Электротехнологии и электрооборудование в АПК

№ 1(46) 2022

Теоретический и научно-практический журнал. Основан в 2005 году. Предыдущее название «Вестник ВИЭСХ»
Учредитель и издатель: Федеральное государственное бюджетное научное учреждение Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ (ФГБНУ ФНАЦ ВИМ)

Журнал входит в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук, входит в базу данных AGRIS и Российский индекс научного цитирования (РИНЦ)

Редакционная коллегия:

Д.А. Тихомиров, д.т.н., член-корр. РАН (главный редактор);
А.В. Виноградов, д.т.н., доцент (заместитель главного редактора);
А.Ю. Измайлов, д.т.н., проф., академик РАН;
Я.П. Лобачевский, д.т.н., проф., академик РАН;
А.С. Дорохов, д.т.н., член-корр. РАН;
Ю.Г. Иванов, д.т.н., проф.;
М.М. Благовещенская, д.т.н., проф.;
В.А. Марков, д.т.н., проф.;
М.Г. Тягунов, д.т.н., проф.;
А.Н. Васильев, д.т.н., проф.

Иностранные члены редколлегии:

И.И. Гируцкий, д.т.н., проф. (Беларусь);
В.В. Козирский, д.т.н., проф. (Украина);
А.Б. Оспанов, д.т.н., проф., член-корр. НАН РК (Республика Казахстан);
П.А. Утениязов, д.т.н., с.н.с. (Республика Узбекистан);
Пандиан Васант, д-р философии (Малайзия);
Гюнтер Шаубергер, д-р философии (Австрия).

Свидетельство о регистрации ПИ № ФС77-74528 от 14.12.2018 г.
Адрес редакции:
109428, Москва,
1-й Институтский проезд, 5.
Телефон: (499)174-88-11; (499)174-89-01
E-mail: vestnikviesh@gmail.com
Ответственный секретарь
Р.М. Нурбагандова
Редактор
Т.В. Бердникова
Компьютерный оригинал-макет
В.В. Бижаев

Выходит 4 раза в год
Подписано в печать 25.03.2022 г.
Формат 60×84/8. Объем 20,75 печ. л.
Тираж 100 экз. Печать цифровая.
Отпечатано в типографии
ФГБНУ ФНАЦ ВИМ
ISSN 2658-4859

Содержание номера

Электротехнологии и электрооборудование в сельском хозяйстве

Юдаев Л.Ю., Сидоров А.П., Гусаров В.А., Писарев Д.Ю.
Тенденции развития сельскохозяйственного электрифицированного мобильного транспорта 3

Кудряшов Г.С., Гультяев А.П.
Термовакуумная сушка зерна с использованием тепловых насосов 8

Бальков С.М., Нородовская Т.А.
Определение изменения системных освещенных условий для предприятий АПК 14

Захаренков В.Г., Ежов А.В.
Конструирование электромагнитной муфты трансформатора с средах MathCAD 19

Шабанов Е.А., Романова М.М.
Перспективы использования солнечных электростанций для электроснабжения сельскохозяйственных объектов 26

Гаевский С.Г., Белов С.И.
Определение линейного местоположения замыканий в электрических сетях 10 кВ сельскохозяйственного назначения 32

Технологии и средства механизации сельского хозяйства

Рогачев А.Н., Федоренко О.А., Шарапов Р.В., Мозгалев А.К., Сальченко А.В.
Конструктивные особенности узлов для запуска усилия резания лемехно-отвальных орудий 38

Иванов Г.А., Гаврилов И.И.
Экспериментальный способ повышения эксплуатационных свойств трактора 44

Хомяков В.И.
Основы теории вибросепарации 53

Автоматизация и управление технологическими процессами в АПК

Шарыпов С.К., Васильев В.В., Тлеубаев Ж.Б.
Исследование потребности мощности для бесприводной установки 60

Гусаров В.А., Писарев А.Ю., Сидоров А.П.
Анализ структурных схем систем электроснабжения средств транспорта 65

Федоренко Н.Г., Лобачев А.В.
Автоматизированные исследования средств орошения закрытого грунта 72

Пономарев И.Г., Бондарчук И.В., Нижник А.М., Владыкин И.Р., Тимаш И.В., Трофимов С.А.
Обеззараживание почвы и субстрата ИК-излучением с интенсивностью светодиодной электроустановки 79

Возобновляемая и нетрадиционная энергетика

Трунов С.С., Хомяков А.В., Рассомахин С.А., Кузьмичев А.В.
Гравитационный электрогенератор для сельского хозяйства 84

© ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, 2022

Electrical technology and equipment in the Agro-Industrial Complex

The editorial board of the journal:

Dmitriy A. Tikhomirov, Dr.Sc.(Eng.), Corresponding Member of RAS (Editor in Chief);
Aleksandr V. Vinogradov, Dr.Sc.(Eng.), (Deputy Editor);
Andrey Yu. Izmaylov, Dr.Sc.(Eng.), Prof., Member of RAS;
Yakov P. Lobachevskiy, Dr.Sc.(Eng.), Prof., Member of RAS;
Alexey S. Dorokhov, Dr.Sc.(Eng.), Corresponding Member of RAS;
Yuriy Gr. Ivanov, Dr.Sc.(Eng.), Prof.;
Margarita M. Blagoveshchenskaya, Dr.Sc.(Eng.), Prof.;
Vladimir A. Markov, Dr.Sc.(Eng.), Prof.;
Mikhail G. Tyagunov, Dr.Sc.(Eng.), Prof.;
Aleksey N. Vasiliev, Dr.Sc.(Eng.), Prof.

Иностранные члены редколлегии:

Ivan I. Girutsky, Dr.Sc.(Eng.), Prof. (Belarus);
Vladimir V. Kozyrsky, Dr.Sc.(Eng.), Prof. (Ukraine);
Asan B. Ospanov, Dr.Sc.(Eng.), Prof., Corresponding Member of NAS RK (Republic of Kazakhstan);
Pandian Vasant, Dr. Philosophy (Malaysia);
Gunther Schauberger, Dr. Philosophy (Austria).

EDITORIAL OFFICE'S ADDRESS

109428, Moscow,
1st Institutskiy proezd, 5
Tel.: +7 (499) 174-88-11
+7 (499) 174-89-01
http://www.vimsmit.com
E-mail: vestnikvieshl@gmail.com

EXECUTIVE EDITORS:

Nurbagandova R.M.
Berdnikova T.V.,
Bizhaev V.V.,
Translation into English –
Konstantin Morenko

Published 4 times per annum

Signed to the press 25.03.2022.
The format is 60×84/8.
Volume 20.75 printed sheet.
The circulation is 100 copies
Printed by FSAC VIM
Russian Academy of Science

ISSN 2658-4859

Contents

Electrical engineering and electrical equipment in agriculture

Tygenev L.Yu., Sporov A.P., Gusarov V.A., Pisarev D.Yu.
Trends in the development of agricultural electrified mobile equipment 3

Lutsenko G.S., Izvekov A.S.
Normalization of the voltage unsymmetrality in distribution networks 9

Bakova S.M., Shevelenkova T.A.
The effectiveness of the LED lighting installations at livestock enterprises 14

Zakhokhotov V.G., Belov A.V.
Simulation of transformer differential protection in the MatLab environment 19

Shabanov E.A., Romanenko M.M.
Digital system of dynamic local lighting for poultry cages 26

Serebrov S.D., Belov S.I.
The optimal location of reclosers in 10 kV agricultural electrical grids 31

Agricultural technologies and means of mechanization

Ryabchun A.I., Fedorova O.A., Sharipov R.V., Monakhov A.V., Senchenko A.V.
Design features of devices for assessing the cutting force of root crops during crushing 38

Ivolev G.A., Goldina I.I.
Ballasting as the way of improving the operational properties of the tractor 44

Zenkov V.I.
New indicators of soil ferrosity 55

Automation and control of technological processes in agriculture

Shevyazov S.K., Vasenev V.V., Tikhobaev Zh.B.
The required capacity of the biogas plant 60

Gusarov V.A., Pisarev D.Yu., Sporov A.P.
Characteristics of diesel and gas turbine power plants for vehicles 65

Filippenko N.G., Levshin A.V.
The automated research of the impregnation process of elastomerics 72

Pospelova I.Ju., Yevstafyeva I.V., Mironov A.M., Vindrain I.R., Titov I.V., Danilov S.A.
Disinfection of soil and substrate by infrared radiation with an autonomous power supply system 79

Renewable and alternative energy

Tyunov S.S., Khomenko A.V., Ravilevskaya S.A., Kuznetsov A.V.
Solar thermal electric generator for agricultural use 84

Полные тексты статей размещаются на сайте электронной научной библиотеки: elibrary.ru.
Перепечатка материалов, опубликованных в журнале, допускается только с разрешения редакции.

© ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, 2022.

УДК 628.92/.97:636.083.312.5:636.52/.58 DOI 10.22314/2658-4859-2022-69-1-26-30

Цифровая система динамического локального освещения клеток для содержания сельскохозяйственной птицы

Евгений Адимович Шабаев,
кандидат технических наук, доцент, e-mail: sea007@rambler.ru;
Михаил Михайлович Романовец,
ассистент

Азово-Черноморский инженерный институт – филиал Донского государственного аграрного университета в г. Зернограде, г. Зерноград, Российская Федерация

Реферат. *Один из основных недостатков общей системы освещения в птичниках с клеточным содержанием птицы – неравномерность освещения по ярусам клеточной батареи. Для повышения равномерности освещения и увеличения продуктивности птицы перспективно применение систем динамического локального освещения. (Цель исследования) Разработать светодиодную динамическую систему локального освещения клеток для содержания сельскохозяйственной птицы, направленную на увеличение энергетической эффективности освещения и повышение продуктивности птицы посредством изменения коррелированной цветовой температуры излучения светодиодных светильников в течение светового периода. (Материалы и методы) Использовали элементы математической статистики, теории планирования экспериментальных исследований, корреляционно-регрессионного и дисперсионного анализа. Измерения освещенности и цветовой температуры проводили спектроколориметром «ТКА-ИЦТ». (Результаты и обсуждение) Обосновали параметры компактного светодиодного светильника с изменяемой коррелированной цветовой температурой оптического излучения от 2700 до 5700 Кельвина. Предложили способ содержания сельскохозяйственной птицы при динамическом освещении с изменяемой цветовой температурой оптического излучения светильников. Составили математические модели изменения освещенности и цветовой температуры солнечного света, которые можно использовать для реализации динамических систем искусственного освещения. Разработали основные элементы системы динамического локального освещения с изменяемой коррелированной цветовой температурой излучения светильников. (Выводы) Определили, что компактный светодиодный светильник обеспечивает высокую равномерность освещенности на поверхности кормушки, поилки. Показали, что за счет положительного влияния изменения (в соответствии с динамикой солнечного света) освещенности и коррелированной цветовой температуры светодиодных светильников на циркадные ритмы птицы следует ожидать повышения продуктивности на 8-14 процентов. Установили, что используемые технические решения позволяют повысить КПД системы питания светодиодных светильников на 16,4 процентов, снизить энергопотребление на 26,5 процентов и капитальные вложения на 22-41 процент по сравнению со светодиодной системой локального освещения с питанием светильников низким напряжением до 48 вольт.*

Ключевые слова: *птицеводство, системы освещения, динамическое освещение, локальное освещение, цветовая температура, светодиод, светильник, светодиодный драйвер.*

Для цитирования: Шабаев Е.А., Романовец М.М. Цифровая система динамического локального освещения клеток для содержания сельскохозяйственной птицы // *Электротехнологии и электрооборудование в АПК.* 2022. Т.69. N1(46). С. 26-30. DOI 10.22314/2658-4859-2022-69-1-26-30.

Digital System of Dynamic Local Lighting for Poultry Cages

Evgeniy A. Shabaev,
Ph.D.(Eng.), associate professor, e-mail: sea007@rambler.ru;
Mikhail M. Romanovets,
assistant

Azov-Black Sea Engineering Institute – branch of the Don State Agrarian University in Zernograd, Zernograd, Russian Federation

Abstract. *One of the main disadvantages of the general lighting system in poultry houses with cages is the uneven lighting along the tiers of the cages. To increase the evenness of lighting and increase the productivity of poultry, the use of dynamic local lighting systems is promising. (Research purpose) The research purpose is developing a LED dynamic system of local lighting of cages for keeping poultry, aimed at increasing the energy efficiency of lighting and increasing the productivity of poultry by changing the correlated color temperature of the radiation of LED lamps during the light period. (Materials and methods) During the study, there were used elements of mathematical statistics, theory of experimental research planning, correlation-regression and variance analysis. Measurements of illumination and CT were made with a spectrocolorimeter «TKA-ICT». (Results and discussion) The article presents the compact LED lamp with a variable correlated color temperature of optical radiation from 2700 to 5700 Kelvin and the method of keeping poultry in dynamic lighting with variable color temperature of lamps. The mathematical models of changes in the illumination and color temperature of sunlight can be used to implement dynamic artificial lighting systems. The main elements of a dynamic local lighting system with a variable correlated color temperature are described. (Conclusions) The compact LED lamp provides high illumination uniformity on the surface of the feeder and drinker. Due to the positive effect of changes (in accordance with the dynamics of sunlight) in the illumination and correlated color temperature of LED lamps on the circadian rhythms of birds, an increase in productivity by 8-14 percent should be expected. The technical solutions can increase the efficiency of the power supply system for LED lamps by 16.4 percent, reduce energy consumption by 26.5 percent and capital investments by 22-41 percent compared to the LED local lighting system with low voltage lamps up to 48 volts.*

Keywords: *poultry farming, lighting system, dynamic lighting, local lighting, color temperature, LED, luminaire, LED driver.*

For citation: Shabaev E.A., Romanovets M.M. Tsifrovaya sistema dinamicheskogo lokal'nogo osveshcheniya kletok dlya soderzhan ya sel'skokhozyaystvennoy ptitsy [Digital system of dynamic local lighting for poultry cages]. *Elektrotekhnologii i elektrooborudovanie v APK.* 2022. Vol. 69. N1(46). 26-30. (In Russian). DOI 10.22314/2658-4859-2022-69-1-26-30.

Один из основных недостатков общей системы освещения в птичниках с клеточным содержанием птицы – неравномерность освещения по ярусам клеточной батареи [1-3]. За счет расположения светильников над технологическими проходами между клеточными батареями освещенность нижнего и верхнего ярусов может отличаться в 2-6 раз. Это негативно сказывается на электропотреблении системы освещения и продуктивности птицы.

Перспективным способом решения данной проблемы служит применение систем локального светодиодного освещения, в которых высокая равномерность освещения по ярусам обеспечивается путем размещения светильников малой мощности над кормушками, поилками клеток [1, 2, 4, 5].

Современные свободно программируемые устройства и светодиодные драйверы позволяют реализовывать любые программы управления освещением с заданной продолжительностью включения и отключения светильников, осуществлением функций плавного рассвета и заката, точным поддержанием требуемой освещенности, а также с изменением цветовой температуры (ЦТ) оптического излучения светодиодных светильников, что существенно сказывается на продуктивности птицы. Особое внимание следует уделять влиянию на птицу спектрального состава, цветности, ЦТ оптического излучения светильников [6-9].

Цель исследования – разработать светодиодную динамическую систему локального освещения клеток для содержания сельскохозяйственной птицы, направленную на увеличение энергетической эффективности освещения и повышение продуктивности птицы посредством изменения коррелированной цветовой температуры (КЦТ) излучения светодиодных светильников в течение светового периода.

Материалы и методы. Использовали элементы математической статистики, теории планирования экспериментальных исследований, корреляционно-регрессионного и дисперсионного анализа. Измерения освещенности и ЦТ произвели спектроколориметром «ТКА-ИЦТ».

Результаты и обсуждение. Обосновали параметры компактного светодиодного светильника (*рис. 1*) системы локального освещения клеток для содержания сельскохозяйственной птицы. На печатной плате, расположенной внутри светильника, припаяли два светодиода теплого и холодного свечения. За счет регулирования соотношения токов через данные светодиоды достигается изменение КЦТ оптического излучения светильника.

В качестве основного конструктивного элемента светильника целесообразно использовать поликарбонатную трубу-рассеиватель с коэффициентом светопропускания $\tau = 0{,}70\text{-}0{,}75$ для снижения слепящего эффекта на птицу [1]. При применении тру-

бы-рассеивателя диаметром 25 мм для обеспечения высокой равномерности распределения освещенности на контрольной поверхности активная длина светильника должна составлять около 90 мм [1].

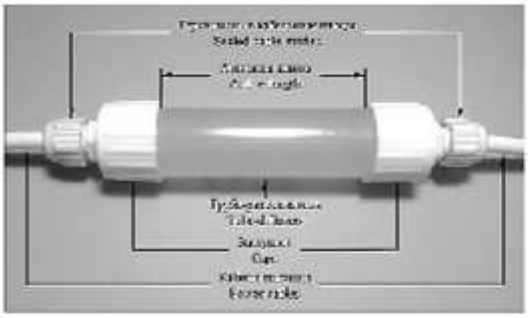


Рис. 1. Компактный светодиодный светильник с изменяемой коррелированной цветовой температурой оптического излучения [1]
Fig. 1. Compact LED luminaire with variable correlated color temperature [1]

Определили оптимальное расстояние между светильниками в ряду в зависимости от высоты подвеса и требуемой равномерности освещения с учетом кривой силы света светильника в нижнюю полусферу (*рис. 2*). Для клетки длиной 0,6 м при высоте подвеса светильников 0,5 м коэффициент предельной неравномерности распределения освещенности составляет 1,2 [1].

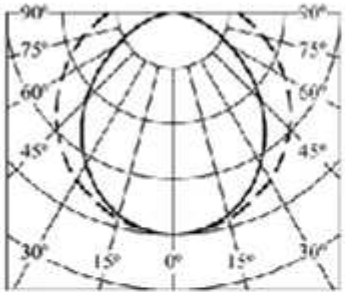


Рис. 2. Кривая силы света компактного светодиодного светильника в нижнюю полусферу
Fig. 2. Lower half-sphere light intensity curve of a compact LED luminaire

С целью повышения эффективности искусственного освещения разработан способ содержания сельскохозяйственной птицы при светодиодном динамическом освещении – патент *RU 2728358 C1*, отличающийся тем, что в течение светового периода осуществляется плавное изменение ЦТ оптического излучения от 2000-2800 К (что соответствует ЦТ солнечного излучения при рассвете или закате) до 5500-6500 К (что соответствует ЦТ полуденного солнечного излучения). Способ применим и при использовании прерывистых режимов освещения.

Для реализации указанного способа экспериментальным методом исследовали динамику освещенности и ЦТ излучения естественного солнечного света в течение дня [10]. Измерения производили спектроколориметром «ГКА-ИЦТ» в следящем режиме по направлению Солнца. На основе опытных данных получили модели (1) и (2), которые могут быть использованы в качестве законов управления в системах искусственного динамического освещения с изменяемым световым потоком и ЦТ оптического излучения. Графические интерпретации этих моделей за период времени от рассвета до полудня представлены на *рисунке 3*.

Модель изменения освещенности естественного света:

$$E = \frac{1}{c} ln\left[\frac{h}{h_m - h_0}(e^c - 1) - 1\right], \quad (1)$$

где E – освещенность, о. е.;
c – коэффициент модели, $c = 2{,}1507$;
h – высота Солнца в момент времени t;
h_m – максимальная высота Солнца [10];
h_0 – постоянная составляющая [10].

Модель изменения ЦТ излучения естественного света:

$$T_{цп} = aE + b, \quad (2)$$

где a, b – коэффициенты модели, $a = 3027{,}1$; $b = 2545{,}8$.

Полученные модели (1) и (2) обладают высокой точностью: по освещенности $R^2 = 0{,}9926$; по цветовой температуре $R^2 = 0{,}9972$.

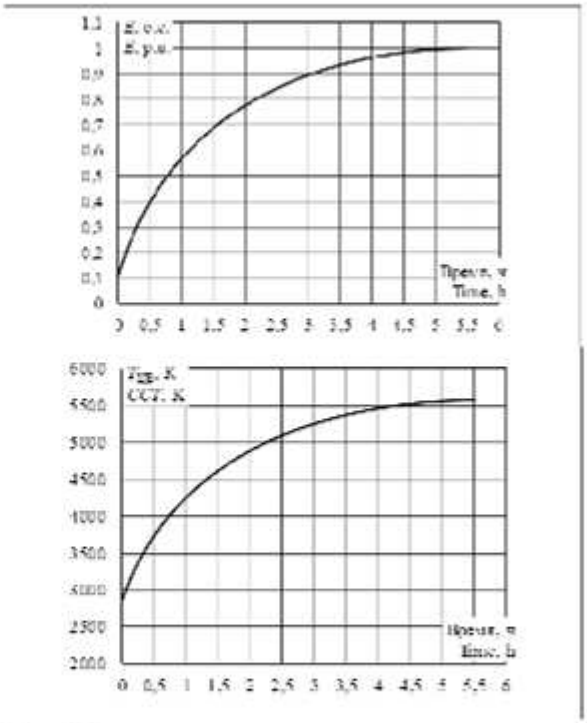


Рис. 3. Изменение освещенности на контрольной поверхности E и ЦТ солнечного света $T_{цв}$ во времени от рассвета до полудня
Fig. 3. Change of illumination on the reference surface E and color temperature of sunlight $T_{цв}$ from dawn to noon

При реализации различных программ освещения масштабирование по времени в зависимости от продолжительности светового периода осуществляется за счет пересчета *h* высоты Солнца [10].

Предложили структуру системы динамического локального освещения клеток для содержания сельскохозяйственной птицы с плавно изменяемой КЦТ оптического излучения в течение светового периода (*рис. 4*). Система состоит из программируемого логического контроллера (ПЛК), блоков питания, светодиодных драйверов с платами управления, датчиков освещенности.

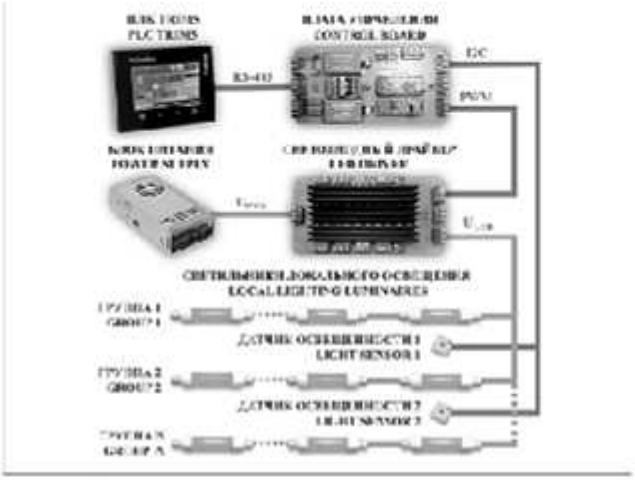


Рис. 4. Структура цифровой системы динамического локального освещения одной клеточной батареи
Fig. 4. The structure of the digital system of dynamic local lighting for a one cage

Центральный модуль на основе ПЛК *Segnetics Trim5* поддерживает связь по сети *RS485* со всеми модулями управления светильниками. Модуль управления светильниками устанавливается индивидуально для каждой клеточной батареи и включает в себя блок питания с регулируемым напряжением постоянного тока до 315 В, плату управления с микроконтроллером и высоковольтный многоканальный светодиодный драйвер.

Разработанный светодиодный драйвер позволяет с высокой точностью стабилизировать ток через светодиоды светильников при погрешности менее 0,5%. При корректной настройке модуля управления светильниками рабочий КПД высоковольтного светодиодного драйвера составляет 96-98%. Использование напряжения питания около 300 В для светильников дает возможность уменьшить сечение жил кабеля, соединяющего светильники и светодиодный драйвер, и снизить потери электроэнергии в линиях питания светильников.

На *рисунке 4* представлен светодиодный драйвер для четырехъярусной клеточной батареи на 800 клеток, рассчитанный на восемь групп, каждая из которых состоит из 100 последовательно соединенных светильников.

Световой поток и КЦТ излучения светодиодных светильников изменяются с помощью ШИМ токов с частотой 2 кГц и разрядностью 10 бит. Изменение КЦТ излучения светодиодных светильников осуществляется в широких пределах, от 2700 до 5700 К. На микроконтроллере платы управления и датчиках освещенности реализована система автоматического регулирования освещенности, позволяющая точно поддерживать заданный уровень освещенности в реальных условиях эксплуатации.

Выводы. Обосновали параметры компактного светодиодного светильника с изменяемой ЦТ оптического излучения от 2700 до 5700 К, используемого при индивидуальном освещении клеток для содержания сельскохозяйственной птицы, обеспечивающего высокую равномерность освещенности на поверхности кормушки, поилки. Предложили способ содержания сельскохозяйственной птицы при динамическом освещении с изменяемой ЦТ оптического излучения светодиодных светильников. Составили математические модели изменения освещенности и ЦТ солнечного света, которые можно применять для реализации динамических систем искусственного освещения. За счет положительного влияния изменения (в соответствии с динамикой солнечного света) освещенности и КЦТ светодиодных светильников на циркадные ритмы птицы следует ожидать повышения ее продуктивности на 8-14%.

Разработали основные элементы системы динамического локального освещения с изменяемой КЦТ излучения светодиодных светильников. Используемые технические решения позволяют повысить КПД системы питания светодиодных светильников на 16,4%, снизить энергопотребление на 26,5% и капитальные вложения на 22-41% по сравнению со светодиодной системой локального освещения с питанием светильников низким напряжением до 48 В.

Работа выполнена при поддержке Фонда содействия инновациям (Договор № 16230ГУ/2021).

Библиографический список

1. Шабаев Е.А., Романовец М.М., Сагунов С.А. Обоснование конструкции компактного светодиодного светильника системы локального освещения клеток для содержания птицы // *АгроЭкоИнфо*. 2019. N4(38). С. 33.
2. Кавтарашвили А.Ш., Гладин Д.В. Сравнительная эффективность различных систем освещения в птицеводстве // *Птицеводство*. 2016. N4. С. 37-50.
3. Кочетков Н.П., Новоселов И.М. Исследование эффективности освещения птичника // *Техника в сельском хозяйстве*. 2011. N5. С. 27-28.
4. Фисинин В.И., Кавтарашвили А.Ш., Новоторов Е.П. и др. Локальное светодиодное освещение – путь по-

выращивания эффективности птицеводства // *Достижения науки и техники АПК*. 2011. №6. С. 61-62.
5. Юдаев И.В., Шабаев Е.А., Романовец М.М. Исследование светодиодного светильника для систем локального освещения в области АПК // *Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование*. 2020. N3(59). С. 376-387.
6. Кавтарашвили А.Ш., Новоторов Е.П., Гусев В.А. и др. Продуктивность кур при светодиодном освещении с изменяемой цветовой температурой // *Птицеводство*. 2017. N3. С. 27-29.
7. Газалов В.С., Шабаев Е.А., Романовец М.М. Динамические системы освещения в помещениях для сельскохозяйственных животных // *Вестник аграрной науки Дона*. 2018. N2(42). С. 80-86.
8. Дубровский А.А., Смирнова В.В. Использование светодиодного освещения с различной цветовой температурой при выращивании родительского стада птицы // *Вестник Мичуринского государственного аграрного университета*. 2020. N4(63). С. 188-195.
9. Sultana S., Hassan M.R., Choe H.S., et al. The effect of monochromatic and mixed LED light colour on the behaviour and fear responses of broiler chicken. *Avian Biology Research*. 2013. Vol. 3. Iss. 6. 207-214.
10. Shabaev E.A., Romanovets M.M. Mathematical models of sunlight for dynamic lighting systems of agricultural objects. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021. Vol. 659. Iss. 1. 012110.

References

1. Shabaev E.A., Romanovets M.M., Sagunov S.A. Obosnovanie konstruktsii kompaktnogo svetodiodnogo svetil'nika sistemy lokal'nogo osveshcheniya kletok dlya soderzhaniya ptitsy [Substantiation of the design of a compact LED lamp for a local lighting system for poultry cages]. *AgroEkoInfo*. 2019. N4(38). 33 (In Russian).
2. Kavtarashvili A.Sh., Gladin D.V. Sravnitel'naya effektivnost' razlichnykh sistem osveshcheniya v ptitsevodstve [Comparative efficiency of various lighting systems in poultry farming]. *Ptitsevodstvo*. 2016. N4. 37-50. (In Russian).
3. Kochetkov N.P., Novoselov I.M. Issledovanie effektivnosti osveshcheniya ptichnika [Investigation of the effectiveness of poultry house lighting]. *Tekhnika v sel'skom khozyaystve*. 2011. N5. 27-28 (In Russian).
4. Fisinin V.I., Kavtarashvili A.Sh., Novotorov E.N., et al. Lokal'noe svetodiodnoe osveshchenie – put' povysheniya effektivnosti ptitsevodstva [Local LED lighting is a way to increase the efficiency of poultry farming]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*. 2011. N6. 61-62 (In Russian).
5. Yudaev I.V., Shabaev E.A., Romanovets M.M. Issledovanie svetodiodnogo svetil'nika dlya sistem lokal'nogo osveshcheniya v oblasti APK [Research of an LED lamp for local lighting systems in the agriculture]. *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee professional'noe obrazovanie*. 2020. N3(59). 376-387 (In Russian).
6. Kavtarashvili A.Sh., Novotorov E.N., Gusev V.A., et al. Produktivnost' kur pri svetodiodnom osveshchenii s izmenyaemoy tsvetovoy temperaturoy [Productivity of chickens under LED lighting with variable color temperature]. *Ptitsevodstvo*. 2017. N3. 27-29 (In Russian).
7. Gazalov V.S., Shabaev E.A., Romanovets M.M. Dinamicheskie sistemy osveshcheniya v pomeshcheniyakh dlya sel'skokhozyaystvennykh zhivotnykh [Dynamic lighting systems in premises for farm animals]. *Vestnik agrarnoy nauki Dona*. 2018. N2(42). 80-86 (In Russian).
8. Dubrovskiy A.A., Smirnova V.V. Ispol'zovanie svetodiodnogo osveshcheniya s razlichnoy tsvetovoy temperaturoy pri vyrashchivanii roditel'skogo stada ptitsy [The use of LED lighting with different color temperatures when growing a parent flock of poultry]. *Vestnik Michurinskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2020. N4(63). 188-195 (In Russian).
9. Sultana S., Hassan M.R., Choe H.S., et al. The effect of monochromatic and mixed LED light colour on the behaviour and fear responses of broiler chicken. *Avian Biology Research*. 2013. Vol. 3. Iss. 6. 207-214.
10. Shabaev E.A., Romanovets M.M. Mathematical models of sunlight for dynamic lighting systems of agricultural objects. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021. Vol. 659. Iss. 1. 012110.

Конфликт интересов.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest.

The authors declare no conflict of interest.

Заявленный вклад соавторов:

Шабаев Е.А. – научное руководство, обработка экспериментальных данных, разработка математических моделей, доработка текста статьи.

Романовец М.М. – разработка элементов системы, проведение экспериментальных исследований, литературный анализ, подготовка начального варианта статьи.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Coauthors' contribution:

Shabaev E.A. – scientific guidance, processing of experimental data, development of mathematical models, writing the text.

Romanovets M.M. – development of elements of the system, carry out experimental research, literary analysis, preparing the draft.

The authors read and approved the final manuscript.

Статья поступила в редакцию 13.01.2022
Статья принята к публикации 03.02.2022