

Внедрение светодиодных светильников в животноводческие помещения

**Игорь Мамедярович Довлатов, Илья Владимирович Комков,
Дмитрий Андреевич Благов, Сергей Сергеевич Юрочка, Леонид Юрьевич Юферов**
«Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», г. Москва, Россия
e-mail: dovlatovim@mail.ru

Аннотация. В статье приводятся исследования по внедрению светодиодных светильников в животноводческие помещения. Работа проводилась в условиях хозяйства ФГУП Григорьевское Ярославской области. Было проведено моделирование и прогнозирование освещенности кормового стола проводилось расчётом в программном комплексе DIALux evo. Сформирована схема разработанного светильника СП-1 с использованием новой разработки светодиода со светоточацей не менее 150 лм/Вт. Разработанный светильник СП-1 имитирует солнечный свет в диапазоне длин волн 380–800 нм. Точность воспроизведения солнечного спектра составляет 70 %. Для проверки достоверности данных моделирования было решено провести натурные испытания в строящемся помещении для содержания молодняка КРС. В телятнике были размещены светодиодные светильники на расстояниях и высоте, заданной в имитационной модели. Далее осуществлен сбор массива данных по освещенности помещения и найдены средние значения освещенности в выбранных точках. Анализ полученных данных выявил, что сходимость результатов моделирования и опытных замеров достигает 97,5 %. Выявлены преимущества предлагаемого устройства, такие как: потребляемая мощность – 9 Вт, светоточаца – 133 лм/Вт, цена – 3772 руб. Определено, что освещенность варьирует и над кормовым столом составляет 118,4–120,0 лк, а по остальному телятнику составляет 82,4–94,5 лк.

Ключевые слова: освещенность; моделирование; физиологическое состояние; продуктивность; крупный рогатый скот.

Для цитирования: Довлатов И.М., Комков И.В., Благов Д.А., Юрочка С.С., Юферов Л.Ю. Внедрение светодиодных светильников в животноводческие помещения // Аграрный научный журнал. 2023. № 8. С. 110–116. <http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2023i8pp110-116>.

AGRICULTURAL ENGINEERING

Original article

Introduction of led lights in livestock premises

Igor M. Dovlatov, Ilya V. Komkov, Dmitry A. Blagov, Sergey S. Yurochka, Leonid Yu. Yuferev
«Federal Scientific Agroengineering Center VIM», Moscow, Russia
e-mail: dovlatovim@mail.ru

Abstract. This article presents research on the introduction of LED lamps in livestock premises. The work was carried out in the conditions of the economy of the Grigorievskoye Federal State Unitary Enterprise of the Yaroslavl region. Modeling and forecasting of the illumination of the aft table was carried out by calculation in the DIALux evo software package. The scheme of the developed lamp SP-1 was formed using a new development of LEDs with a light output of at least 150 lm/ W. The developed lamp SP-1 simulates sunlight in the wavelength range of 380–800 nm, the reproduction accuracy of the solar spectrum is 70%. To verify the reliability of the simulation data, it was decided to conduct full-scale tests in a building under construction for keeping young cattle. LED lights were placed in the calf house at the distances and heights specified in the simulation model. Next, an array of data on the illumination of the room was collected and the average illumination values at the selected points were found. The analysis of the obtained data revealed that the convergence of the simulation results and experimental measurements reaches 97.5%. The advantages of the proposed device are revealed, such as: power consumption – 9 W, light output – 133 lm/W, price – 3772 RUB. It is determined that the illumination varies and over the feed table is 118.4 – 120.0 lux, and for the rest of the calf is 82.4–94.5 lux.

Keywords: cows; ammonia; carbon dioxide; gas analyzer; air exchange; concentration.

For citation: Dovlatov I.M., Komkov I.V., Blagov D.A., Yurochka S.S., Yuferev L.Yu. Introduction of led lights in livestock premises // Agrarnyy nauchnyy zhurnal = The Agrarian Scientific Journal. 2023;(8):110–116. (In Russ.). <http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2023i8pp110-116>.





Введение. Одним из факторов, оказывающих значительное влияние на организм животных, является микроклимат животноводческого помещения. Большое значение в качестве одного из параметров микроклимата имеет освещенность. Для животноводческих помещений строго регламентированы степени естественной и искусственной освещенности. В следствии этого существуют нормы по искусственному и естественному освещению. Коэффициент освещенности – отношение суммарной площади всех окон к площади скотоводческого помещения. Качественное освещение помещений при выращивании сельскохозяйственных животных и растений – важное условие успешного развития агропромышленного комплекса. Это обусловлено высокой степенью влияния параметра освещенности на организмы живых существ [1–5]. Хорошее освещение с имитацией рассвета и заката с увеличением светового дня до 15–16 ч, может повысить уровень производства на 8–15 % и продлить ресурс работы. По мнению многих ученых, положительный эффект от использования освещения достигается только в том случае, если уровень освещенности составляет 160–200 лк. Увеличить естественную освещенность коровников возможно за счет устройства светового конька, количества и размера окон. Увеличение светового периода до рекомендуемых 16 ч возможно за счёт применения современных экономичных светильников, и их выбор должен осуществляться уже на стадии проектирования. Также следует упомянуть, что факторы, интересующие авторов, влияют и на сотрудников сельскохозяйственных предприятий. Следовательно, необходимо учитывать и то, как освещение влияет на продуктивность и уровень стресса сотрудников [6–9].

Из проанализированного источника [10] выявлено, что на данный момент в сфере животноводства существует ряд наиболее распространенных источников искусственного света (табл. 1). Но в настоящее время существует тенденция на повышение энергоэффективности источников света, а также усовершенствование их для более благотворного влияния на сельскохозяйственных животных.

Таблица 1

Параметры ЛН, КЛЛ и светодиодных ламп

Характеристики	Лампа накаливания (ЛН)	Компактная люминесцентная лампа (КЛЛ)	Светодиодная лампа (LED)
КПД	4–5 %	20–40 %	50–70 %
Срок службы	До 1000 ч	До 25 000 ч	До 50 000 ч
Использование во влажных и пыльных помещениях	Возможно	Нежелательно	Возможно
Задержка включения	Нет	Да	Нет
Частое включение и отключение питания	Сокращает срок службы	Сокращает срок службы	Не влияет на срок службы
Мерцание	Нет	Есть	Нет
Нагрев поверхности лампы	120 °С	60 °С	30 °С
Виброустойчивость	Нет	Нет	Да
Техническое обслуживание	Частая замена	Умеренно частая замена	Редкая замена
Цена	Низкая	Высокая	Высокая

В каждом помещении предъявляются различные требования к освещению по интенсивности, светоотдаче, времени работы, длины волн, цветовой температуры, освещенности и т.д. Связано это с особенностями организма каждого сельскохозяйственного животного, кто-то более чувствителен, а кто-то, напротив. В связи с этим нормируются показатели микроклимата для каждого раздела животноводства. Для освещения помещений для содержания крупного рогатого скота необходима освещенность в пределах 150–300 лк в течение 16-часового дневного периода. При выращивании птицы обращают внимание не только на уровень и продолжительность освещенности, но и на спектр световых волн [11–13].

Освещенность также сильно влияет на уровень стресса животного, что в свою очередь отражается на степени продуктивности сельскохозяйственных животных. Световой стресс заключается в том, что слишком интенсивное излучение пагубно воздействует на зрительные нервы животных и на мозговую активность в целом, также негативное влияние оказывает чрезмерно длительное воздействие. Следует учитывать, что недостаток света оказывает отрицательный эффект. Может спровоцировать недостаточное усвоение витаминов и минеральных веществ [14, 15].

Для увеличения производственных показателей используются специализированные светодиодные системы, благодаря которым улучшается и физиологическое состояние животных. Использование искусственного освещения позволяет применять разные системы и способы содержания. Данное решение в значительной степени уменьшает затраты производства на создание товарной продукции, что крайне благоприятно сказывается на экономических показателях [16, 17].

В связи с высокой степенью влияния светового потока на организм животных проводится множество исследований на тему его влияния. Определение степени влияния интенсивности ос-



вещения в животноводческих помещениях на продуктивность и длительность хозяйственного использования крупного рогатого скота. Установлена взаимосвязь между мощностью светового излучения и продуктивностью крупного рогатого скота [18,19]. Изучаются влияния спектров светового излучения на молочную продуктивность и иммунный ответ. Также многих ученых интересует возможность влияния световым потоком на гормональный фон скота и влияние его на лактацию в целом. Проводились исследования о стимуляции выработки мелатонина с помощью контроля спектра излучения и длительности воздействия света на сетчатку глаза [20–22].

Методика исследований. Моделирование и прогнозирование освещенности кормового стола проводилось расчётом в программном комплексе DIALux evo. В программу задавались габариты помещения, уровень отражения света стенами, габариты светильников, их расположение, высота установки светильников – 4,2 м, мощность – 9 Вт, светоотдачу – 133 лм/Вт, коэффициент запаса – 1,43.

Исследования проводились на базе предприятия Григорьевское.

Опытное производство филиала Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», находящегося с. Григорьевское, р-н Ярославский в строящемся коровнике. На территории фермерского хозяйства, в телятнике были установлены светильники СП-1, собранные в лаборатории ФГБНУ ФНАЦ ВИМ в количестве 10 шт и проведены измерения осветительной способности данных светильников.

Измерительные мероприятия осуществлялись с помощью прибора Тесто 400, Люкс-зондом для измерения освещенности, фикс кабель с диапазоном измерений 0 – 100000 лк и разрешением 0,1 (<10000) 1 (>10000) лк.

В соответствии с источником [23] был выбран прямой метод измерения. Выбранный метод подразумевает сбор массива данных с помощью измеряемых величин, полученных со шкалы прибора, проградуированного в соответствующих единицах измерения. Повторность и время выдержки замера выбрано в соответствии с источником [24]. Находят некоторое приближенное к x^0 значение x , называемое оценкой истинного значения, и указывают интервал, в который истинное значение x^0 попадает с заданной вероятностью P . Этот интервал называют доверительным интервалом, а вероятность P – доверительной вероятностью. В качестве оценки истинного значения согласно [24] выбрано среднее арифметическое результатов наблюдений в выборке которое называют выборочным средним. Уменьшения погрешности измерения было достигнуто с помощью замера в каждой точке шестикратной повторностью с учетом времени замера более 8 раз в каждой точке.

Корректность проведенных исследований при изменении светового потока определялась путём количественной оценки соответствия теоретических и экспериментальных данных были выбраны следующие критерии: коэффициент корреляции, критерий Фишера и коэффициент Стьюдента.

Норматив определялся в соответствии с нормативной документацией ОСН АПК 2.10.24.001-04 «Нормы освещения сельскохозяйственных предприятий, зданий, сооружений».

Результаты исследований. Предварительное моделирование по 6 источникам освещения (рис. 1), описанное в источнике [14], позволяет сделать следующее заключение, пиковые области освещенности под осветительными приборами.

Предлагаемая конструкция светильника СП-1 продемонстрирована на рис. 2. Из рис. 3, имитации нагрева корпуса при работе, видно, что наибольшие значения температур будут в центральной области светильника, а во внешнем направлении температура будет уменьшаться.

Для прогнозирования уровня освещенности кормового стола было проведено моделирование (рис. 4), в результате которого были получены средние значения (табл. 2). Определены ряды, на которых необходимо проводить замеры освещенности (рис 5).

На примере имитационной модели были выделены точки замера для натуральных испыта-

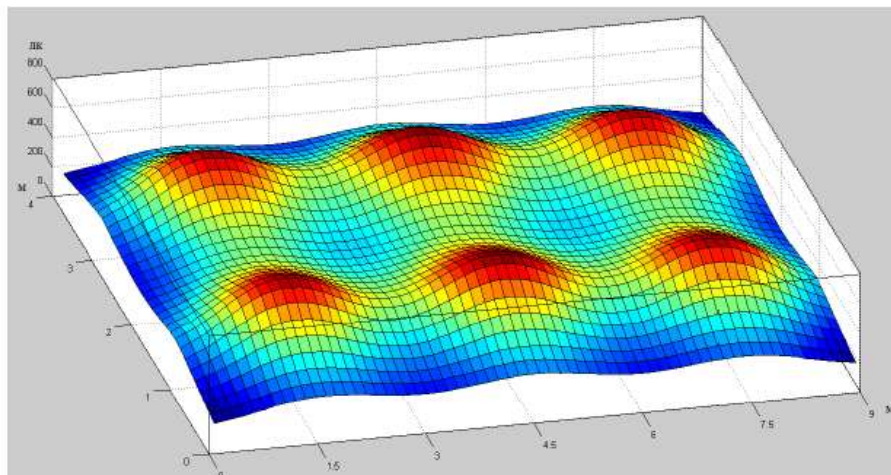
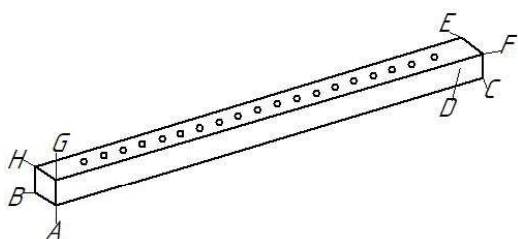


Рис. 1. Трехмерная модель распределения освещенности в пространстве помещения на уровне рабочей плоскости



*ABCD – Верхняя плоскость без источников света;
HGEF – Нижняя плоскость с источниками света*

Рис. 2. Схема светильника

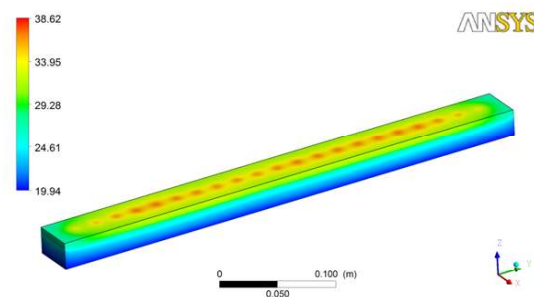


Рис. 3. Имитационная модель нагрева

ний, которые считаются наиболее подходящими для этого. Наиболее важными считаются кормовые столы и места отдыха животных, так как в первую очередь показатели освещения критичны именно для сельскохозяйственных животных.

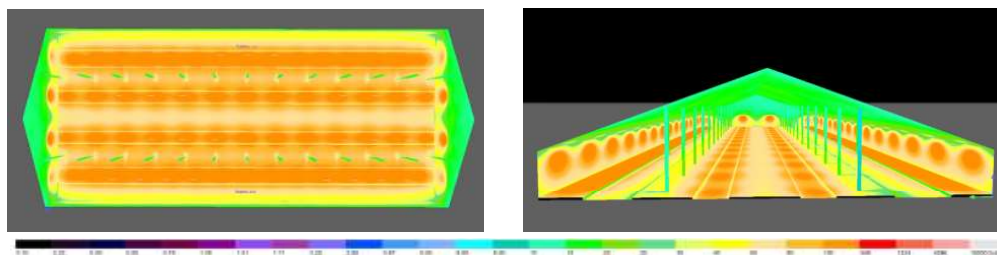


Рис. 4. Моделирование уровня освещенности при использовании светодиодных светильников

Таблица 2

Значения освещенности помещения, полученные в результате моделирования

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Ср
Освещенность, лк	88	124	92	123	81	123	95	122	88	104

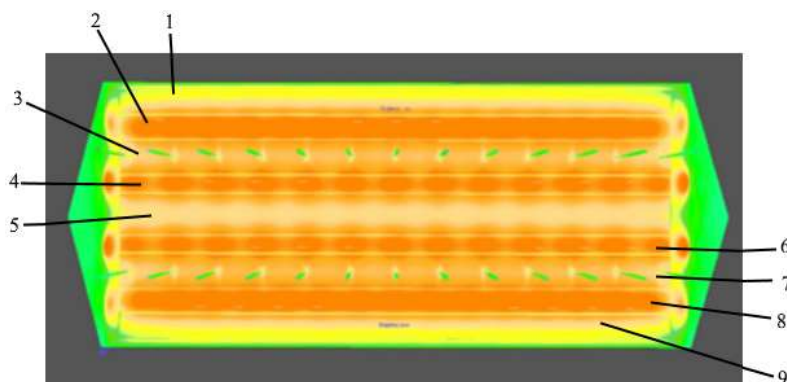


Рис. 5. Схема помещения при измерении освещенности, с выбранными рядами:

*1 – технический проход 1; 2 – кормовой стол 1; 3 – место отдыха 1;
4 – кормовой стол 2; 5 – технический проход 2; 6 – кормовой стол 3;
7 – место отдыха 2; 8 – кормовой стол 4; 9 – технический проход 3*

Исходя из данных табл. 2, по результатам моделирования освещенности помещения по содержанию крупного рогатого скота видно, что показатели освещенности в помещении находятся в пределах референтных значений, обусловленных нормативами документами освещенности, и составили в среднем над кормовым столом 104 лк, а по остальному телятнику составляет в пределах допустимой нормы [12, 25].

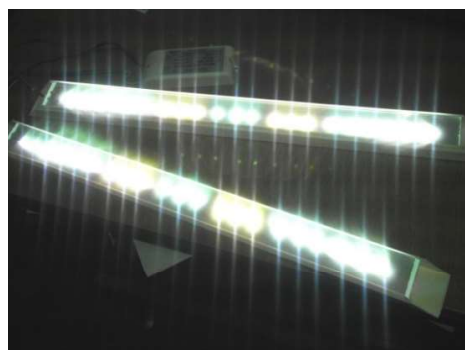


Рис. 6. Светильник светодиодный

Для освещения фермы КРС были разработаны светодиодные светильники СП-1 с использованием новой разработки светодиоды со светоотдачей не менее 150 лм/Вт. На основе этих светодиодов были разработаны светильники мощностью по 9 Вт со световым потоком 4954 лм (рис. 6).

Светильники изготовлены в пластиковых корпусах, светодиоды припаяны на стеклотекстолитовую плату размером 500×40 мм.



Количество светодиодов в светильнике – 28 шт. Температура нагрева светодиодов составляет 19 °С, что обеспечивает расчетный срок службы не менее 70000 ч. Разработанный светильник СП-1 имитирует солнечный свет в диапазоне длин волн 380–800 нм. Точность воспроизведения солнечного спектра составляет 70 %.

Для проверки достоверности данных моделирования было решено провести натурные испытания в строящемся помещении для содержания молодняка КРС (рис. 7).

В телятнике были размещены светодиодные светильники на расстояниях и высоте, заданной в имитационной модели. Далее осуществлен сбор массива данных по освещенности помещения и найдены средние значения освещенности в выбранных точках (см. рис. 5). Замер происходил над местами, где будут располагаться кормовые столы по всей его длине составил 115–120 лк, в остальных частях составил 77–98 лк.

В ходе осуществления замеров были получены значения освещенности в табл. 3 приведены средние значения по областям замеров на разных высотах с учетом равных габаритных размеров помещения в имитационной модели и строящемся телятнике.

Таблица 3

Значения освещенности помещения, полученные в результате осуществления замеров

Расстояние от пола	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Сред
0 м	84 лк	120 лк	94,5 лк	119,7 лк	82,4 лк	118,4 лк	90 лк	119,6 лк	83,7 лк	101,4 лк
1 м	166 лк	241 лк	190 лк	239,2 лк	163,7 лк	239,1 лк	179 лк	238,5 лк	166,3 лк	202,5 лк
2 м	335 лк	480 лк	367 лк	478,7 лк	329,6 лк	472,2 лк	362 лк	477,8 лк	342,9 лк	405,02 лк
4,2 м	1670 лк	1860 лк	1567 лк	1913,1 лк	1615,4 лк	1894,4 лк	1675 лк	1913,6 лк	1599,1 лк	1745,3 лк

Замеры производились в нескольких точках на протяжении целого ряда. Для более понятного понимания было решено обозначить ряды цифрами и в таблице привести средние значения по каждому из рядов на четырех уровнях от пола. Расходимость результатов замеров по областям объясняется запыленностью сельскохозяйственного помещения. Данная погрешность несущественно влияет на крупный рогатый скот, следовательно и на наше исследование, в частности.

Для определения достоверности исследования было решено проанализировать сходимость результатов моделирования и эксперимента (рис. 8).

При анализе графика выявлено, что сходимость результатов моделирования и опытных замеров достигает 97,5 %. В связи с этим можно утверждать, что ожидаемые результаты моделирования почти были достигнуты с минимальными отклонениями. Следовательно, разрабатываемый светильник будет удовлетворять заявленным требованиям в достаточной степени.

Проведение практических испытаний и сбор данных позволили понять, как работает предложенный светильник в условиях реальной среды. Дальнейшие исследования будут проводиться в реальных условиях в помещении, где уже содержится фуражное стадо или молодняк.

В связи с тем, что данные, получившиеся при моделировании и в результате практического опыта, совпали при допустимом отклонении было доказано пригодность предлагаемых светильников СП-1 для животноводческих помещений.

В дальнейших исследованиях планируется разработать необходимое число светильников 51 шт. (рис. 9), которое будет наиболее удовлетворять потребностям животных. Это позволит провести исследования о влиянии освещенности и светового потока на онтогенез телят.

По разработанному светильнику СП-1 было проведено сравнение с современными аналогами для сельскохозяйственных помещений (табл. 4). Для полноценного сравнения необходимо учитывать, что для животных необходимо 100–150 лк над кормовым столом у коров и поэтому световой поток более 2000 лм не нужен. Такой поток подходит и используется в теплицах в растениеводстве.



Рис. 7. Строящийся телятник на 150 голов

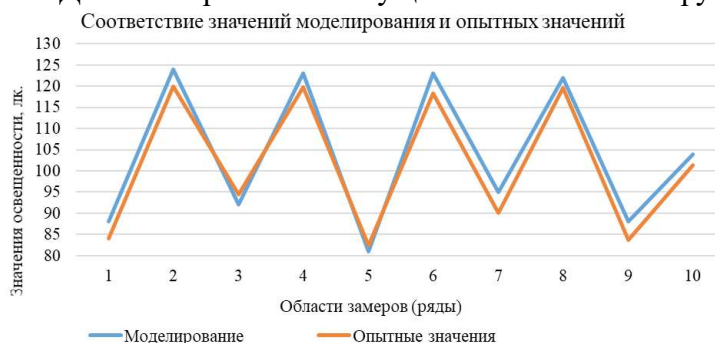


Рис. 8. Графики опытных значений и моделирования

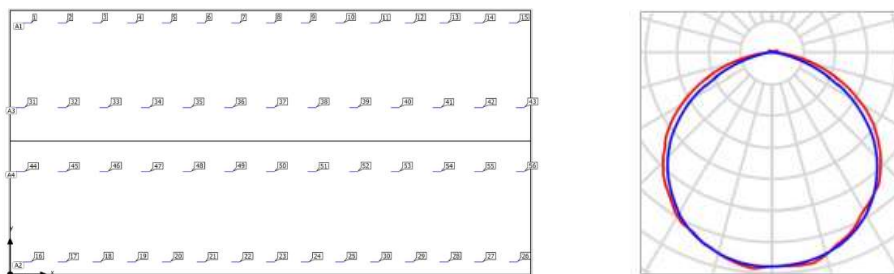


Рис. 9. План расположения светильников СП-1 в имитационной модели

Таблица 4

Сравнение светодиодных и люминесцентных светильников

Название	СП-1	«Хамелеон» СКС-750-35-3500	ASTZ T8 ЛВО09-4x18-011	ASTZ T8 ДВО04-36-001 PRS	«Модуль» У-1
Показатель					
Светоотдача лм/Вт	133	от 101	66,7	88,9	130
Мощность, Вт	9	до 35	72	36	96
Световой поток, лм	1200	от 3555	4800	3200	12480
Степень защиты от внешних воздействий	IP 64	IP 66	IP 64	IP 64	IP 67
Освещенность, лк	120	355	480	320	1248
Работа, ч	70000	75000	55000	50000	100000
Цена, руб.	3772	6120	8800	6725	снято с производства
КПД, %	70	70	66	80	75–90
Частота, Гц	50	50	50	50	50

Исходя из данных таблицы, можно предположить, со светильник СП-1 является наиболее приемлемым и удобным вариантом для эксплуатации в животноводческом помещении. Среди представленных аналогов он имеет наиболее корректный световой поток и относительно небольшую мощность – 9 Вт, что на 80,7 % меньше, чем у 2Модуль» У-1, на 75 %, чем у ASTZ T8 ДВО04-36-001 PRS, на 87,5 % меньше, чему у ASTZ T8 ЛВО09-4x18-011 и на 74,3 % по сравнению с «Хамелеон» СКС-750-35-3500. Также его уровень защиты - IP 64 в наибольшей степени удовлетворяет условиям эксплуатации, так как нет высокой необходимости в более высоких показателях защиты для такого рода оборудования. Это позволяет полностью реализовать его потенциал эксплуатации. Предлагаемый светильник имеет наибольшую степень светоотдачи – 133 лм/Вт, а также наименьшую стоимость, которая на 2348 р, 5028 р и 2953 р ниже, чем у «Хамелеон» СКС-750-35-3500, ASTZ T8 ЛВО09-4x18-011 и ASTZ T8 ДВО04-36-001 PRS соответственно.

Заключение. Проведено компьютерное моделирование расположения светодиодных светильников. Определены места нагрева и распределение освещенности в пространстве помещения на уровне рабочей плоскости.

Приведена схема светильника СП-1. Приведены его технические характеристики.

Выявлены преимущества предлагаемого устройства, такие как потребляемая мощность – 9 Вт, светоотдача – 133 лм/Вт, цена – 3772 руб.

Определено, что освещенность варьирует и над кормовым столом составляет 118,4–120 лк, а по остальному телятнику составляет 82,4–94,5 лк.

Сходимость между значениями моделирования и опытными замерами составила 97,5 %, что является хорошим показателем.

Существует необходимость проведения дальнейших исследований по влиянию световых потоков на организмы животных.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Филатов Д.А., Терентьев П.В., Авдеева Е.А., Плаксин М.А. Энергоэффективное освещение в молочном скотоводстве // Вестник Нижегородской государственной сельскохозяйственной академии. 2018. № 4 (20). С. 50–57.
2. Юферев Л.Ю., Алферова Л.К. Светотехника в сельском хозяйстве. М.: ВИМ. 2016. 156 с.
3. Muneshwara, M.S., Swetha, M.S., Anand, R., Pushpa, S.K., Manjunath, T.N. IOT-Based Smart Street Light Control Application for Smart Cities // Lecture Notes in Networks and Systems. 2022. 311. С. 321–333. DOI 10.1007/978-981-16-5529-6_26.
4. Кирсанов В.В., Довлатов И.М., Комков И.В., Юрочка С.С. Современные подходы к системам обеспечения параметров воздуха в животноводческих помещениях // Техника и технологии в животноводстве. 2022. № 4 (48). С. 61–71.
5. Diatropov, M.E., Slesarev, S.M., Zenchenko, T.A. Phase Analysis of Ultradian Rhythms of Body Temperature in Laboratory Mice Maintained under Constant Illumination at Different Longitudinal Locations // Bulletin of Experimental Biology and Medicine. 2021. 172(1). С. 72–76. DOI 10.1007/s10517-021-05334-w.
6. Zhang P., Chen Z., Wang F., Jian X., Liu C. Response of Population Canopy Color Gradation Skewed Distribution Parameters of the RGB Model to Micrometeorology Environment in Begonia Fimbristipula Hance // Atmosphere. 2022. № 13 (6). С. 890.
7. Гордеев В.В., Хазанов В.Е., Эрк А.Ф., Размук В.А. – Оценка освещенности в коровниках для фермы на 1200 коров // Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. 2017. 92. С. 153–158.





8. Приказ Министерства сельского хозяйства Российской Федерации от 21.10.2020 № 622 “Об утверждении Ветеринарных правил содержания крупного рогатого скота в целях его воспроизводства, выращивания и реализации”.
9. Shirokov Y., Tikhnenko V. Technosphere safety as a factor of product cost reduction // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. № 012133.
10. Высоцкая Е.А. Корнев А.С. Полковников Е.В. Совершенствование системы освещения производственных помещений сельскохозяйственных предприятий за счет внедрения энергосберегающих ламп // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2018. № 1 (56). С. 137–142.
11. Dovlatov I.M., Yuferev L.Y., Mikaeva S.A., Mikaeva A.S., Zheleznikova O.E. Development and testing of combined germicidal recirculator // LIGHT & ENGINEERING. 2021. Т. 29. Вып. 3. С. 43–49. DOI 10.33383/2021-023.
12. Пилыщикова Ю.А. Коваленко О.Ю., Овчукова С.А. Влияние комбинированного излучения на молодняк птицы // Вестник ФГОУ ВПО МГАУ. 2012. № 2. С. 29–31.
13. OCH APK 2.10.24.001-04 «Нормы освещения сельскохозяйственных предприятий, зданий, сооружений».
14. Proshkin Y. A., Smirnov A. A., Sokolov A.V., Dovlatov I. M., Kachan S. A. Study of thermal modes of operation of SMD-LEDs in phytolamps // IOP Conference Series-Earth and Environmental Science. 2021. Т. 624. 012091. DOI 10.1088/1755-1315/624/1/012091.
15. Кондратьева Н.П., Филатов Д.А., Терентьев П.В., Аль-Хелю А.С. Сравнительная оценка основных характеристик натриевых и светодиодных тепличных облучателей // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2020. Т. 14. № 1. С. 50–54.
16. Макаров Я.А., Козлов А.В. Светодиодное освещение в птицеводстве // Мир инноваций. 2020. № 2. С. 3–8.
17. Довлатов И.М., Юфев Л.Ю., Кирсанов В.В., Павкин Д.Ю., Матвеев В.Ю. Автоматизированная система обеспечения микроклимата в птичниках // Вестник НГИЭИ. 2018. № 7 (86). С. 7–18.
18. Aviv Asher, Matan Fialko, Florin Fares, Uzi Moallem, Shama Yaacoby, Roee Gutman The Effect of Exposing High Yielding Dairy Cows To Short Wavelength LED Illumination During The Night On Fatty Acid Profile // Research Square. 2022. № 3 1240395.
19. Sofia Lindkvist, Emma Temman, Sabine Ferneborg, Daniel Bänkestad, Johan Lindqvist, Björn Ekestén, Sigrid Agenäs Effects of achromatic and chromatic lights on pupillary response, endocrinology, activity, and milk production in dairy cows // PLoS ONE. 2021. № 16 (7). 0253776.
20. A T Chamberlain The use of supplementary lighting in dairy cow housing to increase milk production // Livestock. 2018. № 23 (3). 2053–0862.
21. Barbara A. Murphy, Mary M. Herlihy, Margaret B. Nolan, Christiane O’Brien, John G. Furlong, Stephen T. Butler Identification of the blue light intensity administered to one eye required to suppress bovine plasma melatonin and investigation into effects on milk production in grazing dairy cows // Journal of Dairy Science. 2021. № 104 (11). 12127–12138.
22. Park Jin-Ryong, Belal Shah-Ahmed, Na Chong-Sam, Shim Kwan-Seob Effect of LED Lighting Intensity on Productivity, Blood Parameters and Immune Responses in Dairy Cows // Korean J. Org. Agric. 2019. № 27 (2). С. 161–171.
23. Морозов В.В., Соболевский Б.Е., Шейнман И.Л. Методы обработки результатов физического эксперимента. СПб., 2004. 64 с.
24. Довлатов, И.М. Сравнение теоретических и экспериментальных данных по изменению скоростного напора воздуха внутри рециркулятора // Инновации в сельском хозяйстве. 2019. № 2 (31). С. 626–632.
25. Довлатов И.М., Юфев Л.Ю., Кирсанов В.В., Павкин Д.Ю. Методика расчета облученности воздуха УФ-источником внутри рециркулятора облучательной установки // Техника и оборудование для села. 2019. № 12 (270). С. 27–31.

REFERENCES

1. Filatov D.A., Terentyev P.V., Avdeeva E.A., Plaksin M.A. Energy-efficient lighting in dairy cattle breeding. *Bulletin of the Nizhny Novgorod State Agricultural Academy*. 2018; 4 (20): 50–57.
2. Yuferev L.Yu., Alferova L.K. Lighting engineering in agriculture. Moscow, 2016. 156 p.
3. Muneshwara, M.S., Swetha, M.S., Anand, R., Pushpa, S.K., Manjunath, T.N. IOT-Based Smart Street Light Control Application for Smart Cities. *Lecture Notes in Networks and Systems*. 2022; 311: 321–333. DOI 10.1007/978-981-16-5529-6_26.
4. Kirsanov V.V., Dovlatov I.M., Komkov I.V., Yurochka S.S. Modern approaches to systems for ensuring air parameters in livestock premises. *Equipment and technologies in animal husbandry*. 2022; 4 (48): 61–71.
5. Diatropov, M.E., Slesarev, S.M., Zenchenko, T.A. Phase Analysis of Ultradian Rhythms of Body Temperature in Laboratory Mice Maintained under Constant Illumination at Different Longitudinal Locations. *Bulletin of Experimental Biology and Medicine*. 2021; 172(1): 72–76. DOI 10.1007/s10517-021-05334-w.
6. Zhang P., Chen Z., Wang F., Jian X., Liu C. Response of Population Canopy Color Gradation Skewed Distribution Parameters of the RGB Model to Micrometeorology Environment in Begonia Fimbristipula Hance. *Atmosphere*. 2022; 13 (6): 890.
7. Gordeev V.V., Khazanov V.E., Erk A.F., Razmuk V.A. Assessment of illumination in cowsheds for a farm of 1200 cows. *Technologies and technical means of mechanized production of crop production and animal husbandry*. 2017; 92: 153–158.
8. Order of the Ministry of Agriculture of the Russian Federation № 622 dated 21.10.2020 «On approval of Veterinary rules for keeping cattle for the purpose of its reproduction, cultivation and sale».
9. Shirokov Y., Tikhnenko V. Technosphere safety as a factor of product cost reduction. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020; 012133.
10. Vysotskaya E.A. Kornev A.S. Polkovnikov E.V. Improving the lighting system of industrial premises of agricultural enterprises through the introduction of energy-saving lamps. *Bulletin of the Voronezh State Agrarian University*. 2018; 1 (56): 137–142.
11. Dovlatov I.M., Yuferev L.Y., Mikaeva S.A., Mikaeva A.S., Zheleznikova O.E. Development and testing of combined germicidal recirculator. *LIGHT & ENGINEERING*. 2021; 29; 3: 43–49. DOI 10.33383/2021-023.
12. Pilytsikova Yu.A. Kovalenko O.Yu., Ovchukova S.A. The effect of combined radiation on young birds. *Bulletin of FGOU VPO MGAU*. 2012; 2: 29–31.
13. OCH APK 2.10.24.001-04 «Standards of lighting of agricultural enterprises, buildings, structures».
14. Proshkin Y. A., Smirnov A. A., Sokolov A.V., Dovlatov I. M., Kachan S. A. Study of thermal modes of operation of SMD-LEDs in phytolamps. *IOP Conference Series-Earth and Environmental Science*. 2021; 624: 012091. DOI 10.1088/1755-1315/624/1/012091.
15. Kondratieva N.P., Filatov D.A., Terentyev P.V., Al-Helyu A.S. Comparative evaluation of the main characteristics of sodium and LED greenhouse irradiators. *Agricultural machines and technologies*. 2020; 14; 1: 50–54.
16. Makarov Ya.A., Kozlov A.V. LED lighting in poultry farming. *World of innovations*. 2020; 2: 3–8.
17. Dovlatov I.M., Yuferev L.Yu., Kirsanov V.V., Pavkin D.Yu., Matveev V.Yu. Automated system for providing microclimate in poultry houses. *Bulletin of the NGIEI*. 2018; 7 (86): 7–18.
18. Aviv Asher, Matan Fialko, Florin Fares, Uzi Moallem, Shama Yaacoby, Roee Gutman. The Effect of Exposing High Yielding Dairy Cows To Short Wavelength LED Illumination During The Night On Fatty Acid Profile. *Research Square*. 2022; 3: 1240395.
19. Sofia Lindkvist, Emma Temman, Sabine Ferneborg, Daniel Bänkestad, Johan Lindqvist, Björn Ekestén, Sigrid Agenäs Effects of achromatic and chromatic lights on pupillary response, endocrinology, activity, and milk production in dairy cows. *PLoS ONE*. 2021; 16 (7): 0253776.
20. A T Chamberlain The use of supplementary lighting in dairy cow housing to increase milk production. *Livestock*. 2018; 23 (3): 2053–0862.
21. Barbara A. Murphy, Mary M. Herlihy, Margaret B. Nolan, Christiane O’Brien, John G. Furlong, Stephen T. Butler Identification of the blue light intensity administered to one eye required to suppress bovine plasma melatonin and investigation into effects on milk production in grazing dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 2021; 104 (11): 12127–12138.
22. Park Jin-Ryong, Belal Shah-Ahmed, Na Chong-Sam, Shim Kwan-Seob Effect of LED Lighting Intensity on Productivity, Blood Parameters and Immune Responses in Dairy Cows. *Korean J. Org. Agric.* 2019; 27 (2): 161–171.
23. Morozov V.V., Sobotkovsky B.E., Sheinman I.L. Methods of processing the results of a physical experiment. SPb., 2004. 64 p.
24. Dovlatov, I.M. Comparison of theoretical and experimental data on the change in the velocity pressure of air inside the recirculator. *Innovations in agriculture*. 2019; 2 (31): 626–632.
25. Dovlatov I.M., Yuferev L.Yu., Kirsanov V.V., Pavkin D.Yu. Methodology for calculating the irradiation of air by a UV source inside the recirculator of an irradiation installation. *Equipment and equipment for the village*. 2019; 12 (270): 27–31.

Статья поступила в редакцию 18.01.2023; одобрена после рецензирования 12.02.2023; принята к публикации 22.02.2023.
The article was submitted 18.01.2023; approved after reviewing 12.02.2023; accepted for publication 22.02.2023.