

Энергосберегающее освещение сельскохозяйственных помещений и расчет его параметров

Леонид Юрьевич Юферов,

доктор технических наук, e-mail: leouf@ya.ru

Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Российская Федерация

Реферат. Отметим, что правильно подобранное освещение животноводческих ферм обеспечивает оптимальную производительность животных и птицы и приносит прибыль предприятию. (*Цель исследования*) Обосновать параметры энергосберегающего освещения сельскохозяйственных помещений и разработать методики его расчета. (*Материалы и методы*) Показали, что в тепличных хозяйствах для освещения чаще всего используют натриевые лампы высокого и низкого давления, однако их спектр лишь частично заменяет естественный спектр. Предположили, что расширение спектра и приближение его к солнечному позволит повысить качество продукции и урожайность. Констатировали, что для освещения животноводческих и птицеводческих помещений традиционно применяются лампы накаливания и люминесцентные лампы, но они не имеют возможности создать систему освещения с функцией «рассвет – закат», а их спектр не соответствует полному диапазону, воспринимаемому животными и птицей. Отметим, что работа светодиодных источников света имеет особенности, из-за которых нельзя применять стандартные методики расчета. Разработали формулы для вычисления освещенности и потока фотонов. (*Результаты и обсуждение*) Привели примеры реализации разработанных нами энергосберегающих систем освещения в птичниках с напольным содержанием, коровниках с привязным содержанием и в экспериментальной фитолaborатории для выращивания рассады. Выявили, что после замены системы освещения на основе ламп ДРЛ-125 на новую, с 36 светодиодными светильниками мощностью по 9 ватт, потребляемая мощность снизилась с 2250 до 336 ватт, средний уровень освещенности увеличился и составил 90 люкс, при этом улучшилась равномерность освещения и цветопередача. Разработали резонансную систему питания светодиодов для создания систем освещения с функцией «рассвет – закат». (*Выводы*) Показали возможность и привели примеры внедрения разработанных нами энергосберегающих регулируемых систем освещения на основе светодиодных источников света.

Ключевые слова: энергосбережение, освещение в сельском хозяйстве, светодиоды, ультрафиолет.

Для цитирования: Юферов Л.Ю. Энергосберегающее освещение сельскохозяйственных помещений и расчет его параметров // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2021. Т. 15. №3. С. 28-34. DOI 10.22314/2073-7599-2021-15-3-28-34.

Energy-Saving Lighting of Agricultural Premises and its Parameters Calculation

Leonid Yu. Yuferev,

Dr.Sc.(Eng.), e-mail: leouf@ya.ru

Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation

Abstract. The properly selected lighting for livestock farms is noted to ensure the optimal productivity of bred animals and poultry and to generate profit for the enterprise. (*Research purpose*) The research purpose is to substantiate the parameters of energy-saving lighting for agricultural premises and to develop methods for its calculation. (*Materials and methods*) It has been shown that greenhouse farms most often use high and low pressure sodium lamps for lighting, but their spectrum only partially substitutes the natural one. It has been assumed that expanding the spectrum and approximating it to the solar one could improve product quality and yield. It has been stated that incandescent and fluorescent lamps are traditionally used to illuminate livestock and poultry premises, but they cannot create a lighting system with a «dawn - sunset» function, and their spectrum does not correspond to the full range perceived by animals and birds. It has been noted that the LED light sources' functioning has such features that make the application of standard calculation methods impossible. We obtained formulas for calculating the light level and flux of photons. (*Results and discussion*) We provided examples of applying the energy-saving lighting systems developed by us in poultry houses with floor housing system, in cowsheds with tethered housing system and in an experimental phyto-laboratory for

growing seedlings. It has been found that after replacing the lighting system based on DRL-125 lamps with a new one, with 36 nine-watt LED lamps, the power consumption decreased from 2,250 to 336 watts, the average light level increased and amounted to 90 lux, while the illumination uniformity and color rendition improved. We have developed a resonant power supply system for LEDs to create lighting systems with a «sunrise - sunset» function. (*Conclusions*) We have shown the possibility and provided examples of using the developed by us energy-saving controlled lighting systems based on LED light sources.

Keywords: energy saving, lighting in agriculture, LEDs, ultraviolet light, vision system

For citation: Yuferev L.Yu. Energosberegayushchee osveshchenie sel'skokhozyaystvennykh pomeshcheniy i raschet ego parametrov [Energy-saving lighting of agricultural premises and its parameters calculation]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2021. Vol. 15. N3. 28-34 (In Russian). DOI 10.22314/2073-7599-2021-15-3-28-34.

Качественное освещение помещений при выращивании сельскохозяйственных животных и растений – важное условие успешного развития агропромышленного комплекса. Потребление электроэнергии в сельхозпроизводстве России составляет 13-16 млрд кВт·ч в год [1]. Значительная часть затрат приходится на освещение. Так, в нашей стране в растениеводстве защищенного грунта установлено более 400 000 ламп и облучателей, которые потребляют около 1 млрд кВт·ч [2].

Известно, что хорошее освещение, включая оптимальное управление светом, имитацию рассвета и заката, может повысить уровень производства на 8-15% [3]. Для содержания коров рекомендуют использовать интенсивность света около 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 [4, 5].

В тепличных хозяйствах изменение спектрального состава, расширение спектра искусственных источников света в область УФ-излучения повышает урожайность и улучшает качественные характеристики продукции. В процессе природного фотосинтеза используется только часть спектра видимого солнечного излучения – волны длиной 380-700 нм. Скорость роста и развития тепличных растений зависит в первую очередь от интенсивности облучения [6, 7], то есть от величины световой энергии, приходящейся на единицу облучаемой поверхности, а следовательно, и от количества и мощности используемых тепличных светильников. Наиболее близки к солнечному свету по спектральному составу металлогалогенные лампы высокого давления, содержащие ртуть, но они имеют фиксированный спектр и не очень большой срок службы.

Для искусственного освещения растений широкое распространение получили следующие лампы: ДРЛФ 400 с КПД в области ФАР, равным 12%, ДРФ 1000 – 18-20%, ДНАТ 400 – 25-26%, ДРИ 1000-6 и ДРИ 2000-6 – 27-28%, ДКСТЛ 10000 – 10-12%. При этом на желто-зеленую часть спектра у таких ламп приходится 45-62% от общего светового излучения. Примерно 35% от потребляемой мощности составляет излуче-

ние в ИК-диапазоне 700-1200 нм, которое вызывает повышенный расход воды [8-10].

Для освещения животноводческих и птицеводческих помещений применяют лампы накаливания и люминесцентные лампы, имеющие и светоотдачу 8-16 лм/Вт и срок службы до 1000 ч, а также ртутные лампы высокого и низкого давления со светоотдачей 40-60 лм/Вт и сроком службы до 12000 ч. Внедрение системы плавного включения люминесцентных ламп (диммирования) удорожает систему освещения [11].

Применение последних научных достижений повышает эффективность сельскохозяйственной светотехники. Наиболее экономичным и эффективным источником света для животноводческих и птицеводческих помещений могут стать светодиодные светильники [12, 13]. По светоотдаче они в 10 раз превышают лампы накаливания и в 3 раза – люминесцентные. Спектр излучения светодиодов не зависит от уровня освещенности, а стоимость не превышает 0,1 руб. за 1 лм. Это позволяет создавать энергоэкономичное освещение с небольшим сроком окупаемости.

Цель исследования – обосновать параметры энергосберегающего освещения сельскохозяйственных помещений и разработать методику его расчета.

Материалы и методы. Для создания систем освещения применяли светодиоды мощностью 0,5-100 Вт. Их сравнивали с лампами ДРЛ мощностью 125 Вт, ЛБ, ЛД мощностью 30 Вт и лампами ДНАЗ мощностью 400 Вт.

Современные светодиоды перекрывают весь видимый диапазон оптического спектра – от красного до фиолетового цвета. Диапазон длин волн излучения светодиодов в красной области спектра составляет 620-680 нм, в оранжевой – 610-620 нм, в желтой – 585-595 нм, в зеленой – 520-535 нм, в голубой – 465-475 нм, в синей – 450-465 нм и в ультрафиолетовой 370-400 нм (Айзенберг Ю.Ф., 2006). Изменяя ток для разных светодиодов, можно получать различные по составу и интенсивности спектры излучения и таким образом подбирать спектр светильника в зависимости от конкретного этапа развития растения [14-16].

Требования растений к оптимальному сочетанию спектральных и энергетических характеристик светового режима специфичны. Например, наилучшее

содержание синего, зеленого и красного для томата составляет 15, 17 и 68%, для огурца – 17, 40 и 43%, для салата – 45, 20 и 35%, для редиса – 34, 33 и 33%, для пшеницы – 25% синего и 75% красного, для большинства остальных сельскохозяйственных растений 25-30% в синей области, 20% в зеленой и 50% в красной [17].

В условиях защищенного грунта для нормально-го развития растений необходим определенный диапазон значений интенсивности светового потока. Минимальный для роста растений уровень интенсивности светового потока фотосинтетически активной радиации – 2-8 Вт/м² ФАР (500-2000 лк). Минимальные среднедневные уровни интенсивности светового потока, при которых растения могут нормально развиваться, цвести и плодоносить, – 20 Вт/м² ФАР (5000 лк). При выгонке рассады – 50-60 Вт/м² ФАР. Для формирования хозяйственно полезного урожая – 100-200 Вт/м² ФАР. При мощности выше 200 Вт/м² происходит насыщение, растения желтеют и отмирают.

Согласно разработкам Института Гипронисель-пром, оптимальная норма облученности в теплице для выращивания рассады овощей – 20 Вт/м² ФАР с фотопериодом 14 ч, для выращивания на продукцию – 100 Вт/м² с фотопериодом 16 ч. Для светокультуры растений необходима освещенность 12-20 клк, или 30-50 Вт/м² ФАР.

Для оценки интенсивности светового потока наибольшее распространение получил метод измерения освещенности люксметром с пересчетом поправочными коэффициентами в интенсивность ФАР. Из литературных источников известны следующие переводные коэффициенты: 10 клк для прямого солнечного света равны 38,8-40,2 Вт/м² ФАР, для рассеянного излучения – 46 Вт/м² ФАР. В металлогалогенных лампах 10 клк = 30,5 Вт/м² ФАР, в натриевых ламп высокого давления (в том числе ДнаЗ) – 24,5 Вт/м² ФАР; 1 Вт ФАР имеет средний поток фотонов 4,6 мкмоль/м²/с [2].

Количественно ФАР оценивают по 2 показателям: плотности потока (интенсивности) радиации – потоку лучистой энергии ФАР, проходящему в единицу времени и единицу поверхности, Вт/м² или мкмоль/м²/с, и дозе радиации, поступающей за время действия облучения, Дж/см² [18].

Для расчета потока фотонов от светодиодных облучателей мы разработали формулу [19]:

$$N = \sum_{i=1}^n \frac{F_i \cdot \lambda_i \cdot P_{сд_i}}{h \cdot c \cdot V_i \cdot N_a}, \quad (1)$$

где N – поток фотонов, моль/с;

$I = 1 \dots n$ – светодиод с определенной длиной волны;

F_i – светотдача светодиода, лм/Вт;

λ_i – длина волны светодиода, нм;

$P_{сд}$ – мощность светодиода, Вт;

h – постоянная Планка ($6,63 \cdot 10^{-34}$ Дж·с);

c – скорость света ($3 \cdot 10^8$ м/с);

V – коэффициент пересчета, $V = 250,3 + 336 \times \cos(5,17 - 8,19 \cdot \lambda) - 92,99 \cdot \sin(0,0585 + 306 \cdot \lambda)$;

N_a – число Авогадро, $N_a = 6,022 \cdot 10^{23}$ моль⁻¹.

Для общего и местного освещения помещений следует использовать светодиоды с цветовой температурой 2400-6800 К. Интенсивность ультрафиолетового излучения в диапазоне длин волн 320-400 нм не должна превышать 0,03 Вт/м². Наличие в спектре излучения длин волн менее 320 нм не допускается. В то же время для освещения животноводческих и птицеводческих помещений спектральный состав источников света может быть другим. Так, у птицы четырехцветная система зрения, и в источниках света для комфортного восприятия пищи необходимо добавлять ультрафиолетовое излучение диапазона УФА (рис. 1) [20]. У коров дихроматическая система зрения, в которой присутствуют пигменты только 445 и 508, поэтому можно применять источники света холодного спектра с низким содержанием красного [21].

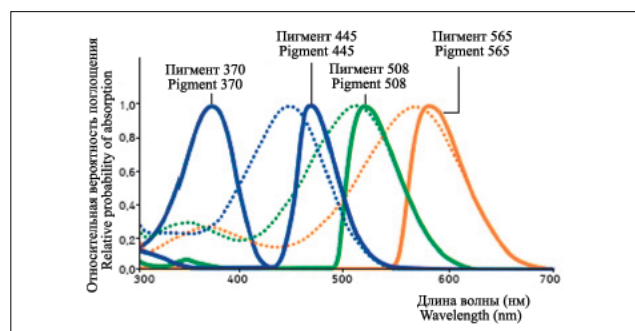


Рис. 1. Спектральная чувствительность системы зрения птицы и человека (пунктирно)

Fig. 1. Spectral sensitivity of the bird and human vision systems (dotted line)

При проектировании систем освещения основным параметром служит нормированная освещенность E_H . Ее определяют в зависимости от размеров объектов помещения, контраста объекта и фона, характеристики фона и других условий. В России главным документом, устанавливающим параметры освещения, считаются Строительные нормы и правила СНиП 23-05-95. Кроме этих норм, существуют Санитарные правила и нормы СанПиН 2.21/2.1.1.1278-03, Московские городские строительные нормы МГСН 2.06-99 и множество отраслевых норм, например СНиП 11-4-79 (таблица).

Для расчета освещенности под светодиодным светильником нельзя использовать традиционные методики из-за погрешности, поскольку они обычно имеют направленную кривую светораспределения. Мы разработали формулу для расчета освещенности под светодиодным светильником, дающим определенную длину светящейся линии, расположенным на опреде-

Нормируемые значения освещенности STANDARDIZED ILLUMINATION VALUES			
Помещение, участок, оборудование Premises, plot, equipment	Освещенность, лк / Illumination, lx		Биологически необходимая освещенность, лк Biologically required lighting, lux
	при газоразрядной лампе with gas discharge lamp	при лампе накаливания with incandescent lamp	
Помещения для содержания животных и молодняка (коров, лошадей, свиней, овец, кур) Premises for keeping animals and young animals (cows, horses, pigs, sheep, chickens)	75	35	75
Коровники с доением в стойлах Cowsheds with milking in stalls	100	100	75
Доильный зал / Milking parlor	200	150	150
Родильное отделение / Maternity ward	200	150	150
Телятники / Calves	100	50	100
Помещение для стрижки овец / Sheep shearing room	200	150	150
Участок для обработки и смешивания кормов Area for feed processing and mixing	150	100	50
Участок клеточного содержания кур Chicken cage area	100	50	30
Проходы и соединительные коридоры теплиц Greenhouse passages and connecting corridors	75	30	30
Участок проращивания семян / Seed germination area	75	30	1000
Камеры хранения картофеля и фруктов Storage rooms for potatoes and fruits	75	20	20
Классные комнаты, аудитории и лаборатории Classrooms, auditoriums and laboratories	300	–	500 (на доске) (on the desk)
Кабинеты технического черчения / Technical drawing rooms	500	–	–
Диспетчерская / Control room	100	50	–
Мастерская / Workshop	150	100	–
Гаражи / Garages	100	50	–
Жилые комнаты / Living rooms	–	100	–
Улицы сельских населенных пунктов / Rural settlements Streets	4	–	–

ленной высоте, при смещении от проекции с учетом телесного угла светильника в точке A (рис. 2) [2]:

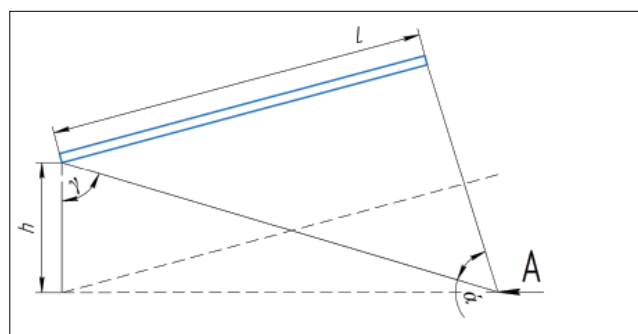


Рис. 2. Расположение освещаемой точки под светодиодным светильником: A – точка наблюдения; L – длина светильника; h – высота подвеса; α – угол наблюдения светильника; γ – угол смещения по горизонтали

Fig. 2. The location of the illuminated point under the LED lamp: A – observation point; L – lamp length; h – suspension height; α – light observation angle; γ – horizontal displacement angle

$$E_A = \frac{\Phi \cdot \pi \cdot [1 - \cos(\Omega/2)]}{L \cdot 2 \cdot h} \times \left(\sin \alpha + \frac{\sin 2\alpha}{2} \right) \cdot \left[\cos \left(\gamma \cdot \frac{\Omega}{120} \right) \right], \quad (2)$$

где E_A – освещенность, лк;
 Ω – телесный угол свечения источника света, град.;
 L – длина светящейся линии светильника, м;
 h – высота подвеса, м;
 α – угол наблюдения светильника, град.;
 γ – угол смещения по горизонтали, град.;
 Φ – световой поток светильника, лм.

Результаты и обсуждение. Разработанные нами энергосберегающие системы освещения реализованы в птичниках с напольным содержанием, коровниках с привязным содержанием животных и в экспериментальной фитолaborатории для выращивания рассады.

В частности, для освещения коровника на 200 гол. и телятника на 150 гол. установили светодиодные све-

тильники мощностью по 9 Вт, со световым потоком 890 лм и цветовой температурой 6500 К, а в спектре большое содержание синего и зеленого спектра. Высота установки светильников – 2,6 м (рис. 3).

В телятнике размером 45×21 м после замены системы освещения на основе ламп ДРЛ-125 на новую, с 36 светодиодными светильниками мощностью по 9 Вт, потребляемая мощность снизилась с 2250 до 336 Вт, средний уровень освещенности увеличился и составил 90 лк, при этом улучшилась равномерность освещения и цветопередача.



Рис. 3. Сравнение систем освещения коровника на основе ламп ДРЛ-125 общей мощностью 2250 Вт и со светодиодными светильниками общей мощностью 336 Вт

Fig. 3. The comparison of cowshed lighting systems based on DRL-125 lamps with the total power of 2250 W and with LED lamps with the total power of 336 W

Для освещения рассады мы изготовили светильники на основе широкополосных светодиодов мощностью 100 Вт (рис. 4). При сравнении разработанных светильников мощностью по 300 Вт с традиционными тепличными лампами ДНАЗ мощностью 400 Вт отметили, что рассада выглядела более плотной и менее вытянутой (рис. 5).

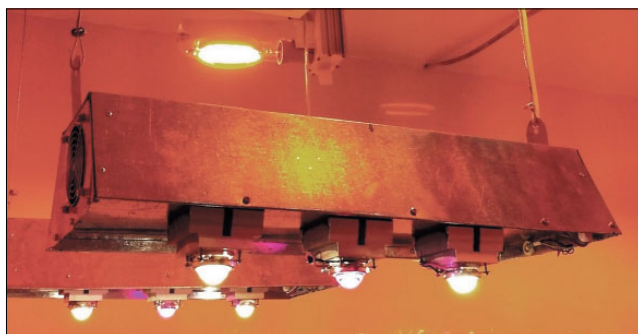


Рис. 4. Внешний вид светодиодных облучателей мощностью по 300 Вт

Fig. 4. The appearance of 300 W LED illuminators

При конструировании систем освещения животноводческих и птицеводческих помещений на основе светодиодов для электробезопасности по всей длине здания (75-300 м) проходят линии постоянного тока напряжением 24 В и линии управления освещенностью. Для уменьшения потерь напряжения приходится применять кабели с большим сечением – до



Рис. 5. Рассада, выращенная под натриевыми лампами (слева) и под новыми облучателями (справа)

Fig. 5. Seedlings grown under sodium lamps (left) and under new irradiators (right)

25 мм². Эксплуатация данных систем показывает, что, несмотря на все усилия, принимаемые проектировщиками, имеется существенное отличие в светоотдаче первых и наиболее удаленных от источника питания светильников [23]. Решением проблемы стала установка источников питания (драйверов) через каждые 5-15 м, в каждом светильнике, или прокладка проводов большого сечения [24]. В связи с этим возникает необходимость поиска другой системы питания с возможностью плавного регулирования освещения. Мы разработали резонансную систему питания светодиодных светильников (рис. 6) [9].

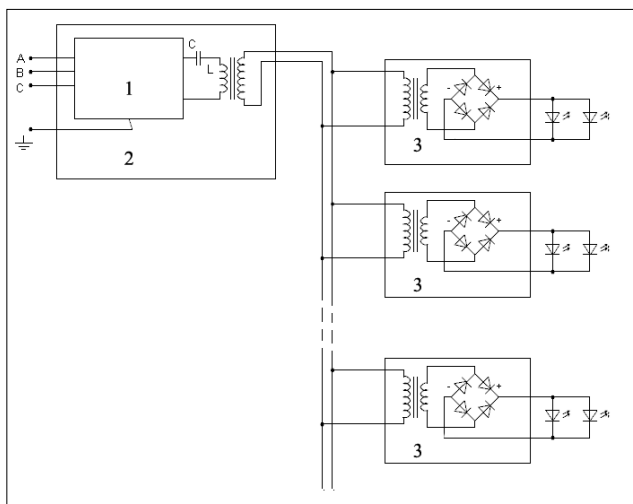


Рис. 6. Резонансная система электропитания светодиодных светильников: 1 – преобразователь частоты; 2 – передающий преобразователь; 3 – приемный преобразователь

Fig. 6. Resonant power supply system for LED lamps: 1 – frequency converter; 2 – transmitting converter; 3 – receiving converter

В данной схеме на все помещение необходимо будет установить только один передающий преобразователь напряжения [24]. В самих светильниках потребуется установка только приемного преобразователя, состоящего из малогабаритного высокочастотного трансформатора и выпрямителя. Это существенно снизит их стоимость и повысит надежность. Электропитание светодиодных светильников от резонансной системы электроснабжения позволяет упростить систему управления уровнем освещения. Для этого

нужно будет только плавно регулировать частоту преобразователя. Таким образом можно реализовать функцию освещения «рассвет – закат».

Электробезопасность как для животных, так и для обслуживающего персонала улучшается, поскольку в схеме задействованы разделительные трансформаторы и напряжение в проводах имеет повышенную частоту.

Выводы. Показали возможность внедрения разработанных нами энергосберегающих регулируемых

систем освещения на основе светодиодных источников света.

Новые системы освещения растений имеют спектр, максимально приближенный к естественному солнечному свету, а также соответствуют цветовому восприятию животных и птицы.

Разработанная нами резонансная система питания светодиодных источников света позволяет реализовать функцию освещения «рассвет – закат».

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Переверзев И.А., Султанов Г.А. Характеристика основных объектов электропотребления в сельскохозяйственном производстве // *Новые технологии*. 2013. N3. С. 78-85.
2. Юферев Л.Ю., Алферова Л.К. Светотехника в сельском хозяйстве. М.: ВИМ. 2016. 156 с.
3. Филатов Д.А., Терентьев П.В., Авдеева Е.А., Плаксин М.А. Энергоэффективное освещение в молочном скотоводстве // *Вестник Нижегородской государственной сельскохозяйственной академии*. 2018. N4 (20). С. 50-57.
4. Пильщикова Ю.А., Коваленко О.Ю., Овчукова С.А. Влияние комбинированного излучения на молодняк птицы // *Вестник ФГОУ ВПО МГАУ*. 2012. N2. С. 29-31.
5. Шувалова Л.А., Широбокова Т.А., Кудрин М.Р., Иксанов И.И. Влияние видимого спектра искусственного излучения на продуктивность дойных коров // *Известия Горского государственного аграрного университета*. 2017. Т. 54. N2. С. 111-116.
6. Тертышная Ю.В., Левина Н.С. Влияние спектрального состава света на развитие сельскохозяйственных культур // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2016. Т. 10. N5. С. 24-29.
7. 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. N1. С. 50-54.
8. Вассерман А.Л., Квашин Г.Н., Малышев В.В. Об оценке эффективности действия источников излучения на растения // *Светотехника*. 1986. N7. С. 14-16.
9. Lee M.J., Seo H.S., Min S.Y., et al. Effects of supplemental lighting with high-pressure sodium or plasma lamps on quality and yield of cut roses. *Horticultural Science and Technology*. 2021. N39(1). 49-61.
10. Wan Y., Wu Y., Zhang M., Hong A., Liu Y. Effects of photoperiod extension via red-blue light-emitting diodes and high-pressure sodium lamps on the growth and photosynthetic characteristics in *Paeonia lactiflora*. *Acta Physiologiae Plantarum*. 2020. N42(12). 174.
11. Кавтарашвили А.Ш., Новоторов Е.Н., Гладин Д., Колокольникова Т.Н. Светодиодное освещение при содержании родительского стада // *Птицеводство*. 2012. N5. С. 15-17.
12. Светодиоды и их применение для освещения. Под общ. ред. Ю.Б. Айзенберга. М.: Знак. 2012. 280 с.
13. Кавтарашвили А.Ш., Новоторов Е. Новый способ светодиодного освещения // *Животноводство России*. 2011. N7. С. 15-16.
14. Сарычев Г. Светодиоды и интенсивная светокультура растений // *Полупроводниковая светотехника*. 2018. N4 (54). С. 45-47.
15. Proshkin Y., Semenova N., Smirnov A., Chilingaryan N. The LED phyto lighting for improving the environmental friendliness of growing and productivity of lettuce varieties with red and green leaves. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2020. N578(1). 012013.
16. Kowalczyk K., Olewnicki D., Mirgos M., Gajc-Wolska J. Comparison of selected costs in greenhouse cucumber production with LED and HPS supplemental assimilation lighting. *Agronomy*. 2020. N10(9). 10091342.
17. Тихомиров А.А., Шарупич В.П., Лисовский Г.М. Светокультура растений: биофизические и биотехнологические основы. Новосибирск: Изд. Сиб. отд. РАН. 2000. 213 с.
18. Yuferev L., Sokolov A. Energy-Efficient Lighting System for Greenhouse Plants. Handbook of Research on Renewable Energy and Electric Resources for Sustainable Rural Development. 2018. 204-229.
19. Соколов А.В., Юферев Л.Ю. Универсальная широкополосная система освещения с варьируемым спектром для теплиц // *Инновации в сельском хозяйстве*. N1(1). 2012. С. 10-14.
20. Юферев Л.Ю., Алферова Л.К. Ультрафиолетовые светодиоды для стимулирования продуктивности животных и птицы // *Техника в сельском хозяйстве*. 2009. N4. С. 15-16.
21. Тихонова Г.Н., Феоктистова Н.Ю. Кто как видит: зрительный анализатор: от одноклеточных до человека. М.: Чистые пруды. 2006. 32 с.
22. Стребков Д.С., Юферев Л.Ю., Александров Д.В., Соколов А.В. Повышение эффективности систем освещения и облучения // *Механизация и электрификация сельского хозяйства*. 2014. N1. С. 13-16.
23. Юферев Л.Ю., Стребков Д.С., Рошин О.А. Экспериментальные модели резонансных систем электрической энергии. М.: ВИЭСХ. 2010. 218 с.

REFERENCES

1. Pereverzev I.A., Sultanov G.A. Kharakteristika osnovnykh obektov elektropotrebleniya v sel'skokhozyaystvennom proizvodstve [Characteristics of main objects of electricity consumption in agricultural production]. *Novye tekhnologii*. 2013. N3. 78-85 (In Russian).
2. Yuferev L.Yu., Alferova L.K. Svetotekhnika v sel'skom khozyaystve [Lighting technology in agriculture]. Moscow: VIM. 2016. 156 (In Russian).
3. Filatov D.A., Terent'ev P.V., Avdeeva E.A., Plaksin M.A. Energoeffektivnoe osveshchenie v molochnom skotovodstve [Energy efficient lighting in dairy farming]. *Vestnik Nizhegorodskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii*. 2018. N4(20). 50-57 (In Russian).
4. Pil'shchikova Yu.A., Kovalenko O.Yu., Ovchukova S.A. Vliyaniye kombinirovannogo izlucheniya na molodnyak ptitsy [Effect of the combined radiation on young birds]. *Vestnik FGOU VPO MGAU*. 2012. N2. 29-31 (In Russian).
5. Shuvalova L.A., Shirobokova T.A., Kudrin M.R., Iksanov I.I. Vliyaniye vidimogo spektra iskusstvennogo izlucheniya na produktivnost' doynykh korov [The influence of the visible spectrum in artificial radiation on dairy cows' productivity]. *Izvestiya Gorskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2017. Vol. 54. N2. 111-116 (In Russian).
6. Tertyshnaya Yu.V., Levina N.S. Vliyaniye spektral'nogo sostava sveta na razvitiye sel'skokhozyaystvennykh kul'tur [Effect of light spectrum on crops growth]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2016. Vol. 10. N5. 24-29 (In Russian).
7. Kondrat'eva N.P., Filatov D.A., Terent'ev P.V., Al'-Helyu A.S. Sravnitel'naya otsenka osnovnykh kharakteristik natrievykh i svetodiodnykh teplichnykh obluchateley [Comparative assessment of sodium and led greenhouse irradiators main characteristics]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2020. Vol. 14. N1. 50-54 (In Russian).
8. Vasserman A.L., Kvashin G.N., Malyshev V.V. Ob otsenke effektivnosti deystviya istochnikov izlucheniya na rasteniya [On the assessment of the radiation source action effectiveness for plants]. *Svetotekhnika*. 1986. N7. 14-16 (In Russian).
9. Lee M.J., Seo H.S., Min S.Y., et al. Effects of supplemental lighting with high-pressure sodium or plasma lamps on quality and yield of cut roses. *Horticultural Science and Technology*. 2021. N39(1). 49-61 (In English).
10. Wan Y., Wu Y., Zhang M., Hong A., Liu Y. Effects of photoperiod extension via red-blue light-emitting diodes and high-pressure sodium lamps on the growth and photosynthetic characteristics in *Paeonia lactiflora*. *Acta Physiologiae Plantarum*. 2020. N42(12). 174 (In English).
11. Kavtarashvili A.Sh., Novotorov E.N., Gladin D., Kolokol'nikova T.N. Svetodiodnoe osveshchenie pri soderzhanii roditel'skogo stada [Led lighting for parental stock in chicken]. *Ptitsevodstvo*. 2012. N5. 15-17 (In Russian).
12. Svetodiody i ikh primeneniye dlya osveshcheniya [LEDs and their application for lighting]. Pod obshch. red. Yu.B. Ayzemberga. Moscow: Znack. 2012. 280 (In Russian).
13. Kavtarashvili A.Sh., Novotorov E. Novyy sposob svetodiodnogo osveshcheniya [New type of LED illumination]. *Zhivotnovodstvo Rossii*. 2011. N7. 15-16 (In Russian).
14. Sarychev G. Svetodiody i intensivnaya svetokul'tura rasteniy [LEDs and intensive photoculture of plants]. *Poluprovodnikovaya svetotekhnika*. 2018. N4(54). 45-47 (In Russian).
15. Proshkin Y., Semenova N., Smirnov A., Chilingaryan N. The LED phyto lighting for improving the environmental friendliness of growing and productivity of lettuce varieties with red and green leaves. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2020. N578(1). 012013 (In English).
16. Kowalczyk K., Olewnicki D., Mirgos M., Gajc-Wolska J. Comparison of selected costs in greenhouse cucumber production with LED and HPS supplemental assimilation lighting. *Agronomy*. 2020. N10(9). 10091342 (In English).
17. Tikhomirov A.A., Sharupich V.P., Lisovskiy G.M. Svetokul'tura rasteniy: biofizicheskie i biotekhnologicheskie osnovy [Plant photoculture: biophysical and biotechnological foundations]. Novosibirsk: Izd. Sib. otd. RAN. 2000. 213 (In Russian).
18. Yuferev L., Sokolov A. Energy-Efficient Lighting System for Greenhouse Plants. Handbook of Research on Renewable Energy and Electric Resources for Sustainable Rural Development. 2018. 204-229 (In English).
19. Sokolov A.V., Yuferev L.Yu. Universal'naya shirokopolosnaya sistema osveshcheniya s var'iruемым spektrom dlya teplits [Versatile broadband variable spectrum lighting system for greenhouses]. *Innovatsii v sel'skom khozyaystve*. N1(1). 2012. 10-14 (In Russian).
20. Yuferev L.Yu., Alferova L.K. Ul'trafiolotovye svetodiody dlya stimulirovaniya produktivnosti zhivotnykh i ptitsy [Ultraviolet LEDs for stimulating the productivity of animals and poultry]. *Tekhnika v sel'skom khozyaystve*. 2009. N4. 15-16 (In Russian).
21. Tikhonova G.N., Feoktistova N.Yu. Kto kak vidit: zritel'nyy analizator: ot odnokletochnykh do cheloveka [The way they see: the visual analyzer: from unicellular organisms to human]. Moscow: Chistye prudy. 2006. 32 (In Russian).
22. Strebkov D.S., Yuferev L.Yu., Aleksandrov D.V., Sokolov A.V. Povysheniye effektivnosti sistem osveshcheniya i oblucheniya [Improving the efficiency of lighting and irradiation systems]. *Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya sel'skogo khozyaystva*. 2014. N1. 13-16 (In Russian).
23. Yuferev L.Yu., Strebkov D.S., Roshchin O.A. Eksperimental'nye modeli rezonansnykh sistem elektricheskoy energii [Experimental models of resonant power supply systems]. Moscow: VIESH. 2010. 218 (In Russian).

Конфликт интересов.

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.
Автор прочитал и одобрил окончательный вариант.

Conflict of interest.

The author declares no conflict of interest.
The author read and approved the final manuscript.

Статья поступила в редакцию
Статья принята к публикации

The paper was submitted to the Editorial Office on
The paper was accepted for publication on

05.04.2021
22.09.2021