

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

УДК: 636.083.313

<https://doi.org/10.26897/2687-1149-2023-6-61-66>**Обоснование параметров системы искусственного
светодиодного освещения животноводческих помещений***С.М. Бакиров¹, Т.А. Широбокова²*¹ Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова; г. Саратов, Россия² Удмуртский государственный аграрный университет; г. Ижевск, Россия¹ s.m.bakirov@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-9392-7627>² 9048336842@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-4421-576X>

Аннотация. Освещение животноводческих помещений влияет на продуктивность животных. Система искусственного светодиодного освещения обеспечивает снижение энергетических затрат при производстве продукции животноводства на агропромышленных предприятиях. Для обоснования параметров системы светодиодного искусственного освещения животноводческих помещений представлена математическая модель. Система искусственного светодиодного освещения должна обеспечивать регулирование освещенности в зависимости от породы и каналов восприятия света животного, использовать программы управления спектром излучения и длительностью освещения. Результатами математического анализа определено, что освещённость, равномерность освещения в животноводческих помещениях и потребляемая мощность светодиодной системы зависит от высоты подвеса осветительных приборов, а также типа кривой силы света, которые определяются геометрическими особенностями светодиодных осветительных приборов. Спектр излучения определяется типом светодиодных источников света, а продолжительность и периодичность светового дня обеспечиваются программным устройством для светодиодов. Разработка новых конструктивных решений осветительных приборов позволит повысить эффективность продукции животноводства и снизить затраты на электроэнергию.

Ключевые слова: система искусственного светодиодного освещения, освещение животноводческих помещений, освещённость, расположение светодиодов, высота подвеса осветительных приборов, мощность светодиодной системы освещения, равномерность освещения, кривая силы света, продуктивность животных

Для цитирования: Бакиров С.М., Широбокова Т.А. Обоснование параметров системы искусственного светодиодного освещения животноводческих помещений // Агроинженерия. 2023. Т. 25, № 6. С. 61-66. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2023-6-61-66>

ORIGINAL PAPER

**Justification of the parameters of the artificial intelligence system of LED lighting
for livestock premises***S.M. Bakirov¹, T.A. Shirobokova²*¹ Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N.I. Vavilov, Saratov, Russia² Udmurt State Agrarian University, Izhevsk; Russia¹ s.m.bakirov@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-9392-7627>² 9048336842@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-4421-576X>

Abstract. Lighting of livestock buildings affects the productivity of animals. The system of artificial LED lighting provides the reduction of energy costs in the livestock production at agro-industrial enterprises. A mathematical model is presented to substantiate the parameters of the system of artificial LED lighting of livestock premises. The system of artificial LED lighting should provide regulation of illumination depending on breed and light perception channels of an animal, use control programs of radiation spectrum and illumination duration. The results of mathematical analysis determined that illuminance, uniformity of illumination in livestock premises and power consumption of the LED system depends on the mounting height of lighting devices, as well as the type of light intensity curve, which are determined by the geometric features of LED lighting devices. The emission spectrum is determined by the type of LED light sources, while the duration and periodicity of the daylight hours is provided by the LED software devices. The development of new design solutions of lighting devices will increase the livestock productivity and reduce energy costs.

Keywords: artificial LED lighting system, lighting of livestock premises, illuminance, location of LEDs, mounting height of lighting devices, power of LED lighting system, uniformity of lighting, light intensity curve, animal productivity.

For citation: Bakirov S.M., Shirobokova T.A. Justification of the parameters of the artificial intelligence system of LED lighting for livestock premises. *Agricultural Engineering (Moscow)*. 2023;25(6):61-66. (In Rus.). <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2023-6-61-66>

Введение. Освещение животных при их выращивании способствует повышению производительности (яйценоскости, привеса, удоя молока и т.п.) [1, 2]. Наибольшую чувствительность к освещению имеют птицы [3]. Световой день моделируется с помощью систем искусственного освещения [4].

Качество системы освещения влияет на удой коров, а также на суточный привес свиней¹ [5]. Результаты отечественных и зарубежных исследований [6-8] показывают, что ориентируясь на норму освещенности², принятую укрупненно в нормативных документах, невозможно добиться высокой продуктивности животных. Излишняя же освещенность или увеличенная продолжительность светового дня могут негативно влиять на здоровье животных, а также приводят к повышению потребления электроэнергии [9]. В связи с этим к системам искусственного освещения выдвигаются требования: возможности регулирования освещенности в зависимости от породы и каналов восприятия света животного (не через глаза); использования программ управления спектром излучения, длительностью освещения, отлаженных под незатухающие биологические колебания систем животных.

Цель исследований: обоснование параметров системы светодиодного искусственного освещения для животноводческих помещений, обеспечивающей повышение продуктивности животных.

Материалы и методы. В зоне пребывания животного необходимо обеспечить норму освещенности E_o , при которой животное имеет умеренную активность³, необходимый спектр излучения $\Phi_{\lambda o}$ в соответствии с возрастом, длительность t_o и периодичность Π_o светового дня в соответствии с биологическими ритмами.

¹ Освещение животноводческих помещений. URL: <http://varon.ru/ru/articles/states/osveshchenie-zhivotnovodcheskih-pomeshcheniy> (дата обращения: 12.04.2023).

² Нормы освещения сельскохозяйственных предприятий, зданий и сооружений. ОСТ-АПК 2.10.24.001-04. URL: <https://ohranatruda.ru/upload/iblock/bcd/4293853695.pdf> (дата обращения: 8.11.2023).

³ Баев В.И., Короткий Р.П. Электрическое освещение птичников на основе кормовой активности цыплят-бройлеров: Монография / Волгоградская государственная сельскохозяйственная академия. Волгоград: Станица-2, 2006. 135 с.

Для конкретной породы животного норма освещенности, при которой достигается его максимальная продуктивность, определяется по выражению:

$$E_o = \frac{E_{кр-vmax} + E_{кр-vmin}}{2}, \quad (1)$$

где $E_{кр-vmax}$, $E_{кр-vmin}$ – критические значения освещенности при высокой и низкой активности животного, лк.

Спектральный состав излучения, длительность и периодичность светового дня определяются результатами наблюдений. Пример регулирования параметров системы искусственного светодиодного освещения (ИСО) представлен на рисунке 1.

Система ИСО создает фактические параметры освещенности E_ϕ , спектральный состав излучения $\Phi_{\lambda\phi}$, длительность t_ϕ и периодичность Π_ϕ светового дня. Опишем взаимодействие системы искусственного освещения с животным в виде объекта исследования (рис. 2).

Результирующие показатели системы ИСО (параметры освещенности, равномерность освещения, мощность и энергопотребление системы, спектральный состав излучения, длительность и периодичность светового дня), влияющие на животное, формируются в совокупности с видом источника света, спектром его излучения, возможностью автоматического управления конструкцией светильника.

Для обеспечения высокой продуктивности животных при организации и разработке системы ИСО необходимо выполнение совокупности следующих условий:

$$\left. \begin{aligned} E_o - E_\phi - E_c &= \Delta E, \quad \Delta E \rightarrow 0; \\ \Phi_{\lambda o} - \Phi_{\lambda\phi} - \Phi_{\lambda c} &= \Delta \Phi_\lambda, \quad \Delta \Phi_\lambda \rightarrow 0; \\ t_o - t_\phi - t_c &= \Delta t, \quad \Delta t \rightarrow 0; \\ \Pi_o - \Pi_\phi &= \Delta \Pi, \quad \Delta \Pi \rightarrow 0; \\ Z_\phi - Z_c - Z &= \Delta Z, \quad \Delta Z \rightarrow 0. \end{aligned} \right\}, \quad (2)$$

где Z_ϕ , Z_o – фактическая и наилучшая равномерность освещения, о.е.; E_c , Φ_c , t_c , Z_c – значения параметров естественного освещения; ΔE , $\Delta \Phi_\lambda$, Δt , $\Delta \Pi$, ΔZ – разности между наилучшими и фактическими (системы ИСО и естественного освещения): освещенностью, лк; спектральной плотностью потока излучения, лм; продолжительностью и периодичностью светового дня, ч; равномерностью освещения, о.е.

Выполнить совокупность условий (2) можно при разработке новой системы искусственного светодиодного освещения с наименьшими значениями мощности и энергопотребления и учётом влияния естественного освещения.

Результаты и их обсуждение. Спектральная плотность потока излучения $\Phi_{\lambda\phi}$ определяется типом источника света⁴. Использование светодиодных источников света позволяет получать различную спектральную плотность светового потока, которая связана с потребляемой мощностью выражением:

$$\Phi_{\lambda\phi} = 683 \sum_{i=1}^n V_{\lambda i} P_{\lambda\phi i} \lambda_{\phi i}, \quad (3)$$

где 683 – коэффициент перевода единиц измерения (энергетической в световую); V_{λ} – кривая спектральной чувствительности глаза животного, о.е.; $P_{\lambda\phi}$ – удельная мощность спектральной плотности излучения, Вт/нм; λ_{ϕ} – длина волны излучения, нм.

Продолжительность t_{ϕ} и периодичность Π_{ϕ} светового дня зависят от возможности системы автоматического управления (САУ) источником света:

$$t_{\phi} = \Pi_{\phi} - t_n - t_c; \quad (4)$$

$$N_t = \frac{8760}{\Pi_{\phi}} = \frac{8760}{(t_{\phi} + t_n + t_c)}, \quad (5)$$

где t_n , t_c – продолжительность ночного времени суток и естественного освещения, ч; N_t – количество включений системы искусственного светодиодного освещения в году (8760 ч в год).

Освещённость и равномерность освещения характеризуют систему освещения в целом. Рассмотрим пример, в котором освещённость на поверхности определяется одинаковым количеством светодиодов с одинаковой силой света (рис. 3).

Освещённость E в точке А для первого случая (рис. 3а) определяется выражением:

$$E = \frac{I_{\alpha} 4 \cos \alpha + I_{\beta} 2 \cos \beta + I_{\gamma} 2 \cos \gamma + I_{\delta} \cos \delta}{h^2}, \quad (6)$$

где h – высота подвеса светодиода, м; $I_{\alpha, \beta, \gamma, \delta}$ – сила света светодиода под углами соответственно α , β , γ , δ , кд; α – угол падения света от 2, 3, 5, 6 светодиодов, град.; β – угол падения света от 1 и 9 светодиодов, град.; γ – угол падения света от 4 и 8 светодиодов, град.; δ – угол падения света от 7 светодиода, град.

⁴ Бугров В.Е., Виноградова К.А. Оптоэлектроника светодиодов: Учебное пособие. Санкт-Петербург: Университет ИТМО, 2013. 173 с. EDN ZUZFBN.

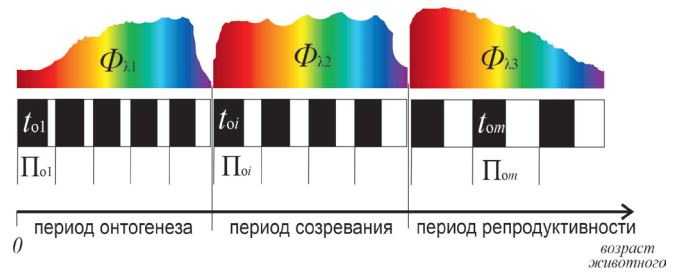


Рис. 1. Изменение параметров светодиодного освещения в зависимости от периода роста животного (птицы):
 Φ_{λ} – спектральный состав излучения, t_{ϕ} ;
 Π_{ϕ} – длительность и периодичность светового дня

Fig. 1. Changing the parameters of LED lighting depending on the growth period of the animal (poultry)

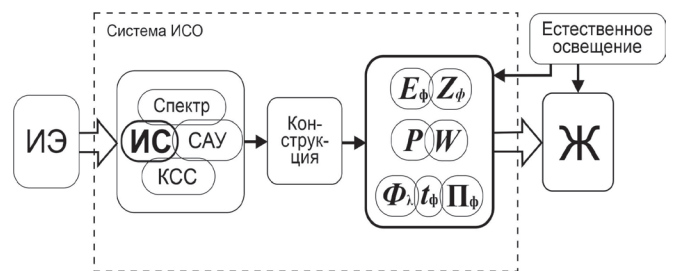


Рис. 2. Объект исследования:
ИЭ – источник энергии; ИС – источник света, САУ – система автоматического управления спектром и длительностью светового дня; КСС – кривая силы света; P – мощность светодиодной системы освещения; W – энергопотребление светодиодной системы освещения; E_{ϕ} – фактические параметры освещенности; Z_{ϕ} – фактическая равномерность освещения; Ж – животное

Fig. 2. Object of study:
ИЭ – energy source; ИС – light source, САУ – automatic control system for the spectrum and daylight hours, КСС – light intensity curve; P – power of the LED lighting system; W – energy consumption of the ISO system; E_{ϕ} – actual illumination parameters; Z_{ϕ} – actual uniformity of illumination; Ж – animal

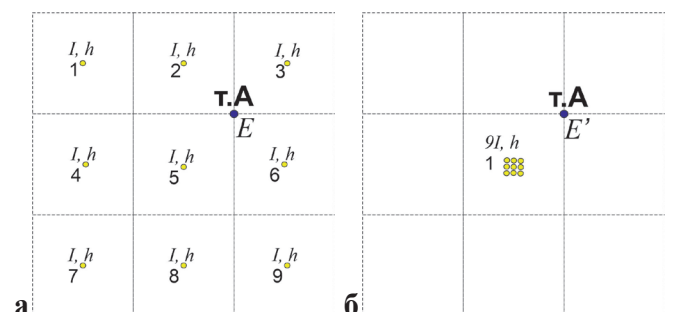


Рис. 3. Освещённость в точке А при различном расположении светодиодов:
а) как отдельных источников света;
б) в единой конструкции прибора

Fig 3. Illumination at point A when the LEDs are arranged:
a) as separate light sources and b) in a single device design

Для второго случая освещённость E' в той же точке А (рис. 3б) будет определяться в зависимости от углов падения света:

$$E' = \frac{9I_{\alpha} \cos \alpha}{h^2}, \quad (7)$$

Геометрическая форма расположения светодиодов в помещении будет отличаться на величину Z :

$$Z = \frac{nI_{\alpha} \cos \alpha + mI_{\beta} \cos \beta + \dots + I_{\theta} \cos \theta}{jI_{\alpha} \cos \alpha}, \quad (8)$$

$$j = n + m + \dots + 1.$$

где j – общее количество светодиодов в помещении; n – количество светодиодов, находящихся под углом падения света α в рассматриваемой точке; m – количество светодиодов, находящихся под углом падения света β в рассматриваемой точке; θ – угол падения света последнего светодиода, град.

Если освещённость от j светодиодов с одинаковой усреднённой силой света I_{cp} , подвешенных на одну и ту же высоту h в любой точке помещения, –

$$E_j = \frac{ZjI_{cp}}{h^2}. \quad (9)$$

Чтобы определить общее количество светодиодов для помещения, необходимо установить изменение освещённости по площади с учётом требуемой равномерности Z . Если светодиодный осветительный

прибор освещает квадратную площадь с длиной стороны a , то наименьшая освещённость в угловой точке периметра площади определяется по выражению:

$$E' = \frac{I_{\varphi} \cos \varphi}{h^2}, \quad (10)$$

где φ – угол отклонения вектора, направленного в точку изменения освещённости E' , град. (определяется геометрическим способом).

Изменяя высоту подвеса, высокую равномерность освещения по всей площади, получим

$$Z = \frac{E_{\max}}{E'} = \frac{I_{0^0}}{I_{\varphi}} \sqrt{\frac{a^2}{2h^2} + 1} = \frac{\sqrt{\frac{v^2}{2} + 1}}{k_l}, \quad (11)$$

где I_{0^0} – значение силы света при нулевом векторе излучения источника света, зависящее от кривой силы света (КСС), кд; I_{φ} – значение силы света образованного угла, зависящее от КСС, кд; k_l – коэффициент, показывающий отношение значений сил света, о.е.; v – геометрический показатель подвеса осветительного прибора, показывающий отношение стороны квадратной площади, освещаемой прибором, к высоте подвеса, о.е.

Согласно выражению (11), чтобы добиться высокой равномерности освещения (например, $Z < 1,1$) осветительными приборами с КСС типа Д (точка А на рисунке 4), осветительные приборы должны располагаться друг от друга на расстоянии $2 \times 0,46 h$

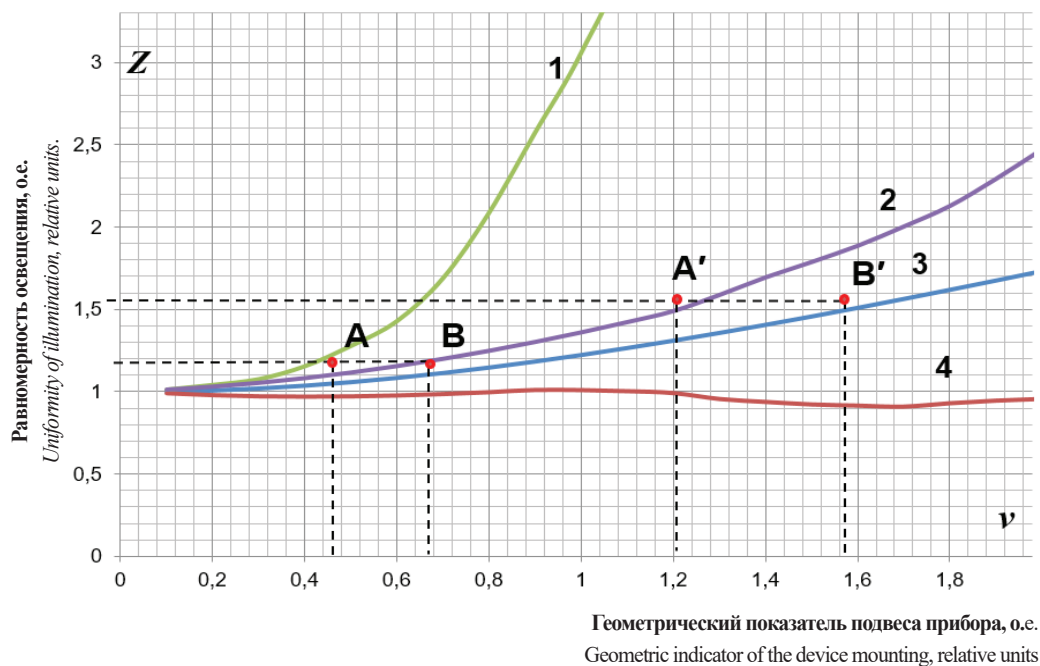


Рис. 4. Зависимость равномерности освещения от геометрического показателя подвеса осветительного прибора при различных типах кривых сил света (КСС):

1 – тип К; 2 – тип Д; 3 – тип М; 4 – тип Л

Fig. 4. Relationship between the uniformity of illumination and the geometric index of the lighting device mounting for various types of light intensity curves:

1 – type K; 2 – type D; 3 – type M; 4 – type L

или при высоте подвеса $h = 2,0$ м на расстоянии не более 1,64 м. Если же допустимая равномерность освещения ответит условию $Z < 1,5$ (точка А' на рисунке 4), то при высоте подвеса $h = 2,0$ м осветительные приборы должны располагаться на расстоянии не более 4,74 м друг от друга. Однако в этих же условиях осветительный прибор с КСС типа М имеет другие характеристики. Если для $Z < 1,1$ и высоты подвеса $h = 2,0$ м светильники можно ставить на расстоянии не более чем на 2,64 м друг от друга, то для $Z < 1,5$ и высоты подвеса $h = 2,0$ м – на расстоянии 6,28 м.

Потребляемая мощность светодиодной системы освещения –

$$P_{\phi} = \frac{ESk_i p_i}{\phi_i \sqrt{\frac{a^2}{2h^2} + 1}}, \quad (12)$$

где a – ширина освещаемой поверхности одним светодиодом в соответствии с кривой силы света, м.

Потребляемая мощность искусственной системы освещения зависит от многих составляющих, в том

числе от высоты подвеса осветительных приборов. Ориентируясь на максимальный рост животного, целесообразно по условию (2) использовать наименьшую высоту подвеса осветительных приборов, что позволяет добиться наименьшего энергопотребления при создании требуемой освещённости для животных. Например, в птичниках при напольном содержании (рис. 5) при подвесе светильников на высоту $h = 1,0$ м для создания оптимальной освещённости $E_0 = 100$ лк для нормальной жизнедеятельности птицы, содержащейся в помещении на площади $S = 1000$ м², потребляемая мощность искусственной системы светодиодного освещения составит 14,1 кВт (точка А на рисунке 5) для приборов с кривой силы света типа М, причём для тех же условий, но для приборов с кривой силы света типа Д потребляемая мощность будет ниже в 1,11 и составит 12,7 кВт (точка А'' на рисунке 5). А для приборов с КСС типа Л потребляемая мощность составит 17,9 кВт (точка А' на рисунке 5), что в 1,4 раза выше мощности ИСО с приборами КСС типа Д.

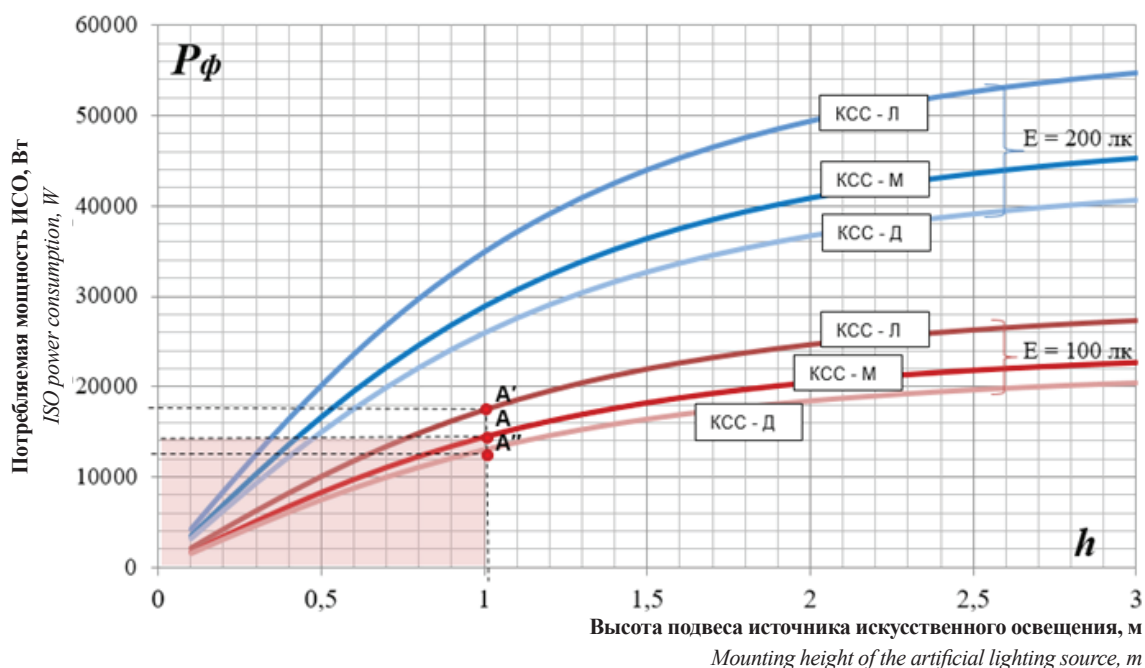


Рис. 5. Потребляемая мощность искусственной светодиодной системы освещения в зависимости от высоты подвеса осветительных приборов*

*При условиях: площадь освещаемого помещения $S = 1000$ м²; ширина освещаемой поверхности $a = 2$ м; световой поток, излучаемый одним светодиодом, $\phi_i = 12$ лм; потребляемая мощность одним светодиодом $p_i = 3$ Вт.

Fig. 5. Relationship between the power consumption of the artificial LED lighting system and the mounting height of the light source under the conditions:

area of the illuminated room $S = 1000$ м²; the illuminated surface width $a = 2$ м; luminous flux emitted by one LED $\phi_i = 12$ lm; power consumption of one LED $p_i = 3$ W

Выводы

Эффективность искусственной системы светодиодного освещения в животноводческих помещениях определяется типом светодиодных источников света

и их программным устройством, высотой подвеса осветительных приборов и кривыми сил света, обусловленными конструктивными особенностями светодиодных осветительных приборов.

Совершенствование светодиодного освещения в животноводстве заключается в разработке новых конструктивных решений осветительных приборов

на основе светодиодов, способствующих снижению потребления электроэнергии и повышению продуктивности животных.

Список литературы

1. Бакиров С.М., Широбокова Т.А., Иксанов И.И., Иксанова К.С. Анализ результатов исследования влияния параметров микроклимата на продуктивность коров // Актуальные проблемы энергетики АПК: Материалы XIII Национальной научно-практической конференции с международным участием, г. Саратов, 29-30 апреля 2022 г. Саратов: Амирит, 2022. С. 10-14. EDN: ITMUT.
2. Ерошенко Г.П., Лощкарев И.Ю., Шестаков И.В., Лощкарев В.И. Электроёмкость продукции промышленного птицеводства // Аграрный научный журнал. 2016. № 2. С. 48-50. EDN: VNZMFD.
3. Фисинин В.И., Столляр Т.А., Буяров В.С. Инновационные проекты и технологии в мясном птицеводстве // Вестник Орловского государственного аграрного университета. 2007. № 1 (4). С. 6-12. EDN: KYGRLL.
4. Кавтарашвили А., Марчев С., Кирдяшкина Г. Прерывистое освещение и его особенности // Птицеводство. 2001. № 5. С. 25-27. EDN: UCEROR.
5. Есикова О.А., Верба В.П., Козлов Д.Г. Основы применения искусственного освещения на производство свиноводческой продукции // Молодёжный вектор развития аграрной науки: Материалы 73-й национальной научно-практической конференции студентов и магистрантов, г. Воронеж, 1 апреля-31 мая 2022 г. Ч. I. Воронеж: Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I, 2022. С. 114-120. EDN: KQNJCY.
6. Ovchukova S.A., Kondratieva N.P., Kovalenko O.Y. Energy saving in lighting technologies of agricultural production. *Light & Engineering*. 2021;29(2):21-25. <https://doi.org/10.33383/2020-039>
7. Li G., Li B., Shi Z., Zhao Y., Ma H. Design and evaluation of a lighting preference test system for laying hens // *Computers and Electronics in Agriculture*. 2018;147:118-125. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.01.024>
8. Thomson A., Corscadden K.W. Improving energy efficiency in poultry farms through LED usage: a provincial study. *Energy Efficiency*. 2018;11(4):927-938. <https://doi.org/10.1007/s12053-018-9613-0>
9. Бакиров С.М., Широбокова Т.А., Баранова И.А., Иксанова К.С. Энергосберегающее оборудование и расчёт его параметров // Вестник НГИЭИ. 2022. № 2 (129). С. 56-64. <https://doi.org/10.24412/2227-9407-2022-2-56-64>

Информация об авторах

Сергей Мударисович Бакиров, д-р техн. наук, доцент, Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова; 410012, Россия, г. Саратов, пр-кт им. Петра Столыпина, 4, стр. 3; <https://orcid.org/0000-0002-9392-7627>; s.m.bakirov@mail.ru

Татьяна Александровна Широбокова, канд. техн. наук, доцент, Удмуртский государственный аграрный университет; 426069, Россия, г. Ижевск, ул. Студенческая, 11; <https://orcid.org/0000-0003-4421-576X>; 9048336842@mail.ru

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликтов интересов и несут ответственность за плагиат

Статья поступила 14.04.2023, после рецензирования и доработки 03.10.2023; принята к публикации 12.10.2023

References

1. Bakirov S.M., Shirobokova T.A., Iksanov I.I., Iksanova K.S. Analysis of the study results on the influence of microclimate parameters on cow productivity. *Aktualnye problemy energetiki APK: Materialy XIII Natsionalnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem*, Saratov, April 29-30, 2022. Saratov: Amirit, 2022:10-14. (In Rus.)
2. Eroshenko G.P., Loshkarev I.Yu., Shestakov I.V., Loshkarev V.I. Electrical capacity of industrial poultry products. *The Agricultural Scientific Journal*. 2016;2:48-50. (In Rus.)
3. Innovative projects and technologies in meat poultry farming. *Vestnik Orlovskogo Gosudarstvennogo Agrarnogo Universiteta*. 2007;1:6-12. (In Rus.)
4. Kavtarashvili A., Marchev S., Kiryashkina G. Intermittent lighting and its features. *Ptitsevodstvo*. 2001;5:25-27. (In Rus.)
5. Esikova O.A., Verba V.P., Kozlov D.G. Fundamentals of the use of artificial lighting for the production of pig products. *Molodezhniy vektor razvitiya agrarnoy nauki: Materialy 73-oy natsionalnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii studentov i magistrantov*, Voronezh, April 01-31, 2022. Part I. Voronezh: Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter I, 2022:114-120. (In Rus.)
6. Ovchukova S.A., Kondratieva N.P., Kovalenko O.Y. Energy saving in lighting technologies of agricultural production. *Light & Engineering*. 2021;29(2):21-25. <https://doi.org/10.33383/2020-039>
7. Li G., Li B., Shi Z., Zhao Y., Ma H. Design and evaluation of a lighting preference test system for laying hens. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2018;147:118-125. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.01.024>
8. Thomson A., Corscadden K.W. Improving energy efficiency in poultry farms through LED usage: a provincial study. *Energy Efficiency*. 2018;11(4):927-938. <https://doi.org/10.1007/s12053-018-9613-0>
9. Bakirov S.M., Shirobokova T.A., Baranova I.A., Iksanova K.S. Energy-saving equipment and calculation of its parameters. *Vestnik NGIEI*. 2022;2(129):56-64. (In Rus.) <https://doi.org/10.24412/2227-9407-2022-2-56-64>

Information about the authors

Sergey M. Bakirov, DSc (Eng), Associate Professor; Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N.I. Vavilov; 410012, Saratov, Russia; <https://orcid.org/0000-0002-9392-7627>; s.m.bakirov@mail.ru

Tatyana A. Shirobokova, CSc (Eng), Associate Professor; Udmurt State Agrarian University, Izhevsk, Russia; <https://orcid.org/0000-0003-4421-576X>; 9048336842@mail.ru

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests regarding the publication of this paper are equally responsible for plagiarism.

Received 14.04.2023; revised 03.10.2023; accepted 12.10.2023