

Применение энергосберегающего ультрафиолетового электрооборудования в сельском хозяйстве

Леонид Юрьевич Юферов,

доктор технических наук,

главный научный сотрудник, заведующий отделом,

e-mail: leouf@ya.ru

Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Российская Федерация

Реферат. Отметим, что оптическое излучение ультрафиолетового (УФ) диапазона имеет важную роль в сельскохозяйственном производстве, в частности, его недостаток ухудшает продуктивность животных. *(Цель исследования)* Обосновать параметры энергосберегающего сельскохозяйственного электрооборудования, работающего в УФ-диапазоне. *(Материалы и методы)* Показали возможность создания универсального терапевтического облучателя на светодиодах с длиной волны 310 нанометров. Привели методики расчета. Обосновали параметры УФ-установок для обеззараживания помещений. Выявили, что УФ-излучение повышает скорость полимеризации лакокрасочных покрытий, в том числе энергосберегающих оптических ловушек для насекомых. *(Результаты и обсуждение)* Привели примеры реализации разработанных нами энергосберегающих систем терапевтического облучения животных. Отметим сокращение расхода электроэнергии в 13 раз вследствие замены люминесцентных ламп ЛЭ-30 на светодиоды. Выявили, что применение бактерицидных облучателей в птицеводческих помещениях уменьшает не только концентрацию микроорганизмов, но и содержание углекислого газа и аммиака. Разработали облучатели фотохимической полимеризации лакокрасочных покрытий, сокращающие время затвердевания в 2 раза. Создали оптические ловушки для насекомых на основе светодиодов с длиной волны 385 нанометров и определили наилучшую частоту пульсаций источника света – 100 герц. *(Выводы)* Разработали оборудование и обосновали параметры облучателей, работающих в диапазоне 254-390 нанометров для различных применений в сельском хозяйстве.

Ключевые слова: облучение в сельском хозяйстве, светодиоды, ультрафиолетовое электрооборудование, энергосбережение, фотохимическая полимеризация лакокрасочных покрытий.

Для цитирования: Юферов Л.Ю. Применение энергосберегающего ультрафиолетового электрооборудования в сельском хозяйстве // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2022. Т. 16. №2. С. 69-75. DOI 10.22314/2073-7599-2022-16-2-69-75. EDN DAVQRG.

The Use of Energy-Saving Ultraviolet Electrical Equipment in Agriculture

Leonid Yu. Yuferev,

Dr.Sc.(Eng.), chief researcher,

head of department, e-mail: leouf@ya.ru

Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation

Abstract. It was noted that the optical radiation in the ultraviolet (UV) range plays an important role in agricultural production, and a lack of it leads to the deterioration of animal productivity. *(Research purpose)* The study aims to substantiate the parameters of energy-saving agricultural electrical equipment operating in the ultraviolet range. *(Materials and methods)* The study shows that it is possible to create a universal therapeutic irradiator based on LEDs with a wavelength of 310 nanometers. The calculation methods are given. The parameters of UV devices for premises disinfection are substantiated. It has been found out that UV radiation increases the polymerization rate of paint coatings and facilitates the creation of energy-saving optical insect traps. *(Results and discussion)* The paper provides some examples of own-developed energy-saving systems and their use for the therapeutic irradiation of animals. The replacement of LE-30 fluorescent lamps with LEDs has resulted in a 13-fold reduction in electricity consumption. It has been found out that the use of bactericidal irradiators in poultry houses reduces not only the concentration of microorganisms but also the content of carbon dioxide and ammonia. The use of own-developed irradiators for photochemical polymerization of paint coatings reduces the curing time by 2 times. Optical insect traps have been created based on

LEDs with a wavelength of 385 nanometers and the best pulsation frequency of the light source has been determined at 100 hertz. (Conclusions) The equipment has been developed and the parameters for irradiators operating in the range of 254-390 nanometers were substantiated for a variety of their applications in agriculture.

Keywords: irradiation in agriculture, LEDs, ultraviolet electrical equipment, energy saving, photochemical polymerization of paint coatings.

For citation: Yuferev L.Yu. Primenenie energosberegayushchego ul'trafiolotovogo elektrooborudovaniya v sel'skom hozyaystve [The use of energy-saving ultraviolet electrical equipment in agriculture]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2022. Vol.16. N2. 69-75 (In Russian). DOI 10.22314/2073-7599-2022-16-2-69-75. EDN DAVQRG.

Одно из условий обеспечения высокой продуктивности животных и птицы – предупреждение возникновения инфекционных болезней животных, особенно респираторных. В случае возникновения инфекции существует реальная угроза массового перезаражения поголовья, что наносит огромный экономический ущерб хозяйствам в результате гибели или снижения продуктивности животных [1, 2].

В этой связи первостепенной ветеринарно-санитарной задачей стало снижение концентрации микроорганизмов и пыли в воздухе внутри животноводческих помещений, а также предупреждение проникновения в помещения возбудителей инфекций по вентиляционным каналам.

В промышленных комплексах животные находятся круглый год в закрытых помещениях. Поэтому важно обеспечить их необходимым количеством витаминов, в частности витамином D [3]. Профилактическое УФ-облучение с этой целью рекомендовано для всех видов сельскохозяйственных и птицы.

Терапевтическое и тонизирующее (эритемное – 297 нм, витаминообразующее – 280 нм, пигментирующее – 340 нм) действие активизирует биохимические и обменные процессы организма, повышает уровень окислительно-восстановительных реакций, улучшает устойчивость к заболеваниям и обеспечивает лучшую сохранность и продуктивность [4, 5].

Инфекционные заболевания вызываются как правило ассоциацией ряда патогенных возбудителей. При этом средства специфической профилактики оказываются мало эффективными в краткосрочной перспективе, а средства химиотерапии, даже в форме аэрозолей, не могут быть применены по причине их высокой токсичности при перманентном распылении. Возбудители респираторных болезней распространяются главным образом через воздух [6, 7].

Наибольшее распространение для электрофизического обеззараживания воздуха и поверхностей получили бактерицидные лампы низкого давления с повышенной удельной мощностью. Коротковолновое УФ-излучение, имеющее большую энергию квантов, воздействуя на бактерии, приводит к коагуляции содержащихся в них белковых веществ и гибели патогенов [8, 9]. Совпадение спектра действия УФ-лучей

для подавления синтеза ДНК, РНК и белка со спектром поглощения нуклеиновых кислот дает основание допустить возможность одновременного повреждения ДНК и РНК. На основе известных данных составлен обобщенный спектр поглощения (рис. 1).

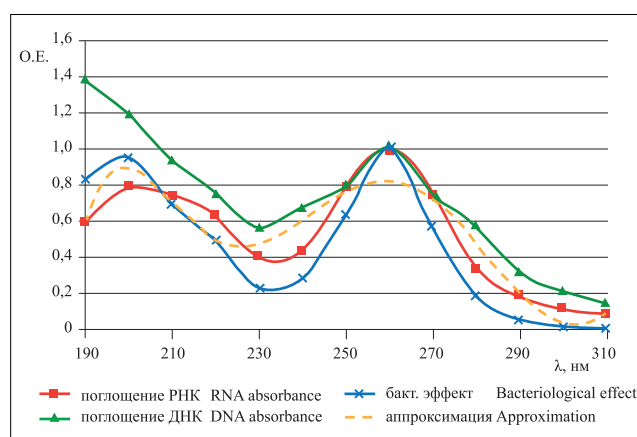


Рис. 1. Спектр поглощения РНК и ДНК (в относительных единицах) в зависимости от длины волны

Fig. 1. RNA and DNA absorbance spectrum (in relative units) depending on the wavelength

Одна из самых динамично развивающихся областей лакокрасочной промышленности – УФ-отверждение [10, 11]. Расширяется применение энергоэффективных излучателей совместно с экологичными и высокоэффективными лакокрасочными системами, поскольку потребляемая энергия невелика и отверждение происходит при комнатной температуре.

В помещениях можно уничтожать кровососущих насекомых при помощи оптического излучения и высокого напряжения.

Цель исследования – обосновать параметры энергосберегающего сельскохозяйственного электрооборудования, работающего в ультрафиолетовом диапазоне.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ. Мы разработали энергосберегающие ультрафиолетовые электроприборы для терапевтического облучения животных, обеззараживания помещений, УФ-полимеризации и уничтожения насекомых. Для изготовления приборов применяли светодиоды мощностью 0,5-10 Вт. Сравнили их с лампами ДРТ мощностью 125 Вт, ЛЭ-30.

Для изготовления приборов для обеззараживания помещений использовали бактерицидные лампы мощностью 8-100 Вт.

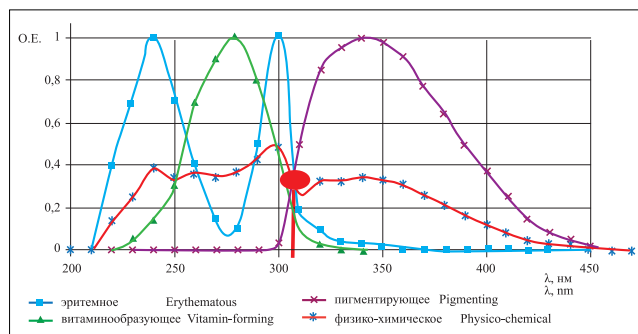


Рис. 2. Спектр терапевтического УФ-действия
Fig. 2. The spectrum of UV therapeutic effect

Появление УФ-светодиодов открывает новые перспективы в создании технических средств и способов УФ-облучения животных и птицы [12]. Универсальным терапевтическим оптическим прибором может стать светодиодный облучатель с длиной волны 310 нм (рис. 2) [1].

Известные рекомендуемые дозы эритемного облучения (290-305 нм) для большинства сельскохозяйственных животных составляют $D_x = 500-900 \text{ Вт} \cdot \text{с}/\text{м}^2$, для птицы – $75-150 \text{ Вт} \cdot \text{с}/\text{м}^2$. Воздействие на животных излучением 260-290 нм пока изучено мало, имеются только ориентировочные дозы $80-150 \text{ Вт} \cdot \text{с}/\text{м}^2$ при облученности до $0,135 \text{ Вт}/\text{м}^2$. При увеличении облученности в этом диапазоне в организме вырабатывается токсичный тахистерин.

Время облучения животных вычисляют по формуле:

$$t = D_x / E_t, \quad (1)$$

где t – время облучения, с;

D_x – доза облучения, $\text{Вт} \cdot \text{с}/\text{м}^2$;

E_t – облученность, $\text{Вт}/\text{м}^2$.

Облученность рассчитывается методом коэффициента использования:

$$E_t = \frac{\Phi_t \cdot N \cdot \eta_{\text{oy}}}{S \cdot z}, \quad (2)$$

где Φ_t – излучение, Вт;

N – число облучателей;

η_{oy} – коэффициент использования потока излучения в долях единицы;

S – облучаемая площадь (площадь расчетной поверхности), м^2 ;

z – отношение $e_{\text{ср}}/e_{\text{мин}}$.

Бактерицидное воздействие УФ-излучения – распространенный метод обработки воздуха и поверхностей.

Основная величина, характеризующая мощность бактерицидного УФ-излучения – бактерицидный

поток, значение которого определяется выражением:

$$\Phi_{\text{БК}} = \sum_{240}^{280} \Phi_{\text{е}}(\lambda) S(\lambda) \Delta\lambda, \quad (3)$$

где $\Phi_{\text{БК}}$ – бактерицидный поток, Вт;

240...280 – диапазон длин волн бактерицидного излучения, нм;

$\Phi_{\text{е}}(\lambda)$ – значение спектральной плотности потока излучения, $\text{Вт}/\text{нм}$;

$S(\lambda)$ – значение относительной спектральной бактерицидной эффективности;

λ – ширина участка спектра спектральной плотности потока излучения, нм.

Если положить, что облучение оптического источника продолжалось от начала отсчета времени до момента t , то к концу облучения относительная численность бактерий будет [1]:

$$\frac{N_t}{N_0} = e^{-kt(E_{4\pi})_{\text{БК}}} = e^{\left[b - I \left(1 - e^{\left[-I E_{\text{р},\lambda}(\lambda) \sigma(\lambda) d\lambda \right]} \right) \right] t}, \quad (4)$$

где N_t – конечное число микроорганизмов, шт.;

N_0 – начальное число микроорганизмов, шт.;

$(E_{4\pi})_{\text{БК}}$ – средняя сферическая плотность бактерицидного излучения, $\text{Вт}/4\pi$;

k – коэффициент сопротивляемости;

t – время, с;

$E_{\text{р},\lambda}$ – фотонная облученность, $\text{Вт}/\lambda$;

$\sigma(\lambda)$ – функция, характеризующую вероятность летального действия одного фотона с длиной волны λ на одну из бактерий популяции.

Бактерицидная облученность, достаточная для гибели бактерий, рассчитывается с учетом пропускания воздушной среды [1]:

$$E_{\delta} = \frac{k \cdot \ell n \frac{N_0}{N_m}}{t \cdot e^{-\sigma l}}, \quad (5)$$

где E_{δ} – бактерицидная облученность, $\text{Вт}/\text{м}^2$;

k – коэффициент сопротивляемости микроорганизмов бактерицидным лучами, $\text{Вт}_{\text{БК}} \cdot \text{с}/\text{м}^2$ ($\text{Дж}/\text{м}^2$);

σ – коэффициент пропускания излучения средой (в птичниках около $0,3 \text{ м}^{-1}$, в сухих помещениях примерно $0,06 \text{ м}^{-1}$);

l – расстояние от облучателя до поверхности, м;

N_0, N_m – фактическое и предельно допустимое число микроорганизмов, шт.

Один из наиболее эффективных методов сушки лакокрасочных материалов (ЛКМ) – фотохимический, то есть отверждение под действием УФ-излучения. Его используют главным образом при получении покрытий из материалов, способных отверждаться в ходе реакции полимеризации. Принцип отверждения основан на способности УФ-лучей инициировать реакцию полимеризации олигомерных материалов определенной химической структуры. Энергия УФ-излучения достаточно высока – 3,1-12,4 эВ, что в 2-4 раза выше энергии лучей видимого света [13].

УФ-отверждение применяют главным образом для окраски плоских поверхностей, что во многом связано с ограниченными возможностями оборудования. На изделиях имеются недоступные для лучей УФ-лампы участки. Благодаря очевидным достоинствам светодиодов, таким как снижение теплового выделения, мгновенное включение и выключение, отсутствие движущихся частей, светодиодные УФ-системы имеют определенные преимущества, но и более высокую первоначальную стоимость и особенности их применения. Реальное преимущество светодиодных систем заключается в том, что они мгновенно включаются и выключаются, не требуя циклов разогрева и режима ожидания, характерных для дуговых ламп. Это значительно снижает потребление непроизводительной энергии и может сделать светодиоды привлекательной альтернативой с точки зрения энергосбережения [14].

Второй важный фактор – это эффективность затрат во время срока службы. Светодиоды потенциально работают больше 20 000 ч, что примерно в 7-10 раз дольше, чем у дуговой лампы.

В сравнении с широким спектральным излучением дуговых ламп светодиоды вырабатывают узкую полосу длинной УФ-волны высокой интенсивности. Она может проникать в плотные, высокопигментированные краски гораздо лучше, чем УФ-излучение дуговых ламп. В силу вышесказанного светодиоды более гибкие и приспособляемые к конкретным потребностям.

В результате массового нападения насекомых на животных заметно снижается продуктивность: удои – на 10-20%, жирность молока – до 0,1% и прирост живой массы – на 200-300 г в сутки. Кроме того, насекомые переносят возбудителей многих инфекционных и инвазионных заболеваний [15].

Профилактические мероприятия направлены на ликвидацию мест выплода мух на территории и в помещениях. Один из электрофизических способов борьбы – привлечение насекомых оптическим излучением с дальнейшим уничтожением электрическим разрядом.

При выборе оптического диапазона источника излучения необходимо учитывать воспринимаемый спектр животными и обслуживающим персоналом. На основе знаний о строении органов зрения и наличии чувствительных пигментов составлены спектральные характеристики воспринимаемого оптического излучения (рис. 3) [16-20]. Исходя из известных данных спектр, воспринимаемый только насекомыми, лежит в диапазоне 330-390 нм.

Кроме того, УФ-излучение может менять качество растений, применяться для выращивания пищевых дрожжей, использоваться для увеличения срока хранения продуктов, стимулировать птицу к размножению, озонировать воздух и пр.

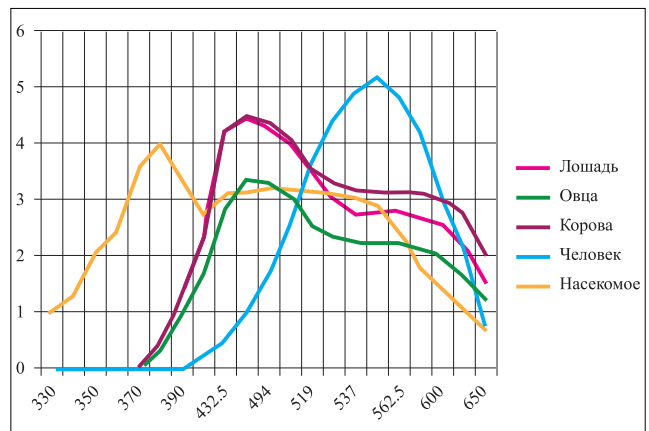


Рис. 3. Спектральная чувствительность органов зрения в зависимости от длины волны, нм

Fig.3. Vision organs spectral sensitivity depending on the wavelength, nm

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ. На основе современных УФ-светодиодов мы разработали эритемные УФ-облучатели, превосходящие по энергоэффективности традиционные на основе ртутных люминесцентных ламп (рис. 4). Например, УФ-облучатель на основе люминесцентной лампы ЛЭ-30 и ее модификаций имеет полезный поток 0,75 Вт, а светодиодный облучатель мощностью 6 Вт – около 2 Вт [21].



Рис. 4. Эритемный УФ-облучатель на основе светодиодов
Fig 4. Erythema UV irradiator based on LEDs

Основные характеристики облучателя на УФ-светодиодах:

- габаритные размеры – 500×120×100 мм;
- масса – 2 кг;
- потребляемая мощность – 7 Вт;
- мощность полезного УФ-излучения – 2 Вт.

В результате ионизации воздуха УФ-излучением улучшаются физическое состояние воздуха, осаджение пылевых частиц и микроорганизмов, снижается выброс вредных веществ в атмосферу (таблица) [22].

Исходя из результатов проведенных производственных испытаний (рис. 5) разработана упрощенная методика расчета степени обеззараживания помещения с вероятностью 0,75, которая определяется уравнением [1]:

$$\frac{N_t}{N_0} = \frac{15,6\Phi_{\text{ок}}}{V} \cdot \zeta \cdot e^{-\sigma x}, \quad (6)$$

Изменение состава воздуха при испытании УФ-облучателей в помещении птичника CHANGES IN AIR COMPOSITION WHEN TESTING UV IRRADIATORS IN THE POULTRY HOUSE			
Показатели Indicators	ПДК maximum admissible limit (MAL)	Содержание птицы Poultry stock-keeping	
		с бактерицидными установками with bactericidal devices	контроль control
Температура, °C / Temperature, °C	min 18	24,9	23,5
Относительная влажность, % / Relative humidity, %	64	64,7	64,2
Аммиак, мг/м³ / Ammonia, mg/m³	20	12	23
Сероводород, мг/м³ / Pydrogen sulfide, mg/m³	1,5	0	0
Углекислый газ, % / Carbon dioxide, %	0,03	0,02	0,05
Озон, мг/м³ / Ozone, mg/m³	0,1	0,03	—
Скорость движения воздуха, м/с / Air velocity, m/s	0,2-0,4	0,20	0,25
Количество микроорганизмов в воздухе, тыс. шт./м³ The number of microorganisms in the air, thousand pieces/m³	240	272	1008

где V – объем помещения, м³;
 ζ – коэффициент обеззараживания.

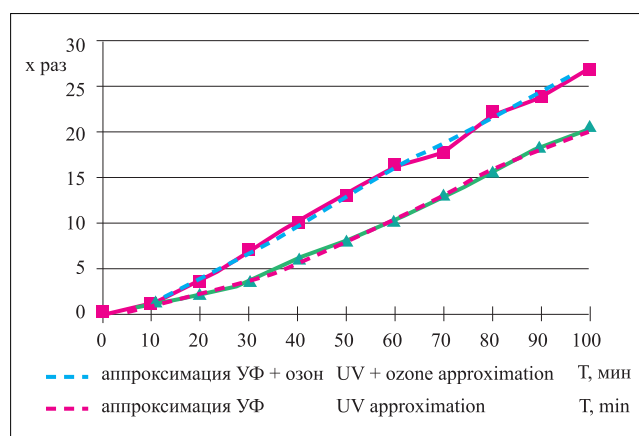


Рис. 5. Скорость обеззараживания в реальных помещениях ветеринарного надзора

Fig. 5. The speed of disinfection in the premises of veterinary supervision

Экспериментально доказано, что совместное действие озона и УФ-излучения может повышать эффективность обеззараживания на 25-40%. Кроме того, есть предположение, что излучение на длине волны 184,9 имеет дополнительный бактерицидный эффект (рис. 1). Для коэффициента обеззараживания среднестатистического помещения облучателями с озонобразующими лампами установлена зависимость:

$$\zeta = -1 \cdot 10^{-0,5} t^3 + 0,0024 t^2 + 0,1785 t - 0,3573, \quad (7)$$

где t – время, мин;
с безозонными лампами:

$$\zeta = -1 \cdot 10^{-0,5} t^3 + 0,003 t^2 + 0,0418 t + 0,1659. \quad (8)$$

В лабораторных условиях ВИЭСХ (ВИМ) изготовлен макет УФ-облучателей и проведен эксперимент по определению скорости сушки контейне-

ров для рассады, покрашенных эмалью ПФ-115. Для ускорения сушки использовали светодиодную лампу (360 нм) мощностью 6 Вт и эритемную (320 нм) – 30 Вт. Источники излучения установили на расстоянии 15-25 см (рис. 6) [14].



Рис. 6. Эксперимент по ускорению полимеризации эмали
Fig.6. Experiment aimed to accelerate enamel polymerization

В результате продолжительность сушки лакокрасочного покрытия типа ПФ-116 на прилипание сократилась в 2 раза, составив 10 ч вместо 20.

На основе УФ-светодиодов мощностью по 1 Вт с длиной волны 385 нм мы изготовили несколько экспериментальных образцов ловушек для насекомых. Суммарная мощность светодиодных источников в устройствах – 6 Вт [23]. Они могут работать как в постоянном, так и в пульсирующем режиме. Используя эту возможность, мы исследовали влияние частоты пульсаций на интенсивность привлечения насекомых. Выявили, что частота пульсаций 100 Гц наиболее привлекательна для насекомых.

Выводы. Разработали оборудование и обосновали параметры облучателей, работающих в диапазоне 254-390 нм, предназначенных для сельского хозяйства.

Предложили методики расчета облучателей для терапевтического облучения и определили длину волны для универсального облучения – 310 нм.

Обосновали длину волны светодиодной ловушки

для насекомых – 385 нм и частоту пульсаций источника света – 100 Гц.

Разработали светодиодные облучатели для фотополимеризации, работающие на длине волны 360 нм.

Подготовили методику расчета эффективности обеззараживания и создали облучатели на основе бактерицидных и озонобразующих ламп.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Юферев Л.Ю., Алферова Л.К. Светотехника в сельском хозяйстве. М.: ВИМ. 2016. 156 с.
2. Gardner A., Ghosh S., Dunowska M., Brightwell G. Virucidal efficacy of blue led and far-uv light disinfection against feline infectious peritonitis virus as a model for sars-cov-2. *Viruses*. 2021.N13(8). 1436.
3. Фалилеев Н.А. Проектирование облучательных установок в сельскохозяйственном производстве: Учебно-методическое пособие. Кострома: Костромская государственная сельскохозяйственная академия. 2003. 47 с.
4. Червинский Л.С., Радько И.П. Определение критерия эффективности биологического действия оптического излучения на животный организм // *Энергетика и автоматика*. 2015. N1(23). С. 14-23.
5. Алферова Л.К., Юферев Л.Ю., Юферева А.А. Искусственное освещение в помещениях для КРС // *Инновации в сельском хозяйстве*. 2015. N3(13). С. 70-73.
6. Юферев Л.Ю., Алферова Л.К., Баранов Д.А. Применение УФ-облучателя в помещениях для молодняка птицы // *Техника в сельском хозяйстве*. 2010. N1. С. 10-13.
7. Журавчук Е.В. Продуктивность цыплят-бройлеров при использовании ультрафиолетовых амальгамных ламп для обеззараживания воздуха // *Птицеводство*. 2019. N6. С. 52-55.
8. Al-Shamma'a A.I., Pandithas I., Lucas J. Low-pressure microwave plasma ultraviolet lamp for water purification and ozone applications. *Journal of Physics D: Applied Physics*. 2001. N34(18). 2775-2781.
9. Смирнов А.А., Довлатов И.М. Разработка УФ-облучательной установки для борьбы с вирусами IV группы // *Вестник НГИЭИ*. 2020. N12(115). С. 49-57.
10. Берест П.А. Биологическое действие ультрафиолетового излучения на организм животных // *Аллея науки*. 2019. Т. 1. N10(37). С. 43-46.
11. Chittavanich P., Miller K., Soucek M.D. A photo-curing study of a pigmented UV-curable alkyd. *Progress in Organic Coatings*. 2012. N73(4). 392-400
12. Кузьмичев А.В., Тихомиров Д.А. Модульная установка с использованием ИК- и УФ-облучателей // *Вестник ВИАХ*. 2015. N3 (20). С. 38-43.
13. Казаченко Н.Н., Бабкин О.Э. Функциональные полиуретановые покрытия УФ-отверждения // *Дизайн. Материалы. Технология*. 2014. N5(35). С. 34-37.
14. Юферев Л.Ю., Алферова Л.К. Возможность использования светодиодного УФ излучения при ремонтном окрашивании сельскохозяйственного оборудования // *Инновации в сельском хозяйстве*. 2018. N1(26). С. 102-107.
15. Дудина Д.Н., Юферев Л.Ю. Применение светодиодных источников света в энергосберегающих ловушках для насекомых // *Инновации в сельском хозяйстве*. 2015. N4(14). С. 39-42.
16. Глухов В. С точки зрения насекомого // *Наука и жизнь*. 2013. N5. С. 97-109
17. Тыщенко В.П. Физиология насекомых. М.: Высшая школа. 1986. 186 с.
18. Тихонова Г.Н., Феоктистова Н.Ю. Кто как видит: зрительный анализатор: от одноклеточных до человека. М.: Чистые пруды. 2006. 32 с.
19. Джейкобс Д., Натанс Д. Эволюция цветного зрения у приматов // *В мире науки*. 2009. Т. 6. С. 31–39.
20. Ременко С.Д. Цвет и зрение. Кишинев: Картеа Молдовеняскэ. 1982. 160 с.
21. Коваленко О.Ю., Чуваткина Т.А., Нестеркина Н.П., Микаева С.А., Журавлева Ю.А. Новое поколение эритемных ламп с повышенной эритемной эффективностью для облучения сельскохозяйственных животных // *Светотехника*. 2021. N5. С. 58-61.
22. Юферев Л.Ю., Алферова Л.К., Юферева А.А. Результаты испытаний УФ облучателей повышенной эффективности // *Инновации в сельском хозяйстве*. 2014. N1(6). С. 36-39.
23. Дудина Д.Н., Юферев Л.Ю. Предварительные испытания энергосберегающих ловушек для насекомых на основе светодиодных источников света // *Международный технико-экономический журнал*. 2018. N1. С. 67-73.

REFERENCES

1. Yuferev L.Yu., Alferova L.K. Svetotekhnika v sel'skom hozyaystve [Lighting technology in agriculture]. Moscow: VIM. 2016. 156 (In Russian).
2. Gardner A., Ghosh S., Dunowska M., Brightwell G. Virucidal efficacy of blue led and far-uv light disinfection against feline infectious peritonitis virus as a model for sars-cov-2. *Viruses*. 2021.N13(8). 1436 (In English).
3. Falileev N.A. Proektirovanie obluchatel'nykh ustanovok v sel'skokhozyaystvennom proizvodstve: Uchebno-metodicheskoe posobie [Designing irradiation facility in the farming industry: Study guide]. Kostroma: Kostromskaya gosudarstvennaya sel'skokhozyaystvennaya akademiya. 2003. 47 (In Russian).
4. Chervinskiy L.S., Rad'ko I.P. Opredelenie kriteriya effektivnosti biologicheskogo deystviya opticheskogo izlucheniya na zhivotnyy organizm [Definition of performance criteria for

- biological action of optical radiation on the living organism]. *Energetika i avtomatika*. 2015. N1(23). 14-23 (In Russian).
5. Alferova L.K., Yuferev L.Yu., Yufereva A.A. Iskusstvennoe osveshchenie v pomeshcheniyakh dlya KRS [Artificial lighting in the premises for cattle]. *Innovatsii v sel'skom khozyaystve*. 2015. N3(13). 70-73 (In Russian).
 6. Yuferev L.Yu., Alferova L.K., Baranov D.A. Primenenie UF-obluchatelya v pomeshcheniyakh dlya molodnyaka ptitsy [Use of ultra-violet radiator in the rooms for young poultry]. *Tekhnika v sel'skom khozyaystve*. 2010. N1. 10-13 (In Russian).
 7. Zhuravchuk E.V. Produktivnost' tsyplyat-broylerov pri ispol'zovanii ul'traioletovykh amal'gamnykh lamp dlya obezrazazhivaniya vozdukha [The productive performance in broiler chicks reared under amalgam ultraviolet lamps as air disinfectors]. *Ptitsevodstvo*. 2019. N6. 52-55 (In Russian).
 8. Al-Shamma'a A.I., Pandithas I., Lucas J. Low-pressure microwave plasma ultraviolet lamp for water purification and ozone applications. *Journal of Physics D: Applied Physics*. 2001. N34(18). 2775-2781 (In English).
 9. Smirnov A.A., Dovlatov I.M. Razrabotka UF-obluchatel'noy ustanovki dlya bor'by s virusami IV gruppy [Development of a UV-irradiation facility to combat group IV viruses]. *Vestnik NGIEI*. 2020. N12(115). 49-57 (In Russian).
 10. Berest P.A. Biologicheskoe deystvie ul'traioletovogo izlucheniya na organizm zhivotnykh [The biological effect of ultraviolet radiation on the organism of animals]. *Alleya nauki*. 2019. Vol. 1. N10(37). 43-46 (In Russian).
 11. Chittavanich P., Miller K., Soucek M.D. A photo-curing study of a pigmented UV-curable alkyd. *Progress in Organic Coatings*. 2012. N73(4). 392-400 (In English).
 12. Kuz'michev A.V., Tikhomirov D.A. Modul'naya ustanovka s ispol'zovaniem IK- i UF-obluchateley [Modular unit with IR and UV irradiators]. *Vestnik VIESKH*. 2015. N3 (20). 38-43 (In Russian).
 13. Kazachenko N.N., Babkin O.E. Funktsional'nye poliuretanovye pokrytiya UF-otverzhdeniya [Functional polyurethane UV coatings]. *Dizayn. Materialy. Tekhnologiya*. 2014. N5(35). 34-37 (In Russian).
 14. Yuferev L.Yu., Alferova L.K. Vozmozhnost' ispol'zovaniya svetodiodnogo UF izlucheniya pri remontnom okrashivani sel'skokhozyaystvennogo oborudovaniya [The possibility of using led UV radiation in repair and painting of agricultural equipment]. *Innovatsii v sel'skom khozyaystve*. 2018. N1(26). 102-107 (In Russian).
 15. Dudina D.N., Yuferev L.Yu. Primenenie svetodiodnykh istochnikov sveta v energosberegayushchikh lovushkakh dlya nasekomykh [Applying LED light sources in energy saving insect traps]. *Innovatsii v sel'skom khozyaystve*. 2015. N4(14). 39-42 (In Russian).
 16. Glupov V. S tochki zreniya nasekomoego [From an insect's point of view]. *Nauka i zhizn'*. 2013. N5. 97-109 (In Russian).
 17. Tyshchenko V.P. Fiziologiya nasekomykh [Physiology of insects]. Moscow: Vysshaya shkola. 1986. 186 (In Russian).
 18. Tikhonova G.N., Feoktistova N.Yu. Kto kak vidit: zritel'nyy analizator: ot odnokletochnykh do cheloveka [The way we see: visual analyzer: from the monocellular to human beings]. Moscow: Chistye prudy. 2006. 32 (In Russian).
 19. Dzheykobs D., Natans D. Evolyutsiya tsvetnogo zreniya u primatov [Evolution of color vision in primates]. *V mire nauki*. 2009. Vol. 6. 31-39 (In Russian).
 20. Remenko S.D. Tsvet i zrenie [Color and vision]. Kishinev: Karta Moldovenyashke. 1982. 160 (In Russian).
 21. Kovalenko O.Yu., Chuvatkina T.A., Nesterkina N.P., Mikaeva S.A., Zhuravleva Yu.A. Novoe pokolenie eritemnykh lamp s povyshennoy eritemnoy effektivnost'yu dlya oblucheniya sel'skokhozyaystvennykh zhivotnykh [New generation of erythema lamps with increased erythema efficiency for farm animals irradiation]. *Svetotekhnika*. 2021. N5. 58-61 (In Russian).
 22. Yuferev L.Yu., Alferova L.K., Yufereva A.A. Rezul'taty ispytaniy UF obluchateley povyshennoy effektivnosti [Test results for high efficiency UV irradiators]. *Innovatsii v sel'skom khozyaystve*. 2014. N1(6). 36-39 (In Russian).
 23. Dudina D.N., Yuferev L.Yu. Predvaritel'nye ispytaniya energosberegayushchikh lovushek dlya nasekomykh na osnove svetodiodnykh istochnikov sveta [Preliminary tests of energy-saving traps for insects on the basis of led light sources]. *Mezhdunarodnyy tekhniko-ekonomicheskii zhurnal*. 2018. N1. 67-73 (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

12.01.2022
03.02.2022