

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ И КОНТРОЛЬ ПАРАМЕТРОВ ИСТОЧНИКОВ ИЗЛУЧЕНИЯ ОБЛУЧАТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ

О.Ю.Коваленко, Ю.А.Пильщикова, Е.Д.Гусева,
Мордовский государственный университет
им. Н.П.Огарёва

Статья посвящена контролю параметров источников излучения, используемых для освещения и облучения молодняка родительского стада птицефабрик. Результаты исследований показали, что при комбинированном сине-зеленом светодиодном освещении в сочетании с ультрафиолетовым облучением при общем освещении люминесцентными лампами показатели продуктивности улучшаются в пределах 10% в сравнении с традиционным освещением только люминесцентными лампами.

Различные биообъекты в сельском хозяйстве имеют характерную восприимчивость к свету, которая описывается функцией спектральной чувствительности. Восприимчивость физиологически активной радиации (ФАР) растений, при котором происходит фотосинтез и различные жизненно важные процессы, соответствует диапазону оптического излучения 400–700 нм.

В качестве источников света, используемых для светокультуры растений, применяются люминесцентные лампы, ксеноновые трубчатые лампы, натриевые лампы высокого давления, металлогалогенные лампы и ртутные лампы высокого давления с исправленной цветностью. Они имеют коэффициенты использования излучения ФАР до 30%. В результате анализа исследований влияния спектрального состава на рост и развитие растений для определения обоснованных требований к спектру излучающих ламп, было установлено, что лучшие результаты для промышленной технологии в зависимости от сорта растений обеспечивает спектральное соотношение освещенностей в синей, зеленой, красной области – $E_{\text{c}}:E_{\text{z}}:E_{\text{k}} = (10-30\%):(15-45\%):(40-75\%)$. Источники излучения с высоким коэффициен-

EFFICIENCY IMPROVEMENT AND PARAMETER CHECKOUT OF EMISSION SOURCES OF IRRADIATION EQUIPMENT IN AGRICULTURE

O.Yu. Kovalenko, Yu.A. Pilshchikova, E.D. Guseva,
N.P.Ogarev Mordovia State University

This article is devoted to parameter checkout of emission sources used for illumination and irradiation of poultry farms. These studies showed that the performance of growing poultry is improved within 10% with combined blue-green LED lighting in conjunction with ultraviolet irradiation in comparison with traditional lighting by the fluorescent lamps.

Different bioobjects in agriculture have a characteristic susceptibility to light, which is described by the function of spectral sensitivity. Susceptibility to physiologically active radiation (PAR) of plants, under which photosynthesis and various vital processes occur, corresponds to the range of optical radiation, i.e., 400–700 nm.

Fluorescent lamps, xenon tube lamps, high-pressure sodium lamps, metal halide lamps and high-pressure mercury lamps with corrected chromaticity are used as light sources for plant photoculture. Their radiation utilization factors of PAR are up to 30%. As a result of analysis of the influence of the spectral composition on the growth and development of plants to determine the justified requirements for the spectrum of emitting lamps, it was found that the best results for industrial technology, depending on the plant variety, are provided by a spectral ratio of illumination in the blue, green, red areas $E_{\text{b}}:E_{\text{g}}:E_{\text{r}} = (10-30\%):(15-45\%):(40-75\%)$. The emission sources with a high utilization factor contribute to the growth of crop yields; semiconductor devices with RGB modules have come into use for this purpose.

The sensitivity of the poultry visual organ has peaks in the green, blue, red and ultraviolet regions of the spectrum.

Recently, many researchers propose to apply illumination systems in accordance with the function of spectral sensitivity of the poultry visual organ

том использования способствуют росту урожайности растений, для этих целей начали применять полупроводниковые приборы с RGB-модулями.

Чувствительность органа зрения птицы имеет максимумы в зеленой, синей, красной и ультрафиолетовой областях спектра.

В последнее время многие исследователи предлагают для освещения птицефабрик применять систему освещения в соответствии с функцией спектральной чувствительности органа зрения птицы [1]. Анализ исследований, проведенных в условиях промышленного выращивания кур, выявил улучшение продуктивных показателей опытной группы молодняка родительского стада Ross-308 в пределах 10% при комбинированном сине-зеленом светодиодном освещении в сочетании с ультрафиолетовым облучением при общем освещении люминесцентными лампами ЛБ-40 в сравнении с показателями контрольной группы, освещаемой люминесцентными лампами ЛБ-40.

Для того чтобы оценить степень совпадения максимумов спектрального диапазона источников света и относительной спектральной чувствительности органа зрения птицы и растений, необходимо применять достаточно точную измерительную технику. Согласно п. 4.3.3.2 ГОСТ Р 8.749-2011 в случае одноцветных (не белых) светодиодов ошибки спектрального несоответствия могут быть большими из-за того, что некоторые спектры светодиодов достигают пика на концах функции $V(\lambda)$, что может внести большой вклад в погрешность измерения [2]. Для получения спектральных характеристик источников света могут быть использованы спектрорадиометры.

В лаборатории ЦКП Светотехнического факультета ФГБОУ ВПО МГУ им. Н.П.Огарева для определения точности измерения были проведены исследования спектральных характеристик светодиодов спектрорадиометрами двух моделей OL770 и Specbos1211, в процессе которых были определены абсолютные и относительные погрешности измерений.

Specbos 1211 – это компактный высокочувствительный спектрорадиометр общего назначения, покрывающий диапазон волн от ближнего ультрафиолетового до инфракрасного излучений. Оптическая система спектрорадиометра OL 770 состоит из узкой входной щели и вогнутой дифракционной решетки, которая формирует плоскую фокальную поверхность. В фокальной поверхности расположен многоэлементный фотоприёмник, в роли которого выступает кремниевый

датчик, способный воспринимать излучение в диапазоне от 380 до 1100 нм. Спектрорадиометр Specbos 1211 имеет диапазон измерения от 380 до 1100 нм с шагом 1 нм. Спектрорадиометр OL770 имеет диапазон измерения от 380 до 1100 нм с шагом 10 нм.

In order to assess the degree of coincidence of the maxima of the spectral range of light sources and the relative spectral sensitivity of the poultry visual organ and the plant, it is necessary to apply a sufficiently accurate measurement technique. According to paragraph 4.3.3.2 of the USSR STATE STANDART 8.749-2011, for monochromatic (non-white) LEDs, the spectral mismatch errors may be larger due to the fact that some LED spectra reach their peaks at the ends of the function $V(\lambda)$, which can greatly influence the measurement error [2]. The spectral radiometers can be used for obtaining the spectral characteristics of light sources.

In the laboratory of the Common Use Center of the Light Engineering Faculty of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "N. P. Ogarev Mordovia State University", the spectral characteristics of the LEDs were studied by spectral radiometers of two models, OL770 and Specbos1211, to determine the accuracy of the measurements, during which the absolute and relative measurement errors were determined.

Specbos 1211 is a compact high-sensitivity general-purpose spectral radiometer covering the range of waves from near ultraviolet to infrared radiation. The optical system of OL770 spectral radiometer consists of a narrow entrance slit and a concave diffraction grating that forms a flat focal surface. A multi-element photodetector, in the form of a silicon CCD matrix, is located in the focal surface. The device operates in the wavelength range of 380–1100 nm.

The spectral radiometer data were used to measure the emitting characteristics of the LEDs. The spectral radiometer and LED light sources were fixed on a photometric bench in a stationary position during measurement cycle; the center of the photodetector was on a straight line passing through the light center of the light source; the surface of the spectral radiometer was perpendicular to this line. The measurements of the LEDs were carried out with the following electrical parameters: $I=40$ mA, $U=3.5$ V. The ambient temperature

вая ПЗС-матрица. Прибор работает в диапазоне длин волн 380–1100 нм.

При помощи данных спектрорадиометров были измерены излучательные характеристики светодиодов. Спектрорадиометр и светодиодные источники света были закреплены на фотометрической скамье, находились в неподвижном состоянии во время цикла измерений, центр фотоприемника находился на прямой, проходящей через световой центр источника света, поверхность спектрорадиометра была перпендикулярна этой прямой. Измерения светодиодов проводились при следующих электрических параметрах: $I=40$ мА, $U=3,5$ В. Температура окружающей среды была постоянной на протяжении всего эксперимента. Интервал времени между подачей питания на светодиод и собственно измерениями составил 20 минут, за это время произошла стабилизация световых параметров.

При определении абсолютных и относительных погрешностей за действительные значения принимались значения, полученные спектрорадиометром OL 770. Это было сделано по следующим причинам. Во-первых, спектральное разрешение прибора OL 770 (0,75 нм) выше аналогичного параметра прибора Specbos 1211 (4,5 нм). Во-вторых, температура фотоприемника в OL 770 в течение всего процесса измерения остается постоянной (-10 °C), что обусловлено использованием элемента Пельтье. Таким образом, погрешность, обусловленная зависимостью фототока приёмника от температуры окружающей среды в приборе OL 770, отсутствует.

В ходе исследования спектральных характеристик светодиодов было выявлено небольшое несовпадение максимумов длин волн при измерении спектрорадиометрами моделей OL 770 и Specbos 1211 соответственно: у зеленого – 515 и 519 нм, у красного – 639 и 638 нм. Для синего светодиода спектрорадиометрами был показан максимум на длине волны 465 нм.

Средняя относительная погрешность спектральной мощности излучения при измерении спектрорадиометрами относительно друг друга составила для красного светодиода 1%, синего светоди-

was constant throughout the experiment. The time interval between the power supply to the LED and the actual measurements was 20 minutes, during which the light parameters were stabilized.

In determining the absolute and relative errors for actual values, the values obtained by the spectral radiometer OL770 were taken. This was done for the following reasons. First, the spectral resolution of OL770 device (0.75 nm) is higher than the analogous parameter of Specbos1211 device (4.5 nm). Second, the temperature of the photodetector in OL770 during the whole measurement process remains constant (-10 °C), which is due to the use of the Peltier element. Thus, the error caused by the dependence of the photocurrent of the receiver on the ambient temperature in OL770 device is absent.

During the study of the spectral characteristics of light-emitting diodes, a slight discrepancy of the wavelength maxima was revealed when measured by the spectral radiometers OL770 and Specbos 1211, respectively: green – 515 and 519 nm, red – 639 and 638 nm. For a blue LED, a maximum at a wavelength of 465 nm was shown by spectral radiometers.

The average relative error of the spectral power of radiation when measured by spectral radiometers relative to each other was 1% for a red LED, 5.5% for a blue LED, 4.5% for a green LED. The average relative error in measuring the spectral distribution of the radiation power of light-emitting diodes by



ода – 5,5%, зеленого светодиода – 4,5%. Средняя относительная погрешность измерения спектрального распределения мощности излучения светодиодов спектрорадиометрами моделей OL 770 и Specbos 1211 составила порядка 5%, что говорит о достаточной точности измерения данных приборов. Полученные спектральные характеристики применялись для моделирования и проектирования полупроводниковых световых приборов.

В соответствии с кривой чувствительности растений, глаза человека и глаза птицы были рассчитаны спектральные коэффициенты использования излучения различных источников света, а также комбинированных приборов и установок с использованием светодиодов по формулам вида:

$$K_{\text{спектр } i} = \frac{\int_{\lambda_{1i}}^{\lambda_{2i}} \varphi_e(\lambda) k(\lambda) d\lambda}{\int_{\lambda_{10}}^{\lambda_{20}} \varphi_e(\lambda) d\lambda}, \quad (1)$$

где i – соответствующие спектральные диапазоны оптического излучения.

Для получения оценок коэффициентов использования источников света, а также комбинированных приборов и установок с использованием светодиодов для различных биообъектов была разработана и проверена на практических примерах программа моделирования спектральных характеристик [3].

В качестве исследуемых источников света были взяты люминесцентные лампы типа ЛБ, ЛД и разрядные лампы типа ДРИ, ДНаТ, ДРЛ (см. рисунок). Результаты расчетов коэффициентов использования представлены в таблицах 1-3.

Для традиционных источников света в соответствии с функцией относительной спектральной световой эффективности наиболее высокий коэффициент использования имеет место у ламп типа ЛБ-36 и составляет 50%.

Наиболее высокий коэффициент использования излучения для органа зрения птицы наблюдается у ламп типа ЛД-36 и составляет 56%. Высокий коэффициент использования около 52% наблюдается для комбинированной установки с использованием ламп типа ЛБ-36, уль-

the spectral radiometers OL770 and Specbos1211 was about 5%, which indicates a sufficient accuracy of the measurement by these devices. The obtained spectral characteristics were used in the modeling and designing of semiconductor light devices.

In accordance with the sensitivity curve of the visual organ of a human and poultry and that of the plants, the spectral coefficients for the use of radiation from various light sources, as well as combined instruments and installations using LEDs were calculated using the following formula:

$$K_{\text{спектр } i} = \frac{\int_{\lambda_{1i}}^{\lambda_{2i}} \varphi_e(\lambda) k(\lambda) d\lambda}{\int_{\lambda_{10}}^{\lambda_{20}} \varphi_e(\lambda) d\lambda}, \quad (1)$$

where i is the corresponding spectral ranges of optical radiation.

To obtain estimates of the light sources utilization factors, as well as combined devices and installations using LEDs for various bioobjects, a program for modeling spectral characteristics was developed and tested in practical examples [3].

Luminescent lamps of LB, LD types and discharge lamps of DRI, DNAT, DRL types (see Fig.) were taken as the tested light sources. The results of the calculation of the utilization factors are given in Tables 1-3.

For traditional light sources, according to the function of the relative spectral luminous efficacy, the highest utilization factor is found in LB-36 lamps and is 50%. The highest radiation utilization factor for the poultry visual organ is observed in lamps of LD-36 type and is 56%. A high utilization factor of about 52% is observed for a combined installation using LB-36 type lamps, LE-15 type

Таблица 1. Коэффициенты использования излучения для различных источников света, определенные по функции относительной спектральной чувствительности органа зрения человека (функции относительной спектральной световой эффективности)

Table 1. Radiation utilization factors for different light sources, determined by the function of relative spectral sensitivity of the human eye (functions of relative spectral luminous efficacy)

λ_{min} , нм (нм)	λ_{max} , нм (нм)	ДРЛ-400	ДНаТ-250	ДРИ-250	ЛБ-36	ЛД-36
380	500	0,38	0,54	13,61	1,95	2,98
505	600	22,88	19,96	12,75	42,57	37,16
605	780	1,72	4,01	1,10	5,95	4,37
380	780	24,98	24,51	27,46	50,47	44,52

трафиолетовых ламп типа ЛЭ-15 и модуля с синими и зелеными светодиодами [4].

Коэффициенты использования для традиционных источников света, определенные по функции относительной спектральной эффективности фотосинтеза растений, не превышают 29%. В связи с этим перспективным является повышение коэффициента использования за счет применения в комбинированном приборе красных светодиодов совместно с ЛД-36, что позволяет повысить коэффициент использования до значения 42%.

В природных условиях птица находится под естественным солнечным излучением, которое включает в себя весь оптический диапазон излучения ГОСТ Р 54164-2010.

При проектировании освещения в рабочих помещениях используют различие спектра излучения облачного и безоблачного неба. Расчетные значения коэффициента использования излучения для функции относительной спектральной чувствительности органа зрения (ФОСЧОЗ) птицы при безоблачном небе в диапазоне длин волн от 400 до 640 нм составил 63%; при небе, закрытом плотными облаками, в диапазоне длин волн от 400 до 640 нм составил 65%; при дневном свете в диапазоне длин волн от 375 до 725 нм составил 49%; для солнечного излучения в диапазоне длин волн от 330 до 780 нм значение коэффициента равно 40%.

На основании расчетных значений коэффициента использования излучения был изготовлен опытный образец облучательной установки, включающий сине-зеленые светодиоды и 2 эритемные лампы типа ЛЭ-15. Данный образец был использован в качестве местного облучения при общем освещении люминесцентными лампами типа ЛБ-36 в птицефабрике для молодняка родительского стада Ross-308. Данные исследования показали, что при комбинированном сине-зеленом светодиодном освещении в сочетании с ультрафиолетовым

Таблица 2. Коэффициенты использования излучения для различных источников света, определенные по функции относительной спектральной чувствительности органа зрения птицы

Table 2. Radiation utilization factors for different light sources, determined by the function of relative spectral sensitivity of the poultry visual organ

λ _{min} , нм (нм)	λ _{max} , нм (нм)	ДРЛ-400	ДнаТ-250	ДРИ-250	ЛБ-36	ЛД-36	ЛБ-36+СД(с-з) и ЛЭ-15
330	395	0,27	0,05	1,43	0,50	0,67	0,91
400	500	9,54	2,20	22,31	0,78	29,99	19,85
505	600	10,21	6,48	9,82	23,20	22,53	27,58
605	780	1,14	2,05	1,09	4,26	3,10	3,41
380	780	21,16	10,78	34,65	28,74	56,29	51,75

ultraviolet lamps and a module with blue and green LEDs [4].

The utilization factors for traditional light sources, determined from the relative spectral efficiency of plant photosynthesis, do not exceed 29%. In this regard, it is promising to increase the utilization factor by using red LEDs in combination with LD-36, which allows to increase the utilization factor up to 42%.

In natural conditions, the poultry is under natural solar radiation, which includes the entire optical range of radiation according to USSR STATE STANDART 54164-2010.

The radiation spectrum of the cloudy and cloudless sky is distinguished. The calculated values of the radiation utilization factor for functioning of relative spectral sensitivity of visual organ (FRSSVO) of poultry in the cloudless sky in the wavelength range from 400 to 640 nm was 63%, in the sky covered with dense clouds in the wavelength

Таблица 3. Коэффициенты использования излучения для различных источников света, определенные по функции относительной спектральной эффективности фотосинтеза растений

Table 3. Radiation utilization factors for different light sources, determined by the function of relative spectral efficacy of plant photosynthesis

λ _{min} , нм (нм)	λ _{max} , нм (нм)	ДРЛ-400	ДнаТ-250	ДРИ-250	ЛБ-36	ЛД-36	ЛД-36+СД(к)
380	500	4,06	0,49	4,70	0,00	14,61	11,95525
505	600	3,16	2,62	1,72	9,78	7,93	6,523177
605	780	1,41	2,40	1,43	8,63	6,50	23,69765
380	780	8,63	5,51	7,85	18,41	29,04	42,38

облучением при общем освещении люминесцентными лампами типа ЛБ-40 молодняка родительского стада Ross-308, показатели продуктивности молодняка птицы улучшаются в пределах 10% в сравнении с традиционным освещением люминесцентными лампами типа ЛБ-40. Таким образом, контроль коэффициента использования излучения различными биообъектами играет большую роль при внедрении перспективных источников света для повышения эффективности облучательных приборов и установок в сельском хозяйстве.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Прикупец Л.Б.** Технологическое освещение в агропромышленном комплексе России. – Светотехника, 2017, №6, с.6–14.
2. ГОСТ Р 8.749-2011. Государственная система обеспечения единства измерений. Светодиоды. Методы измерения фотометрических характеристик.
3. **Пильщикова Ю.А., Коваленко О.Ю., Гусева Е.Д., Кудашкина М. В.** Моделирование относительной спектральной чувствительности органа зрения биообъекта для оценки эффективности источников излучения. – Современные проблемы науки и образования, 2014, № 4.
4. Патент на полезную модель RUS147826. Устройство для облучения птицы / Коваленко О.Ю., Пильщикова Ю.А., Ашрятов А.А., Амелькина С.А., Кудашкина М. В.

range from 400 to 640 nm was 65%, in daylight in the wavelength range from 375 to 725 nm was 49%, solar radiation in the wavelength range from 330 to 780 nm was 40%.

Based on the calculated values of the radiation utilization factor, a prototype of the irradiation equipment was constructed, including blue-green LEDs and 2 erythemal lamps of LE-15 type. This prototype was used as a local irradiation in general illumination with fluorescent lamps of LB-36 type in the poultry farm for the growing poultry of the parent flock Ross-308. These studies showed that with combined blue-green LED lighting in conjunction with ultraviolet irradiation in general illumination of luminescent lamps of LB-40 type of the growing poultry of the parent flock Ross-308, the performance of growing poultry is improved within 10% in comparison with traditional fluorescent lamps of LB-40 type.

Thus, it has been experimentally confirmed that the control of the radiation utilization factor of various bioobjects plays a major role in selecting promising light sources for agriculture. And, in order to improve the efficiency of irradiators and plants, combined emission sources must be used.