рівномірність освітленості, періодичну зміну кількості світла, причому перехід з рівня на рівень не повинен викликати стресу у тварин, то є обов'язково наявність функції "світан/захід";

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

Оскільки лінії годування та напування розташовуються безпосередньо всередині клітинної батареї, розміщення світильників у проходах виявляється неефективно через множинні тіні і нерівномірний розподіл світла по ярусах [20].

Використовувати освітлення для пташника, застосовуючи лампи розжарювання або компактні люмінесцентні з патроном E27, досить складно

через те, що вони вимагають періодичної заміни, яку важко виробляти всередині багатоярусної клітини.

Також слід відзначити, що такі світильники при висоті підвісу менше 45 см нерівномірно освітлюють поверхню.

Для клітинного змісту існує два положення світильника, які забезпечуються за допомогою спеціальної системи підвіски на основі лебідки:

- робоче становище, коли світильники висять вертикально у проходах між клітинами, і повернуті до них; спеціальні світлодіоди забезпечують рівномірне висвітлення всіх ярусів клітини.

- сервісне положення, де за допомогою лебідки та системи тросів світильники піднімаються у горизонтальне положення. При цьому проходи звільняються для проведення технологічних робіт, і висвітлюються тими самими світильниками.

Економічна привабливість будь-якого обладнання визначається зокрема надійністю і тривалістю роботи [21].

В даний час інтерес до світлодіодного освітлення, як найбільш надійному, безпечному та економічно вигідному стрімко зростає.

Постійний розвиток технологій виробництва світлодіодів, джерел (драйверів) живлення та світильників на їх базі визначає суттєве зниження вартості обладнання за збереження тривалого терміну служби і надійності, який при правильному проектуванні та дотриманні вимог до експлуатації світлодіодів може досягати 75000 - 100 000 годин.

Огляд світлових приладів для пташників

Використання світлодіодного освітлення для бройлерів у клітковому утриманні — це найоптимальніше рішення, яке дозволяє усунути всі основні проблеми, пов'язані з освітленням. Наприклад, розміщення світлодіодного

світильника завдовжки два метри у триметровій клітці забезпечує м'яке й рівномірне розсіювання світла всередині.

Щоб досягти однорідної освітленості по всій ширині клітки, особливо з урахуванням невеликої висоти підвісу, світлодіоди в корпусі світильника розміщують у двох площинах під кутом один до одного.

Такий підхід дозволяє максимально ефективно охопити всю зону утримання птахів, створюючи комфортні умови для їх росту та розвитку.

Світильники являють собою трубку завдовжки 2 метри, виготовлену з ударостійкого полікарбонату, всередині якої розміщені плати зі світлодіодами (див. рис. 5.1.). На торцях трубки встановлені герметичні заглушки та кабельні вводи, що забезпечують захист від вологи та пилу [22].

Комплектуються світильники зручними підвісами, які дають змогу легко та швидко здійснити монтаж обладнання без додаткових зусиль. Упродовж усього строку експлуатації світильники не потребують обслуговування чи заміни комплектуючих. Розрахунковий термін служби — понад 10 років.



Рис. 5.1. Світлодіодні світильники серії LED-XXX. Загальний вигляд

Технічні характеристики світильників:

- кількість світлодіодів — 240 шт.;
- колір світіння — теплий білий (2800–3200 K);

- робоча напруга — 24 V DC;
- ступінь захисту від пилу та вологи — IP65;
- діапазон робочих температур — від -20 до +50 °C;
- маса — не більше 500 г.

Світильники потужністю 19,2 Вт зазвичай використовуються у пташниках з підлоговим утриманням — як для бройлерів, так і для батьківського поголів'я, де потрібний високий рівень освітлення, приблизно 50–100 люкс. Завдяки діаграмі спрямованості світлодіода 120°, майже весь світловий потік спрямовується вниз, що значно підвищує ефективність LED-лампи у порівнянні з лампами розжарювання або люмінесцентними.

Якщо на птахофабриці використовується кліткове обладнання з годівельними жолобами для вирощування молодняка або бройлерів, оптимальним варіантом освітлення є використання світильників потужністю 15,4 Вт. Їх розміщують у проходах між клітками з інтервалом від 0,5 до 2 метрів. Така схема забезпечує рівень освітленості 50–100 лк у зоні годівлі, створюючи комфортні умови для вирощування птиці [23].

Для кліткового утримання батьківського стада або промислової несучки в приміщеннях із загальним рівнем освітлення до 60 лк застосовують світильники меншої потужності — 11,5 Вт або 7,7 Вт. Модель LED-7.7 була спеціально розроблена для яєчних птахофабрик, де згідно з зоотехнічними нормами потрібен низький рівень освітленості, як правило, менше 20 лк.

Більшість світильників потужністю від 7,7 до 11,5 Вт мають довжину два метри, що забезпечує рівномірний розподіл світла по всій площі освітлення. Вони підвішуються на тросах з інтервалом від 0,5 до 3 метрів — залежно від необхідного рівня освітленості, висоти підвісу та відстані між точками кріплення.

Завдяки вдалій конструкції LED-світильників, світлодіодне освітлення для пташників з несучкою стало економічно вигіднішим за люмінесцентне ще на початку 2011 року, а вже за рік — LED-системи виявились кращим вибором і для бройлерів, і для батьківського стада, і для молодняка [24].

Сьогодні світлодіоди не мають альтернатив для освітлення птахофабрик: інвестиції в покупку компактних або лінійних люмінесцентних ламп є завідомо менш ефективними, ніж придбання сучасних LED-систем.

Особливо складним завданням є освітлення багатоярусних бройлерних кліток з внутрішньо розташованими годівницями.

Світло від ламп, розміщених у проходах, майже не проникає всередину клітки, тоді як для бройлерів необхідно забезпечити рівень освітлення корму на рівні 60–100 люкс.

До появи LED-світильників ця проблема вирішувалася встановленням люмінесцентних ламп потужністю 9–11 Вт безпосередньо в клітках.

Проте така система була не лише дорогою, а й мала низку серйозних недоліків:

- наявність небезпечної напруги 220 В безпосередньо в зоні утримання птиці;
- складності з димуванням (регулюванням яскравості);
- трудомістка й виснажлива заміна ламп, які виходили з ладу.

В одному пташнику може бути кілька тисяч світильників, і для їх обслуговування персоналу доводилось буквально повзати на колінах по нижньому ярусу або працювати з висоти за допомогою спецтехніки [25].

Запуск у виробництво малопотужних, необслуговуваних світлодіодних світильників став справжнім технологічним проривом в освітленні кліток для бройлерів. Їх використання значно підвищує продуктивність вирощування птиці та повністю усуває потребу в трудомісткому обслуговуванні освітлення.

Були проведені порівняльні експерименти з вирощування бройлерів у клітках з використанням компактних люмінесцентних ламп і світлодіодного освітлення.

Результати цих досліджень наведені в табл. 5.1.

Таблиця 5.1.

Результати порівняльного експерименту з вирощування бройлерів при використанні КЛЛ та світлодіодного освітлення в клітковому утриманні

Вік, днів	Середня маса бройлера, г (КЛЛ)	Середня маса бройлера, г (LED)	Приріст середньої маси, г (LED до КЛЛ)
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	+16,0
35	1781,2	1803,6	+22,4
40	2227,5	2258,6	+31,1

Австрійська компанія *Orion* [31] робить особливий акцент на використанні кольорових (монохромних) ламп у птахівництві. На думку розробників, монохромне освітлення має суттєві переваги перед традиційним білим світлом:

- покращує конверсію корму;
- сприяє підвищенню середньої живої маси птиці;
- забезпечує кращу однорідність поголів'я в групі;
- і має низку інших позитивних ефектів.

Втім, не всі фахівці в галузі поділяють цей ентузіазм. Деякі нідерландські виробники та постачальники обладнання ставляться до можливостей монохромного освітлення більш стримано, вказуючи на потребу у додаткових дослідженнях [26].

Світильники *Orion* вирізняються високою якістю виготовлення, простотою монтажу та надійним захистом від зовнішніх впливів.

Система освітлення є універсальною:

- Вертикальні світильники використовуються як у пташниках з підлоговим, так і з клітковим утриманням;

- Горизонтальні світильники (одно- та дволампові) призначені для встановлення всередині вольєрів.

Світильники оснащені лампами з цоколем G23 потужністю 11 Вт, при цьому адаптер споживає ще 4 Вт. Система керування дозволяє змінювати яскравість світла поетапно: від 100% до 70% або 50–55%. Розрахунковий строк служби ламп становить 8000–10000 годин.

При проектуванні освітлення важливо враховувати, що:

- світловіддача зелених ламп є вищою, ніж білих,
- а червоні та сині лампи мають суттєво нижчу світлову ефективність.

Ця закономірність справедлива не лише для ламп Orion, але й для лінійних люмінесцентних джерел світла загалом [27].

У країнах Європи регульоване освітлення активно використовується ще з початку 1990-х років. Такі рішення пропонують, зокрема, компанії LLC (Франція) та Agrilight (Нідерланди). Для освітлення пташників застосовуються лампи потужністю 75–100 Вт, яскравість яких можна змінювати у широкому діапазоні — від 3% до 100% — за допомогою спеціального ПРА (пристрою регулювання яскравості).

Ці лампи відзначаються:

- дуже високою світловіддачею;
- хорошим індексом передачі кольору;
- тривалим строком служби — близько 20 000 годин.

Завдяки потужному світловому потоку достатньо встановити лише одну тросову лінію посередині пташника, однак це вимагає високого підвісу для досягнення рівномірного освітлення. Подібне обладнання ідеально підходить для приміщень з високою стелею та відсутністю внутрішніх колон.

Китайський підхід: CCFL-лампи для напільного утримання.

У Китаї для освітлення пташників з напільним утриманням активно застосовуються регульовані CCFL-лампи (люмінесцентні лампи з холодним катодом) місцевого виробництва.

Їх виготовляють китайські постачальники обладнання, і вони активно використовуються у місцевих птахівничих господарствах.

Приклад:

- CCFL-лампа потужністю 13 Вт забезпечує світловий потік, еквівалентний лампі розжарювання на 65 Вт;
- яскравість регулюється звичайним тиристорним регулятором.

У Європі CCFL-лампи також застосовуються, а разом із ними — і регульовані CFL-лампи (люмінесцентні з підігрівом електродів), переважно для освітлення кліток [28].

На рис. 5.2 зображено світильник з U-подібною компактною люмінесцентною лампою, яскравість якої регулюється в діапазоні 8...100% за допомогою спеціального димера.



Рис. 5.2. Світильник з U-подібною КЛЛ

Останнім часом на птахофабриках зростає популярність багатоярусних кліткових батарей. Освітлення таких систем є значно складнішим завданням.

Зазвичай світильники розміщують на декількох рівнях по висоті, щоб забезпечити достатнє освітлення кожного ярусу.

Однак при цьому виникає нова проблема: світильники, які висять надто низько, заважають персоналу під час обслуговування птиці та обладнання.

Цікавий інженерний вихід із цієї ситуації запропонувала італійська компанія TECNO: вони встановили світильники на тросових підвісах з можливістю регулювання висоти за допомогою лебідки (див. рис. 5.3.).



Рис. 5.3. Підвіс світильників на тросах

Така система дозволяє зручно підіймати або опускати світильники за потреби — наприклад, під час прибирання, обслуговування обладнання або огляду птиці [29].

Світильники у такій системі зазвичай двохлампові:

- одна лампа — лампа розжарювання з можливістю регулювання яскравості,
- інша — звичайна компактна люмінесцентна лампа.

Альтернативний підхід до освітлення багатоярусних пташників реалізує компанія Big Dutchman [32].

Вона використовує регульовані світильники з лінійними люмінесцентними лампами T8, які монтуються вертикально в проходах між клітками. Такий спосіб забезпечує рівномірне розподілення світла на всіх ярусах.

Під час обслуговування кліток світильники можна:

- перемістити у горизонтальне положення вручну, або
- підняти вгору за допомогою лебідки, щоб звільнити простір для роботи персоналу.



Рис. 5.4. Сільськогосподарський світлодіодний світильник DS Agro 30

Світильник DS Agro 30 призначений для освітлення ферм, теплиць, корівників, пташників та інших об'єктів тваринництва [38]. Він має високий ступінь захисту від пилу, вологи та корозії [30]. Корпус виготовлено з анодованого алюмінію, що виключає ризик корозії навіть в умовах підвищеної вологості.

Світильник можна монтувати:

- на стелі;

- на стінах;
- або підвішувати на тросах — залежно від особливостей приміщення.

5.2. Пристрої для керування освітленням на птахофабриках

Сучасні птахофабрики потребують не лише енергоефективних джерел світла, але й інтелектуальних систем керування, які дозволяють точно регулювати світлові параметри відповідно до біологічних ритмів птиці, технологічних вимог та змін зовнішнього середовища.

На практиці використовуються такі типи керуючих пристроїв:

- Аналогові димери для плавного регулювання яскравості ламп розжарювання, КЛЛ або CCFL;
- Програмовані ПРА для формування денного світлового циклу (включаючи симуляцію світанку та сутінків);
- Цифрові релейні блоки та таймери;
- Автоматизовані системи із сенсорами руху та освітленості;
- Централізовані цифрові системи, які дозволяють дистанційне керування та моніторинг через ПК або мобільний пристрій.



Рис. 5.5. Система керування: DimMaster 4.0

DimMaster 4.0 — це професійна система керування освітленням, спеціально розроблена для потреб тваринництва, зокрема птахівництва.

Вона забезпечує:

- Плавне та безшумне регулювання яскравості в діапазоні від 0 до 100%, що дозволяє уникати стресу у птиці при зміні освітлення;
- Програмовані цикли освітлення, з можливістю налаштування тривалості, інтенсивності та кольору світла для кожного періоду доби;
- Підтримку декількох незалежних зон освітлення — наприклад, для різних вікових груп або ярусів кліток;
- Сумісність із широким спектром світильників, включаючи світлодіодні, люмінесцентні та гібридні системи;
- Інтерфейс для підключення до комп'ютера або мережі Ethernet для віддаленого керування та моніторингу.

Завдяки надійності, гнучкості налаштувань і простому інтерфейсу, DimMaster 4.0 набув широкого застосування на європейських птахофабриках.

Його використання дозволяє не лише поліпшити зоотехнічні показники (конверсія корму, однорідність стада, прирости маси), але й значно зменшити енерговитрати — до 40% у порівнянні з традиційними схемами освітлення.

5.3. Особливості конструкції кліток для бройлерів

З метою раціонального використання земельних ділянок у сучасному птахівництві дедалі ширше впроваджується багатоповерхове будівництво птахівничих приміщень. Це дозволяє значно збільшити поголів'я птиці без розширення площі забудови.

Сучасне обладнання пташників передбачає інтегровані комплекси, до складу яких входять:

- апаратура для програмного керування світловим режимом;
- системи автоматичної роздачі корму;

- вентиляційні установки з адаптивним керуванням.

У господарствах застосовують різні способи утримання курей: кліткове, напільне та комбіноване.

Втім, найвищу економічну ефективність забезпечує саме кліткове утримання.

Переваги кліткового утримання бройлерів:

- забезпечує інтенсивніше використання простору пташника — ефективність зростає у 3–4 рази;
- дає змогу дотримуватись високих санітарно-гігієнічних стандартів;
- сприяє підвищенню середньодобових приростів маси;
- забезпечує мінімальні витрати кормів;
- полегшує догляд за птицею та контроль її стану здоров'я — птицю легко дістати з клітки для огляду.

Клітки зазвичай формуються у невеликі секції, кожна з яких має загальний годівельний жолоб. Кількість голів у кожній секції невелика, що дозволяє уникнути стресу у птиці та підвищити рівномірність росту [31].

Типова конструкція кліткової батареї:

Для утримання промислового стада бройлерів найбільш поширеними є триярусні кліткові батареї (рис. 3.9, рис. 3.10) [34]. При цьому використовуються два основних типи годівниць:

- зовнішні годівниці — розташовані за межами клітки (рис. 5.5.);
- внутрішні круглі лотки — розміщені безпосередньо у клітці.

Розміри типової клітки для бройлерів:

- Довжина: 80 см
- Ширина (глибина): 60 см
- Висота: 50 см



Рис. 5.5. Триярусна клітка для бройлерів

Габаритні розміри кліткової батареї:

- Довжина: 1,2 м
- Глибина: 0,6 м
- Висота без підставки: 1,5 м
- Висота з підставкою: 2,0 м

Триярусна конструкція кліткової батареї дозволяє значно збільшити кількість поголів'я птиці в межах одного приміщення без зниження рівня комфорту та ефективності обслуговування.

Кожен ярус забезпечений окремою системою годівлі та освітлення, що дозволяє підтримувати оптимальні умови для утримання бройлерів [32].

Технічне завдання на LED-світильник

У цьому розділі сформульовано основні вимоги до проєктованого світлодіодного світильника серії ДСП, призначеного для використання у промислових пташниках із клітковим утриманням бройлерів.

Позначення «ДСП» розшифровується як:

Д — світлодіодний,

С — підвісний,

П — промисловий.

1. Призначення

Світильник призначений для освітлення багатоярусних кліткових батарей у пташниках, де утримується промислове стадо бройлерів. Його конструкція повинна забезпечувати рівномірне освітлення всіх ярусів при мінімальному енергоспоживанні та збереженні біологічного комфорту птиці.

2. Розміщення світильника

Для умов кліткового утримання передбачено два положення розміщення світильника, які реалізуються за допомогою спеціальної системи підвісу на основі лебідки:

- Робоче положення — світильники підвішені вертикально в проходах між клітками та повернуті до них (рис. 5.6.).

- Світлодіоди забезпечують рівномірне вертикальне освітлення всіх ярусів. Схема такого розміщення наведена на рис. 5.7.

- Сервісне положення — за допомогою лебідки та тросової системи світильники піднімаються у горизонтальне положення, звільняючи проходи для проведення обслуговування, при цьому ці ж світильники продовжують виконувати функцію загального освітлення приміщення [33].

3. Екологічність та безпека

Конструкція світильника має відповідати вимогам чинних будівельних (СНіП) та санітарних (СанПіН) норм щодо приміщень для утримання сільськогосподарських тварин і птиці. Обов'язковим є:

- відсутність ртуті та інших небезпечних для живих організмів речовин;
- відсутність шкідливого випромінювання;
- безпечна напруга живлення з урахуванням вологості середовища.

4. Захист

Світильник повинен мати герметичний пило- та вологозахисний корпус із ступенем захисту не нижче IP65.

Конструкція повинна:

- витримувати потрапляння прямих струменів води, у тому числі під час миття апаратом високого тиску;
- бути стійкою до впливу корозійних середовищ (аміак, волога, пил);
- допускати швидкий монтаж і демонтаж без потреби спеціального інструменту.



Рис. 5.6. Підвіска ліній освітлення

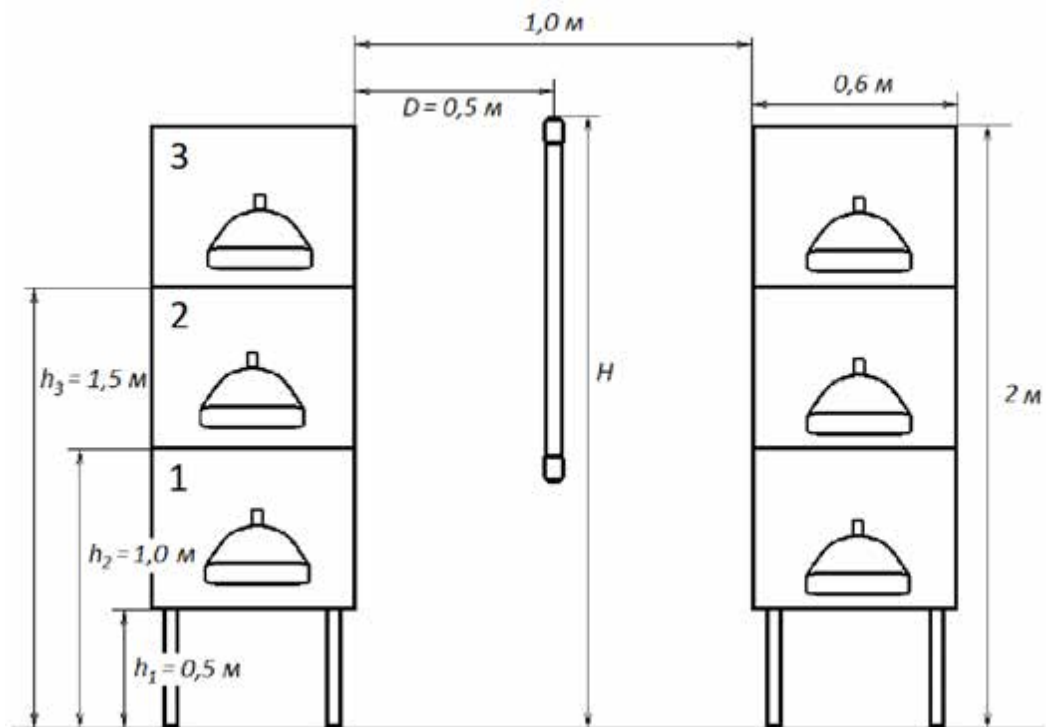


Рис. 5.7. Схема розміщення світильника у пташнику

4. Модифікації світильника

Передбачаються дві конструктивні модифікації світильника серії ДСП:

- одностороння конструкція – світлодіоди розміщуються в одному напрямку;
- двостороння конструкція – світлодіоди спрямовані в обидва боки;

Обидва варіанти виконуються у прозорому полікарбонатному корпусі-трубці, що забезпечує захист від пилу, вологи та механічних пошкоджень при збереженні достатньої світлопроникності.

5. Блок живлення

Блок живлення світильника має бути надійним, безпечним та відповідати вимогам до роботи в агресивному середовищі пташників. Його конструкція повинна включати такі основні модулі:

- випрямляч — для перетворення змінного струму в постійний;
- фільтр мережевих завад (ЕМС-фільтр) — для усунення високочастотних перешкод;
- фільтр вихідної напруги — для стабільності живлення світлодіодів;

- стабілізатор напруги — для підтримки заданого рівня напруги в умовах перепадів у мережі;
- захист від короткого замикання — автоматичне відключення у разі КЗ;
- захист від перевантаження — блокування живлення у разі перевищення допустимого струму.

Це забезпечить стабільну роботу світильника протягом усього строку служби навіть у складних умовах експлуатації [34].

6. Конструктивні елементи світильника

Проектований світлодіодний світильник серії ДСП повинен складатися з таких основних компонентів:

- Світлодіодна лінійка на платі — джерело світла, яке забезпечує високу ефективність і довговічність;
- Розсіювач — прозора полікарбонатна трубка, яка рівномірно розподіляє світловий потік;
- Джерело живлення (блок живлення) — розміщується в окремому герметичному відсіку;
- Корпус — захисна оболонка, яка утримує всі компоненти, забезпечує герметичність і термостійкість;
- Сальники на торцях — герметичні вводи для кабелів, що запобігають потраплянню вологи й пилу всередину.

5.4. Обґрунтування конструкції світильника

Як зазначалося вище, освітлення є одним із ключових факторів, що впливають на життєздатність і продуктивність бройлерів.

Найбільш сприятлива тривалість світлового дня — 13–14 годин на добу, що відповідає природному освітленню навесні.

Короткий день взимку (7–8 годин) негативно позначається на розвитку птиці: у темряві вона не споживає корм, отже, добове споживання зменшується, що гальмує інтенсивний приріст маси.

Особливістю освітлення при клітковому утриманні є необхідність забезпечення рівномірного світла всередині кожної клітки, зокрема в зоні годівниць [35].

Саме тому при проектуванні світлових систем розроблено відповідні рекомендації щодо режимів освітлення, особливо в осінньо-зимовий період, коли потрібне додаткове штучне освітлення для компенсації дефіциту природного світла.

Основна мета освітлення кліткових батарей:

- освітити кормові жолоби, що стимулює активне споживання корму;
- створити рівномірне освітлення кліток на всіх ярусах, уникаючи тіней і зон зниженого світлового потоку.

У клітковому пташнику світильники розміщують у проходах між батареями, на висоті 30 см від верхнього краю клітки, з інтервалом близько 4 метрів по довжині проходу.

Оптимальні рівні освітленості:

- 25–40 лк — при напільному утриманні;
- 40–50 лк — при клітковому утриманні бройлерів [39].

Технічні рекомендації при виборі світлодіодних світильників для птахівництва:

1. Перевагу слід надавати довгим світильникам, оскільки компактні корпуси з високою щільністю світлодіодів перегріваються;
2. Оптимально — застосовувати велику кількість малопотужних світлодіодів замість потужних кристалів ($>0,5$ Вт), які створюють надлишкове теплове навантаження;
3. Світильники з радіаторами непридатні для пташників — накопичення пилу та бруду на радіаторі спричиняє перегрівання кристалів;
4. Перегрів призводить до зниження світлової ефективності та строку служби;
5. "Холодні на дотик" світильники (з хорошим теплоотводом і помірною щільністю світлодіодів) служать набагато довше в умовах птахівництва.

Конструктивні засади проектування LED-світильника для пташника:

- Можливість об'єднання у лінію кількох світильників для формування суцільної системи освітлення з рівномірним світловим полем;
- Герметичний корпус із захистом від вологи та струменів води;
- Матеріали корпусу — ударостійкий пластик, що дозволяє уникати прокладання кабелів у захисних коробах та використання розподільчих щитів;
- Високий рівень електробезпеки і ступінь захисту не нижче IP65.

Технічна реалізація (рис. 5.8.):

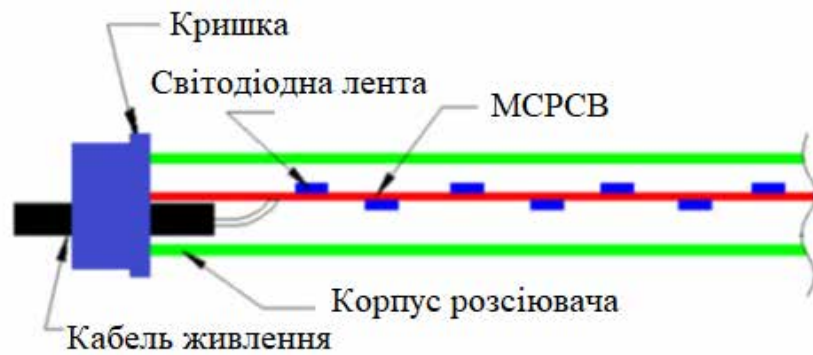


Рис. 5.8. Схема конструкції світильника

У проектованому світильнику світлодіоди монтуються на друковану плату МСРСВ (Metal Core Printed Circuit Board).

Це алюмінієва основа з діелектричним шаром, на яку встановлюються світлодіоди та супутні елементи [36]. Така конструкція забезпечує ефективне відведення тепла, компактність і надійність при експлуатації у вологих та запилених приміщеннях.

Вибір матеріалу корпусу світильника

При проходженні світлового потоку через розсіювач світильника втрати мають бути мінімальними та не перевищувати 10%, оскільки саме розсіювач відіграє ключову роль у збереженні інтенсивності освітлення всередині пташника.

Для забезпечення цієї вимоги як основний матеріал корпусу обрано оптично прозорий ударостійкий полікарбонат, виготовлений із високоякісної сировини Macrolon® німецької компанії BAYER [35]. Цей матеріал має такі переваги:

- високий коефіцієнт світлопропускання — до 90% при діаметрі трубки 30 мм і товщині стінки 1,5 мм;
- стійкість до ультрафіолетового випромінювання;
- стійкість до дії дезінфікуючих розчинів, що важливо для умов інтенсивного птахівництва.

Для порівняння: при використанні полікарбонату китайського виробництва або вторинної сировини, показники прозорості значно нижчі. До того ж вторинний полікарбонат має властивість жовтіти з часом, що ще більше знижує ефективність освітлення. Альтернативний варіант — акрилове скло (ПММА)

У надзвичайно агресивних умовах експлуатації може застосовуватись акрилове скло (поліметилметакрилат, ПММА), коефіцієнт світлопропускання якого сягає 92%. Втім, ПММА є крихким матеріалом, тому під час екструзії профілів до нього додають ударостійку присадку "high impact", яка підвищує міцність, але знижує прозорість на 2%. У підсумку, світлопропускання такого акрилового корпусу буде на рівні полікарбонатного.

Таблиця 5.2.

Порівняння матеріалів корпусу світильника

Матеріал	Світлопропускання, %	Механічна міцність	УФ-стійкість	Стійкість до мийки	Коментар
Macrolon® (полікарбонат)	~90	Висока	Висока	Висока	Рекомендований для пташників
ПММА "high impact"	~90	Середня	Висока	Середня	Для агресивних умов, але з обмеженнями
Вторинний полікарбонат	<85	Низька	Низька	Низька	Не рекомендується для довготривалого вжитку

Опаловий полікарбонат	30–70	Висока	Висока	Висока	Надто великі втрати світла
-----------------------	-------	--------	--------	--------	----------------------------

Захист з торців — сальник PG7

Для забезпечення герметичності та захисту від пилу і вологи, з торців світильник обладнується сальниками підвищеної герметичності PG7 (рис. 3.16), що забезпечує рівень захисту не нижче IP54–IP68.

Сальник призначений для вводу кабелю діаметром 5–6 мм, з метою:

- захисту від механічних ушкоджень провідника;
- запобігання проникненню вологи в місці вводу;
- збереження герметичності корпусу при митті.

Конструкція сальника PG7:

- Корпус, ущільнювальна гайка та фіксуюча гайка — з нейлону;
- Ущільнювач і прокладка — з неопрену;
- Температурний діапазон експлуатації: від -40 до $+80$ °С;
- Монтаж здійснюється за допомогою трубного (газового) ключа.

Світлодіодні джерела світла

Світлодіодне джерело світла являє собою напівпровідниковий тепловиділяючий елемент із нелінійними температурними характеристиками.

Його надійність та світлотехнічні показники безпосередньо залежать від температури світловипромінювальних кристалів, що входять до складу LED-модуля [37].

Дотримання оптимального теплового режиму роботи світлодіодів є критично важливим, оскільки впливає на два ключові параметри:

- світловий потік світильника;
- деградацію світлодіодів у часі (зниження яскравості та строку служби).

Вимоги при проектуванні LED-джерел світла:

1. Забезпечення необхідного рівня світлового потоку, відповідного до завдань освітлення (наприклад, 40–50 лк для кліткового утримання бройлерів);

2. Оптимізація вартості конструкції без зниження її ефективності;
3. Мінімізація масогабаритних характеристик світильника (розмірів і ваги), що важливо при монтажі у багатоярусних кліткових батареях.

Оскільки світловий потік, випромінюваний світлодіодом, прямо залежить від струму, що протікає через нього (рис. 3.17), конструктор повинен знайти баланс між яскравістю, тепловиділенням і надійністю.

Тепловий режим і вибір струму живлення

Конструкція теплоотводу (радіатора) повинна бути узгоджена з параметрами живлення світлодіодів, оскільки підвищення струму:

- збільшує світловий потік;
- одночасно підвищує температуру кристала, що може призвести до перегрівання та прискореної деградації.

Тому важливо забезпечити тепловідведення з оптимальними габаритами, не перевищуючи допустиме теплове навантаження на один світлодіод.

При проектуванні джерела світла необхідно враховувати максимальний струм, при якому тепловідвід ефективно охолоджує кристали до робочої температури.

Світлодіодні джерела світла із включенням опису рис. 3.17 і 3.18, а також поясненням деградації світлодіодів і її впливу на економіку проекту:

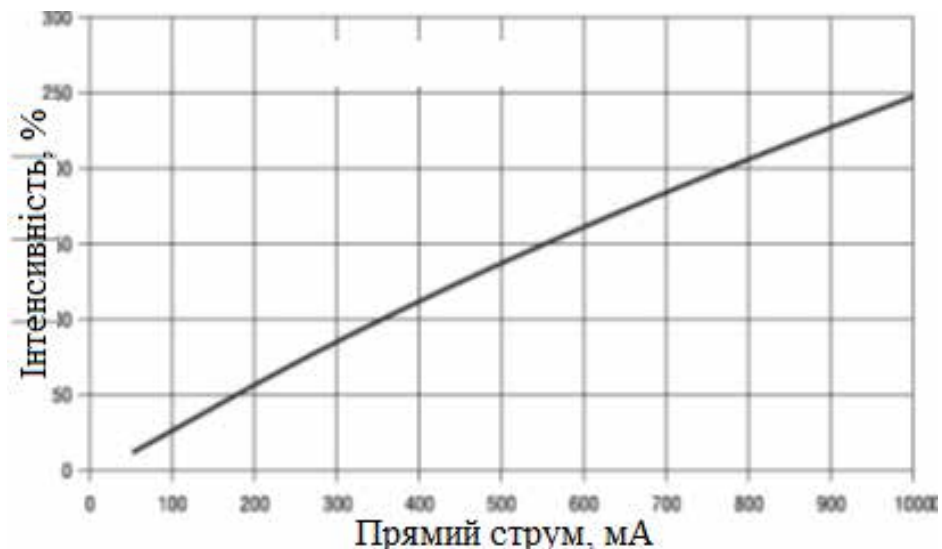


Рис. 5.9. Залежність інтенсивності світіння від величини прямого струму для світлодіодів

Кількість світлодіодів, необхідна для забезпечення заданого світлового потоку, нелінійно залежить від струму, що протікає через кожен елемент.

При зменшенні споживаного струму знижується інтенсивність світіння кожного окремого світлодіода, отже, для досягнення потрібної освітленості доводиться збільшувати кількість світлодіодів у модулі.

Це призводить до зростання собівартості світильника, ускладнення конструкції плати, збільшення габаритів та, відповідно, зниження загальної економічної ефективності проєкту.

Отже, при проєктуванні необхідно збалансувати:

- рівень робочого струму світлодіодів;
- допустиму кількість світлодіодів на модуль;
- ефективність тепловідведення, яка стримує перегрівання навіть за підвищених струмових навантажень.

Деградація світлодіодів

Під деградацією світлодіода розуміють незворотні зміни фізико-хімічних властивостей світловипромінювального кристала, а для білих світлодіодів — ще й люмінофора. Це призводить до поступового:

- зниження світлового потоку (аж до повної втрати яскравості);
- зсуву спектру світіння, зазвичай — у синю область.

Важливо: деградація є неминучим природним процесом для будь-якого світлодіода, але неправильна експлуатація — особливо перегрівання активної області кристала — в десятки разів прискорює цей процес.

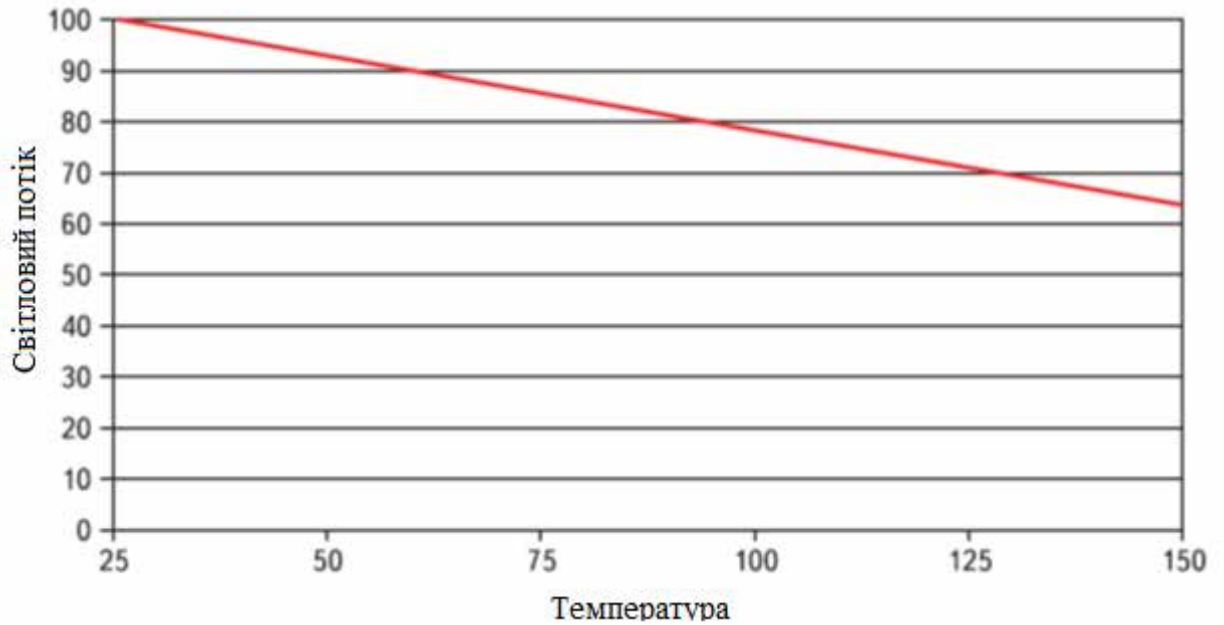


Рис. 5.10. Залежність зниження світлового потоку від підвищення температури активної області

При збільшенні температури активної області світлодіода на кожні 10 °C світловий потік знижується приблизно на 2,5%.

Це означає, що у разі неефективного тепловідведення світильник може втратити до 20–30% яскравості ще до завершення номінального строку служби.

Таким чином, дотримання теплового балансу, оптимального робочого струму та використання якісних теплоотводів є критично важливим для:

- збереження високого рівня освітлення;
- продовження строку експлуатації світильника;
- економічного обґрунтування його впровадження у тваринницьких приміщеннях.

Таким чином, зменшення світлового потоку у світлодіодних світильниках, як правило, не відбувається одразу, а поступово, після певного періоду експлуатації. Темпи цієї деградації напряму залежать від якості організації теплоотводу.

Один із найефективніших способів — використання алюмінієвого корпусу самого світильника як пасивного радіатора.

На підставі цього можна стверджувати, що відведення тепла від кристала світлодіода є одним із ключових технічних вимог при проєктуванні та виготовленні LED-світильників.

При правильно організованому тепловому режимі та дотриманні експлуатаційних норм, ресурс LED-джерел може сягати 50 000–100 000 годин при прогнозованому зниженні світлового потоку — величині, яку конструктори враховують ще на етапі проєктування [38].

Робоча температура підкладки та вплив на світловий потік

Як номінальну робочу температуру підкладки світлодіода у світильнику обрано $+55^{\circ}\text{C}$ — це реалістично досягне значення у пташниках із температурою повітря до $+45^{\circ}\text{C}$, особливо якщо світильники розміщені під стелею.

При цьому зниження світлового потоку може сягати 20–25% від початкового рівня, що є негативним фактором і враховується у техніко-економічному обґрунтуванні конструкції.

Вибір джерела світла для розроблюваного світильника з рахуванням усіх вищенаведених технічних вимог та експлуатаційних умов, як основний світлодіодний елемент обрано відкриту гнучку над'яскраву світлодіодну стрічку типу SMD 5050, класу IP67, на самоклеючій основі 3М, з білим підкладковим шаром (рис. 5.11.) [37].

Таблиця 5.3.

Технічні характеристики стрічки SMD 5050

Параметр	Значення
Колірна температура	4500–5000 К (нейтрально-білий спектр)
Світловий потік	960 лм/м
Кут розсіювання світла	120°
Ступінь захисту	IP67 (вологозахищена)

Строк служби	50 000 годин
Робоча температура	-40 °С ... +60 °С
Тип світлодіодів	SMD 5050 (розмір 5×5 мм)
Кількість світлодіодів	60 шт/м
Живлення	DC 24 В
Потужність споживання	14 Вт/м
Робочий струм	0,6 А

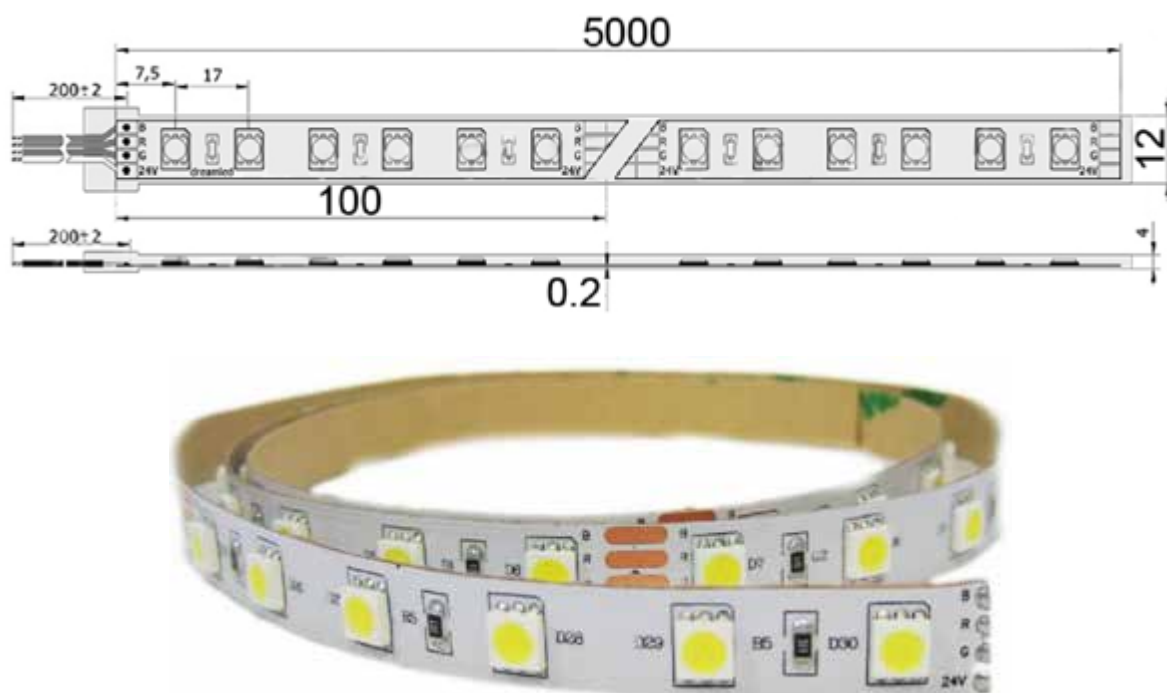


Рис. 5.11. Світлодіодна стрічка SMD 5050 на білій підкладці, ступінь захисту IP67

Переваги світлодіодної стрічки SMD:

- зручна система кріплення — самоклеюча основа 3М;
- низьке тепловиділення;
- компактні розміри, можливість нарізки з кроком 100 мм (6 світлодіодів);

- стабільна яскравість у всьому діапазоні робочих температур;
- тривалий ресурс роботи.

Світлодіодна стрічка SMD монтується на металеву друковану плату МСРСВ NEO-L-2x5ХРМХ (рис. 5.13.), яка складається з:

- металевої основи — аркуш алюмінієвого сплаву товщиною 1,5 мм;
- шару діелектрика з підвищеною теплопровідністю (вищою, ніж у стандартних матеріалів);
- мідної фольги — як провідного шару для монтажу світлодіодів.

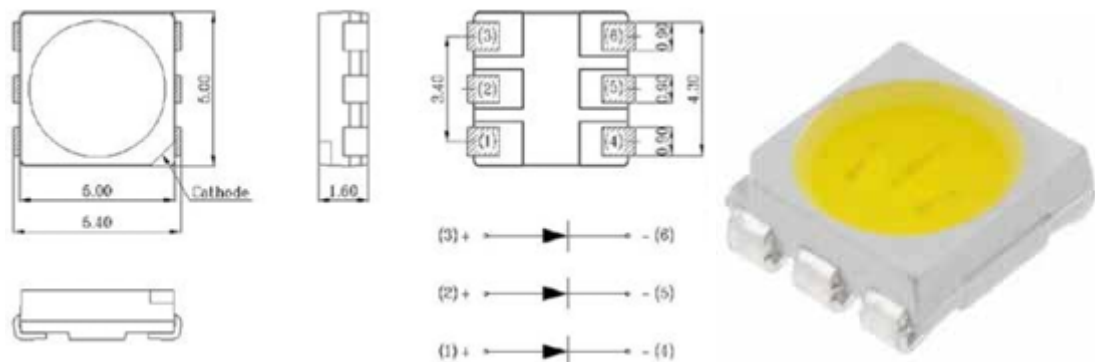


Рис. 5.12. Світлодіод 5050

Теплопровідність та тепловий опір МСРСВ-плат

Теплопровідність діелектричного шару МСРСВ-плати становить від 0,5 до 5 Вт/(м·К). Завдяки малій товщині шару (зазвичай у межах 50–200 мкм), такі плати мають низький тепловий опір, що є важливою перевагою при використанні у світлодіодних світильниках.

Типові значення теплового опору між світлодіодом і металевою основою плати складають від десятих до кількох одиниць Вт/К, що дозволяє ефективно відводити тепло від кристала до корпусу світильника, зменшуючи ризик перегріву та подовжуючи строк служби LED-елементів.

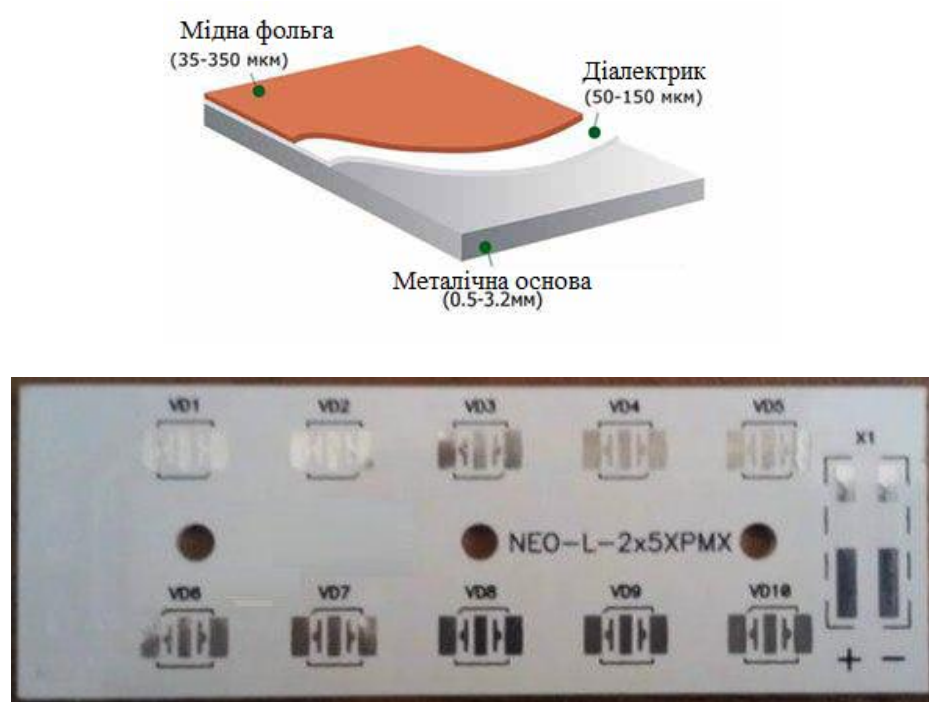
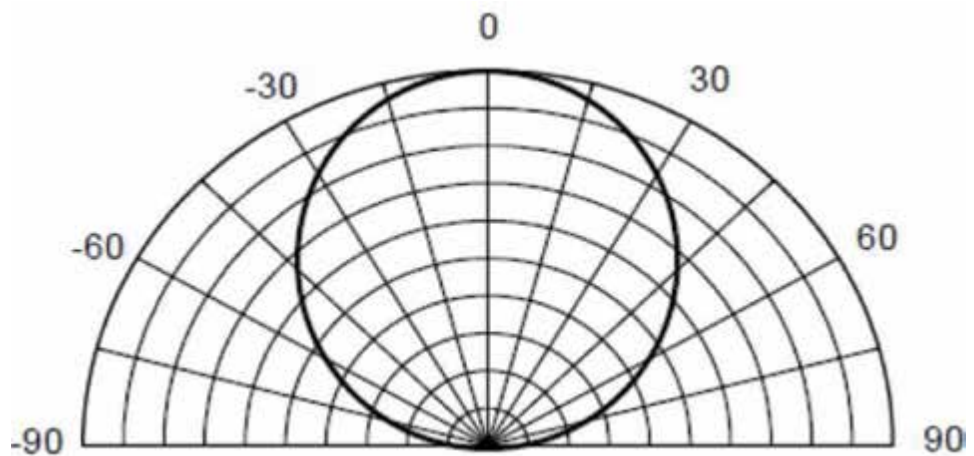


Рис. 5.13. Плата МСРСВ

Технологія виготовлення металізованих друкованих плат (МСРСВ), а також вимоги до мінімальних розмірів та допусків практично повністю ідентичні технології виготовлення звичайних друкованих плат. Для покращення фотометричних характеристик на поверхню плати може наноситися маска білого кольору з підвищеним коефіцієнтом відбиття, яка є термостійкою та стійкою до пожовтіння навіть у процесі паяння компонентів у тунельній печі.



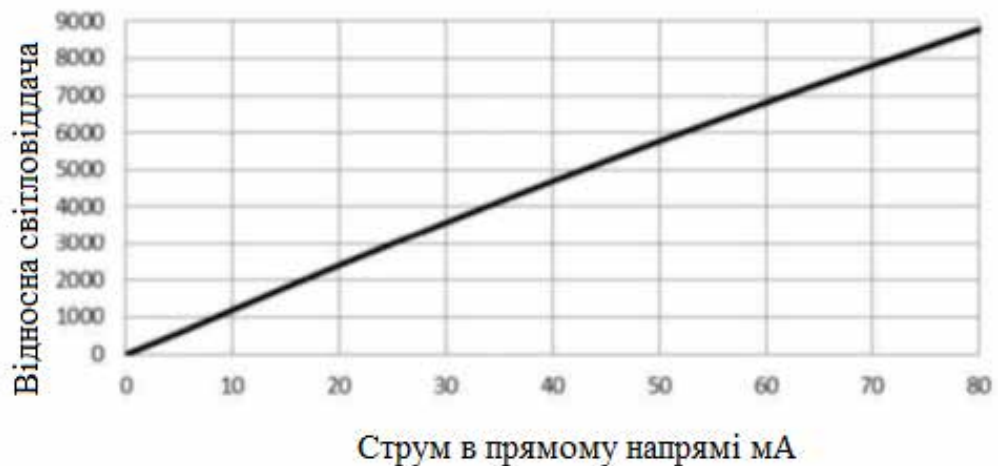


Рис 5.14. Типова полярна діаграма напрямленості випромінювання

5.5. Джерело живлення

Система, яка забезпечує світлодіодне освітлення у пташнику, — це не окремий світильник, а цілий комплекс обладнання, що включає:

- десятки або навіть сотні LED-світильників;
- пристрої керування режимами освітлення;
- джерела живлення;
- кілометри кабельної продукції;
- численні з'єднання та розгалуження.

Надійність такої системи залежить від найслабшого її елемента. Як показує практика, найвразливішим вузлом часто є джерело живлення, особливо якщо воно містить електrolітичні конденсатори, що чутливі до умов експлуатації.

Світлодіоди є низьковольтними споживачами енергії. Навіть при послідовному з'єднанні декількох елементів, напруга живлення рідко перевищує 24 В.

Отже, необхідно застосовувати перетворювачі змінної напруги 220 В у постійну, які у своїй конструкції містять конденсатори, що працюють в умовах високих пульсацій [39].

Тривалість служби таких компонентів сильно залежить від температури довкілля та величини пульсацій, які у свою чергу впливають на загальну стабільність джерела живлення.

Основні чинники, що впливають на надійність джерела живлення:

1. Якість організації теплоотводу:

Сучасні імпульсні блоки живлення мають ККД 80–90%, тобто 10–20% потужності виділяється у вигляді тепла. Якщо розмістити блоки у замкнутому просторі без належного охолодження, через 1–2 роки експлуатації можливі збої, навіть якщо самі світильники залишаються справними.

2. Надійність та якість самого блока живлення:

Недорогі рішення від невідомих виробників можуть мати низький ККД, підвищене тепловиділення та короткий строк служби — особливо у пташниках, де температура може сягати +40 °С.

3. Режим роботи блока живлення:

Для надійної роботи рекомендується мати запас потужності щонайменше 15–20%. У спекотному середовищі це особливо важливо для зниження температурного навантаження.

Світлодіоди не можна безпосередньо підключати до джерела живлення — для надійної роботи необхідно подавати стабілізований струм, який не перевищує номінальне значення, встановлене виробником.

Тому в конструкцію кожного світильника обов'язково входять струмообмежувальні елементи, які разом із підвідними проводами забезпечують до 10% втрат потужності.

Приклад застосування: блок живлення Mean Well MDR-20-24

В системі передбачається використання надійних джерел живлення фірми Mean Well — одного з провідних світових виробників. MDR-20-24 (рисунок 3.29) — це одно каналний модульний AC/DC перетворювач загального призначення, розрахований на постійну напругу 24 В.

Таблиця 5.4.

Основні технічні характеристики MDR-20-24 Mean Well [36]

Для перевірки відповідності технічним вимогам проєктованого світильника серії ДСП 108 було проведено експериментальне вимірювання та дослідження його ключових світлотехнічних та теплових характеристик, а саме:

- кривої сили світла (КСС);
- загального світлового потоку;
- температурного режиму роботи.

Ці параметри мають вирішальне значення для оцінки ефективності світильника в умовах кліткового утримання бройлерів, де необхідне рівномірне освітлення кормових зон та мінімальний перегрів компонентів [40].

Для проведення вимірювань використовувалися такі прилади (рис. 3.30–3.32):

- Тепловізор Testo 881 – для вимірювання температури корпусу та аналізу теплового розподілу по поверхні світильника (рисунок 3.30, а);
- Люксметр ТКА-ПКМ – для фіксації освітленості у горизонтальній площині на різних відстанях від джерела світла (рисунок 3.31, б);
- Гоніофотометр GO-2000А – для побудови кривої сили світла та вимірювання просторового розподілу світлового потоку (рисунок 3.32).

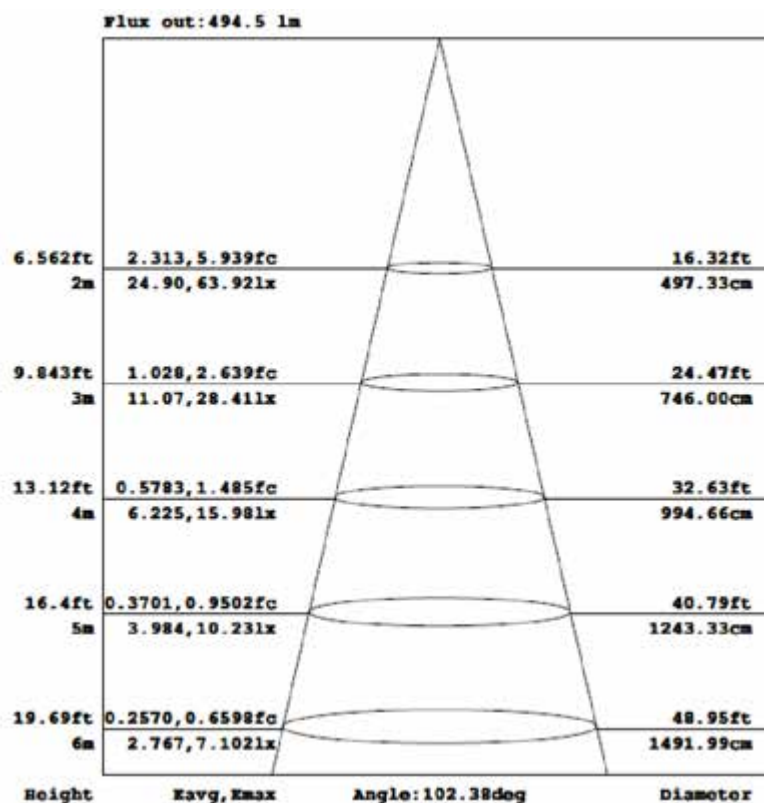


Рис. 5.15. Середні значення освітленості на різних відстанях від
СВІТИЛЬНИКА

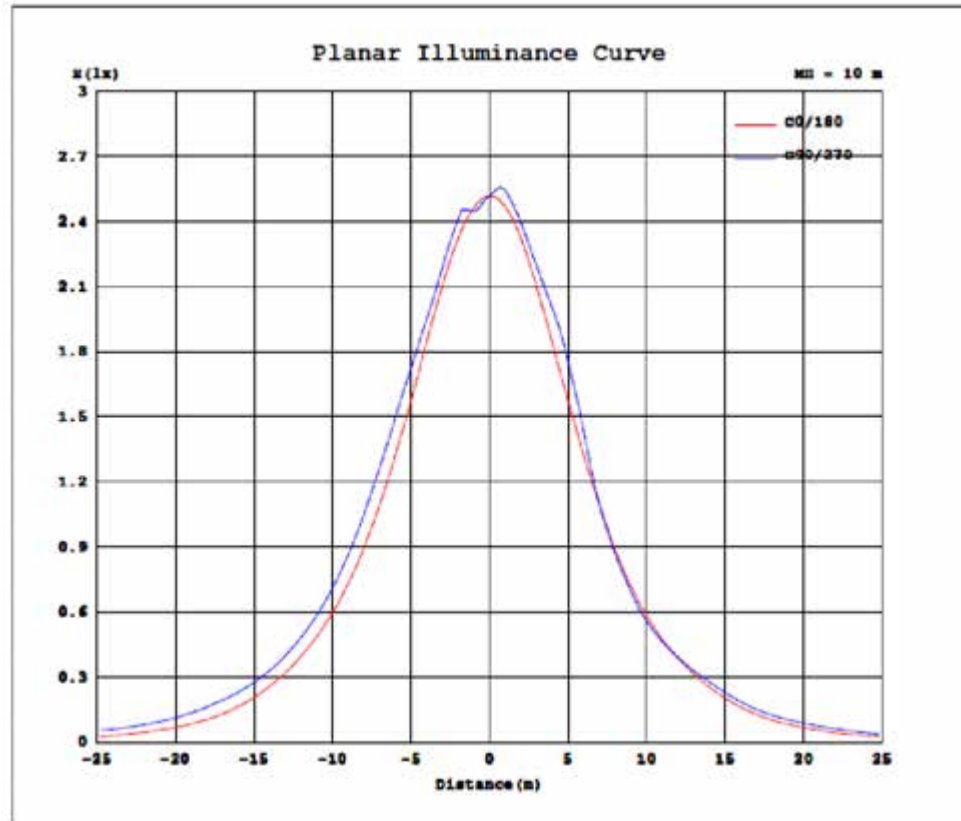


Рис. 5.16. Графіки залежності освітленості від відстані

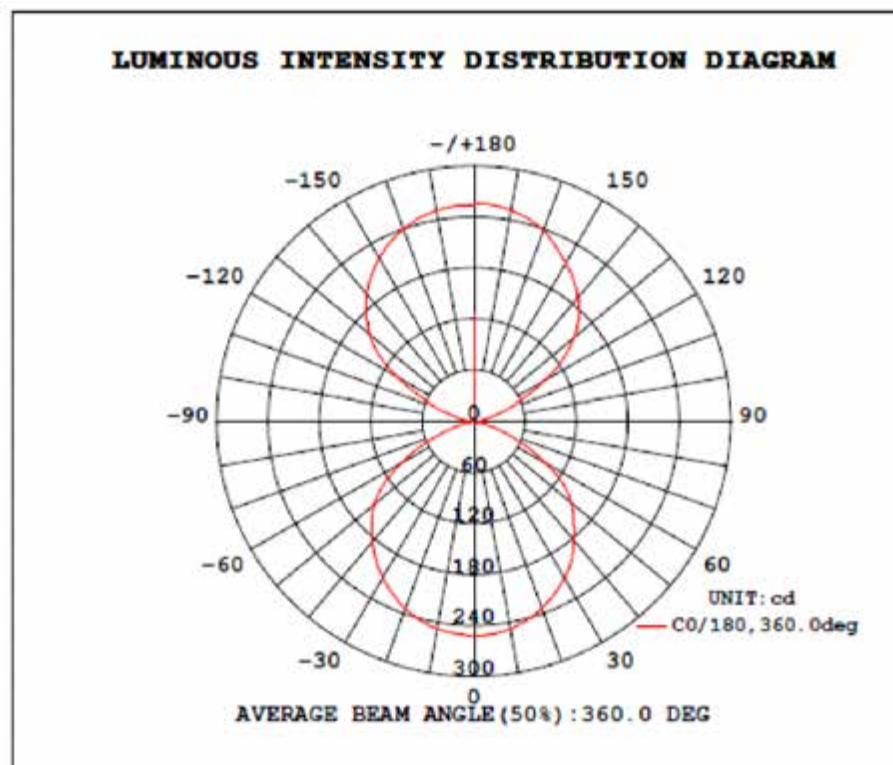


Рис. 5.17. Крива сили світла (КСС) у меридіональній площині

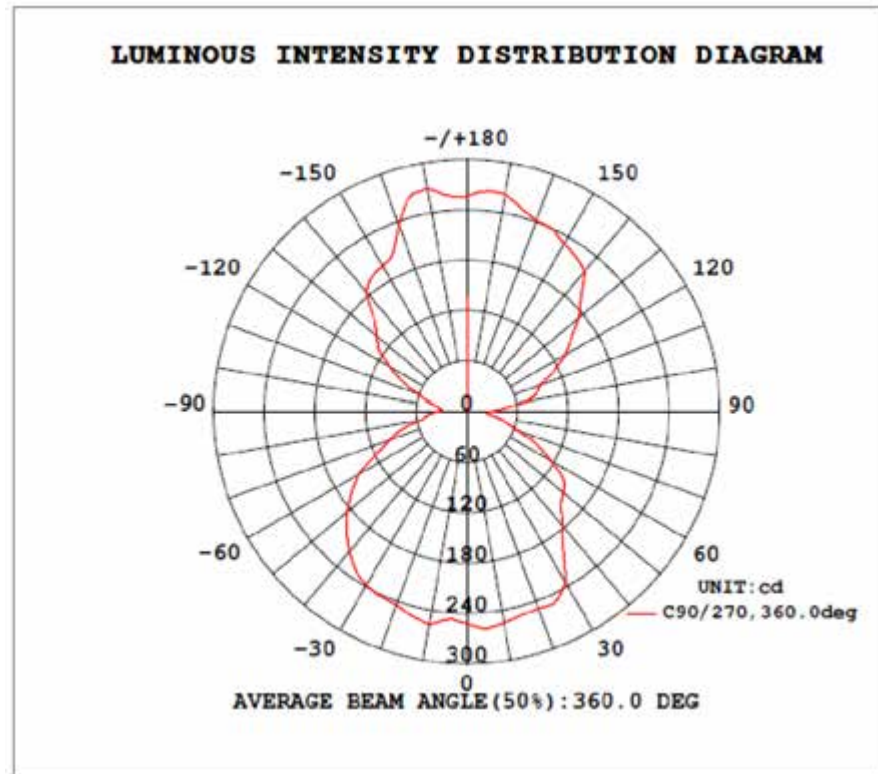


Рис. 5.18. Крива сили світла (КСС) в екваторіальній площині

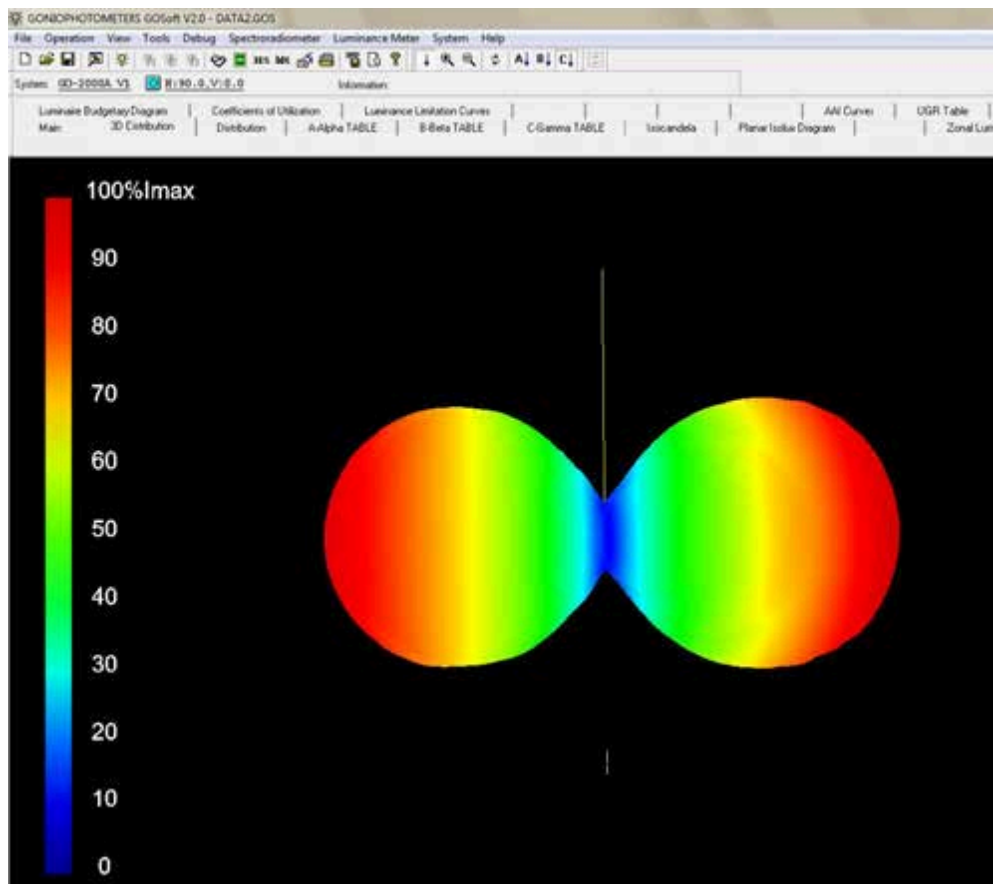


Рис. 5.19. Фотометричне тіло в меридіональній площині

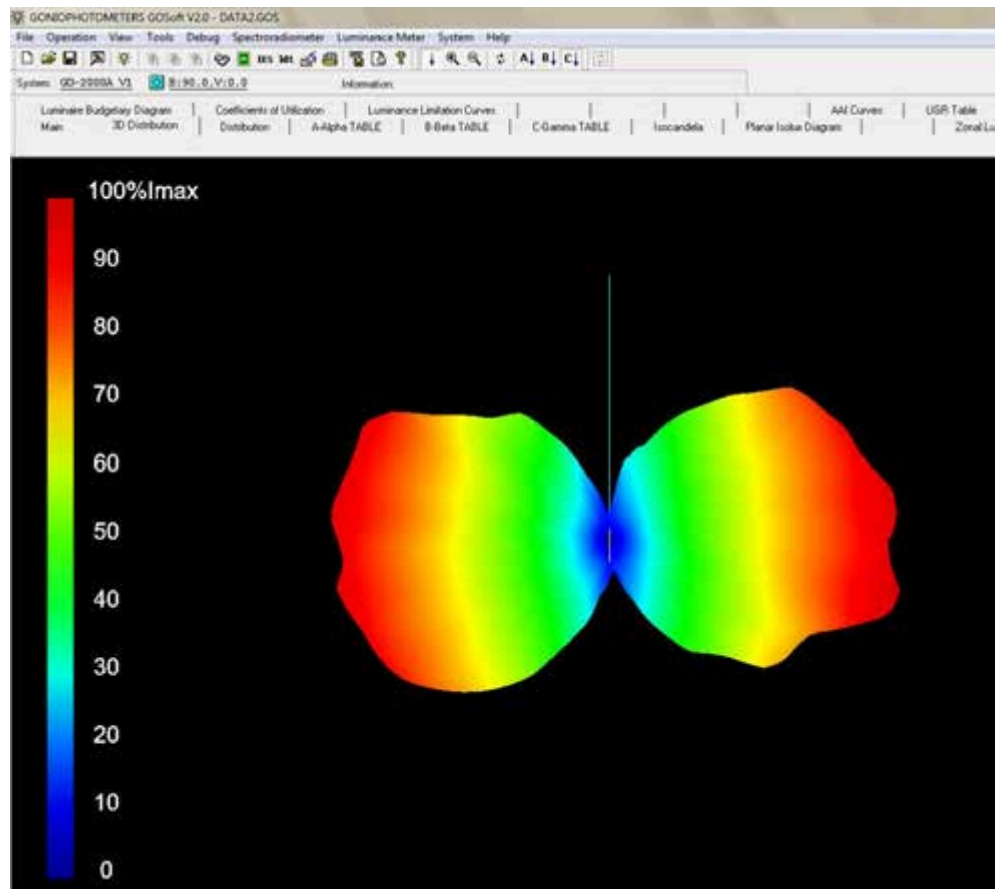


Рис. 5.20. Фотометричне тіло в екваторіальній площині

Електричні та світлотехнічні характеристики світильника:

- Світловий потік: 1557 лм
- Світлова віддача: 49 лм/Вт
- Споживана потужність: 32 Вт
- Максимальна сила світла: 270 кд

Висновки до розділу 5

У п'ятому розділі проведено розробку та дослідження конструкції світлодіодного світильника для кліткового утримання птиці. Обґрунтовано вибір технічних рішень, конструктивних матеріалів, систем керування та джерела живлення. Розраховано параметри світлового потоку,

енергоспоживання та теплового режиму. Результати підтверджують ефективність розробленого світильника для використання у птахівництві з точки зору як енергоощадності, так і підвищення продуктивності птиці.

ВИСНОВКИ

Наразі світлодіодне освітлення активно застосовується в сільському господарстві України, дозволяючи ефективно знижувати витрати на електроенергію, більш ефективно використовувати енергетичний ресурс підприємств та підвищувати за рахунок цього рентабельність виробництва, зокрема завдяки збільшеному терміну служби.

Результати дослідження підтвердили, що впровадження світлодіодних систем освітлення у птахівництві є ефективним рішенням з точки зору енергозбереження, економічної доцільності та покращення умов утримання птиці.

Світлодіодні лампи значно зменшують споживання електроенергії у порівнянні з традиційними джерелами світла, забезпечуючи при цьому оптимальний спектр освітлення, що позитивно впливає на ріст, розвиток і продуктивність птиці.

Завдяки можливості автоматизації системи освітлення, використання таймерів і датчиків дозволяє досягти ще більшої ефективності у споживанні енергії та створенні сприятливого мікроклімату.

Крім того, світлодіодне освітлення сприяє зменшенню рівня стресу у птиці, підвищенню її імунітету та зниженню агресивної поведінки.

Хоча початкові витрати на встановлення такої системи є вищими, їхня окупність забезпечується довговічністю ламп, мінімальними витратами на технічне обслуговування та значною економією електроенергії.

Важливим фактором є також екологічна безпека світлодіодних ламп, адже вони не містять шкідливих речовин і сприяють зниженню викидів CO₂.

Таким чином, використання світлодіодного освітлення у птахівництві є перспективним напрямком, що поєднує технологічні інновації, економічну вигоду та екологічну безпеку.

За результатами дослідження вибрали світильники з такими електричними та світлотехнічними характеристиками: світловий потік - 1557 лм., світлова віддача - 49 лм/Вт., споживана потужність - 32 Вт., максимальна сила світла - 270 кд.

Проведено технічні розрахунки світлового потоку, кількості світильників, потужності та споживання електроенергії.

Встановлено, що впровадження LED-системи знижує енергоспоживання у 2,2–2,5 рази порівняно з люмінесцентним освітленням, що дає щорічну економію понад 1800 грн на кожному секторі приміщення.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ДСТУ Б В.2.5-28:2006. Природне і штучне освітлення. Норми проектування.
2. Бондар, М.В. (2021). Системи освітлення птахофабрик: стан та перспективи. Техніка і технології АПК.
3. Гладков В. В. Енергозберігаючі технології в сільському господарстві. – Київ: Аграрна освіта, 2018.
4. Івашкевич В. Л. Сучасні системи освітлення для тваринництва і птахівництва. – Харків: Техносфера, 2020.
5. Литвиненко П. О., Кравченко І. В. Вплив світлодіодного освітлення на продуктивність птиці // Наукові записки аграрного університету. – 2021.
6. Світлодіодні технології в аграрному секторі: перспективи та досвід впровадження / За ред. М. П. Коваленка. – Львів: Політехніка, 2019.
7. ISO 8995-1:2002. Lighting of Work Places – Part 1: Indoor.
8. Європейська комісія. Директива 2009/125/ЄС щодо екодизайну енергоспоживчих продуктів.
9. Офіційний сайт Міністерства енергетики України <https://mev.gov.ua>.
10. Patton D., Smith J. The Role of LED Lighting in Sustainable Poultry Farming // Journal of Agricultural Engineering. – 2020. – Vol. 78. – P. 112-126.
11. Research Institute of Poultry Farming. Energy-efficient lighting systems in poultry production. – London: AgriTech Publishers, 2021.
12. Шеремет, А.М., Коваль, В.І. Енергозберігаючі технології в тваринництві. – Київ: Аграрна наука, 2018.
13. Коваленко, С.Г. LED-технології в аграрному секторі // Вісник аграрної науки. – 2020. – №9.
14. Смирнов, Ю.Г. Світлодіоди та їх застосування. – Київ: Ліра-К, 2021.

15. ISO 8995-1:2002. Lighting of indoor work places.
16. Якименко, І.І., Ганжа, В.П. Електрообладнання тваринницьких ферм. – Київ: Вища освіта, 2020.
17. Черненко, І.В. Енергоефективність в сільському господарстві. – Полтава: ПДАА, 2022.
18. Пархоменко, Д.О. Порівняльний аналіз споживання енергії при використанні різних типів освітлювачів // Електротехнічні системи і комплекси. – 2021. – №3.
19. Козак, О.В. Вплив параметрів освітлення на продуктивність птахів // Наукові праці Уманського НУС. – 2019. – Вип. 95.
20. ДБН В.2.5-28:2018. Природне і штучне освітлення. – Київ: Мінрегіон України, 2018.
21. Archer, G.S. Exposing broiler chickens to LED lighting during incubation: Effects on embryo development, stress, and fear // Poultry Science. – 2018.
22. Aviagen (2021). Lighting management for optimal performance of broilers. aviagen.com.
23. Костенко, О.В., Сидоренко, Л.В. (2020). Технології птахівництва. Київ: Агроосвіта.
24. Червінський, О.А. (2022). Енергоефективні технології в сільському господарстві. Харків: УкрНДІЕiМ.
25. Клосовський, В.І., Висоцька, К.П. (2019). Вплив спектру освітлення на фізіологічні процеси у птиці. Вісник аграрної науки
26. March, J., et al. (2020). LED lighting systems in intensive poultry farming: A review. Animals
27. Якименко, І.І., Ганжа, В.П. (2020). Електрообладнання тваринницьких ферм. Київ: Вища освіта.
28. Черненко, І.В. (2022). Енергоефективність в сільському господарстві. Полтава: ПДАА.
29. Шевченко, І.О. (2020). Світлотехніка в агропромисловому

комплексі. Львів: ЛНУВМ та БТ ім. С. З. Гжицького.

30. Дяченко, В.І. (2019). Особливості використання світлодіодних ламп у тваринництві. Науковий вісник ЛНАУ.
31. Іваненко, П.О. (2022). Вплив світлового середовища на життєдіяльність птиці. Вісник Сумського НАУ.
32. Зінченко, В.І., Марченко, Л.М. (2020). Оптимізація світлового режиму при клітковому утриманні курей. Технології і техніка тваринництва.
33. Литвин, Н.О. (2021). Удосконалення освітлювальних систем у фермерських господарствах. Вісник ХНАУ.
34. Поліщук, А.В. (2020). Світлодіодні технології в аграрному виробництві. Техніка АПК.
35. Чумак, В.А. (2022). Пожежна безпека освітлювального обладнання на птахофабриках. Безпека життєдіяльності.
36. Тимошенко, К.П. (2020). Нормування освітлення в тваринницьких приміщеннях. Державні будівельні норми України. Методичні рекомендації.
37. Яворський, І.В. (2021). Впровадження LED-систем у птахівництві: переваги та виклики. Інженерія сільськогосподарського виробництва.
38. Гордієнко, Л.С. (2019). Системи освітлення у птахівничих комплексах: досвід та новації. Агроінженерія.
39. Петренко, В.Б. (2022). Вплив освітлення на поведінку курей-несучок у кліткових батареях. Птахівництво.
40. Шаповал, Р.О. (2020). Економічна ефективність використання LED-ламп у птахівничих господарствах. Економіка АПК.