

МОДЕЛИРОВАНИЕ ОТНОСИТЕЛЬНОЙ СПЕКТРАЛЬНОЙ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ОРГАНА ЗРЕНИЯ БИООБЪЕКТА ДЛЯ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСТОЧНИКОВ ИЗЛУЧЕНИЯ

Пильщикова Ю.А., Коваленко О.Ю., Гусева Е.Д., Кудашкина М.В.

¹ГОУ ВПО «Мордовский Государственный университет им. Н.П.Огарева», Саранск, Россия (430000, Саранск, ГСП ул. Большевикская, 68), e-mail: dep-mail@adm.mrsu.ru

Предлагается модель функции относительной спектральной чувствительности органа зрения биообъекта, как основа выбора спектрального состава источников излучения с целью повышения их эффективности. Правильный подбор спектрального состава источников излучения в зависимости от функции относительной спектральной чувствительности органа зрения птицы (курицы) несет в себе резерв экономии электроэнергии и способствует повышению продуктивных качеств птицы (курицы). Источники излучения были оценены по коэффициенту использования излучения органом зрения птицы (курицы) по предлагаемой функции относительной спектральной чувствительности органа зрения птицы (курицы) при низких уровнях освещенности. Разработанная установка позволила провести исследования по влиянию спектрального состава источников излучения, оцененных по коэффициенту использования излучения органом зрения птицы (курицы) по предлагаемой функции относительной спектральной чувствительности органа зрения птицы (курицы).

Ключевые слова: функция относительной спектральной чувствительности, источник излучения, коэффициент использования излучения.

MODELING THE RELATIVE SPECTRAL SENSITIVITY OF THE VISION BIOOBJECT TO EVALUATE THE EFFICIENCY OF THE RADIATION SOURCES

Pilshchikova Y.A., Kovalenko O.Y., Guseva E.D., Kudashkina M.V.

¹"Mordovia State University N.P.Ogareva ", Saransk, Russia (430000, Saransk, GSP st. Bolshevist, 68), e-mail: dep-mail@adm.mrsu.ru

A model function of the relative spectral sensitivity of the vision poultry (chicken) as a basis for selecting the spectral composition of light sources for lighting the house. When modeling a function of relative spectral sensitivity of the visual organ birds (chicken) at low light levels into account the percentage of colored cones and the distance between the cones of the same color, which is described by a Gaussian curve. Proper selection of the spectral radiation light sources depending on the intended function of the relative spectral sensitivity of the vision poultry (chicken) carries a reserve of energy savings and promotes productive qualities of poultry (chicken). Radiation sources have been evaluated for a utilization rate of body radiation birds (chicken) on the proposed function of the relative spectral sensitivity of the visual organ birds (chicken) at low light levels. Developed plant permits to conduct research on the influence of the spectral composition of the radiation sources, the estimated coefficient on the use of body radiation poultry (chicken) on the proposed function of the relative spectral sensitivity of the vision poultry (chicken).

Keywords: function of the relative spectral sensitivity of the radiation source, the utilization of radiation.

Эффективность действия искусственного освещения во многом зависит от применяемых источников оптического излучения, адаптированных под спектральную чувствительность органа зрения биообъекта. Предлагается произвести оценку эффективности источников излучения для птицеводческих ферм по относительному коэффициенту использования излучения в соответствии с функцией относительной спектральной чувствительности органа зрения биообъекта – птица (курица), аналогично коэффициенту полезного излучения фотосинтеза для растений. Предполагается, что правильно подобранный спектр источников излучения в соответствии с функцией относительной спектральной чувствительности органа

зрения биообъекта-птица позволит не только повысить продуктивные качества птицы, но и несет в себе резерв экономии потребления электроэнергии на освещение.[3].

Исследования функции относительной спектральной чувствительности органа зрения птицы (курицы) American Society of Agricultural and Biological Engineers, St. Joseph, Yoseph A., Kram, Stephanie Mantey, Joseph C. Corbo, Gowardowskii & Zueva, Fager & Fager, Bowmaker и др. подтверждают, что функция относительной спектральной чувствительности органа зрения птицы имеет локальные максимумы в синей, зеленой, красной областях видимого спектра и значительно сдвинута в сторону коротких длин волн. Однако, данные авторов расходятся в значениях этих максимумов длин волн и расположения этих максимумов, что затрудняет использование данной функции относительной спектральной чувствительности органа зрения птицы на практике при выборе спектрального состава источников излучения в светотехнических установках. Вопрос о количественной оценке эффективности источника излучения с учетом функции относительной спектральной чувствительности органа зрения биообъекта при определенных условиях освещения является в настоящее время актуальным.

Цель исследования

В целях разработки эффективной осветительно-облучательной комбинированной установки для птицеводства явился подбор спектрального состава источников излучения, входящих в данную установку, по функции относительной спектральной чувствительности органа зрения биообъекта-птица. Для количественной оценки эффективности спектрального состава источников излучения возникла необходимость разработки программы, позволяющей моделировать функцию относительной спектральной чувствительности органа зрения биообъекта, а также производить оценку коэффициентов использования излучения органом зрения биообъекта.

Материал исследования

Исследование функций относительной спектральной эффективности органа зрения биообъектов показало, что в общем случае, они представляют сумму кривых с максимумами разного уровня на различных длинах волн; соотношение между максимумами кривых является величиной переменной и зависит от уровня освещенности (яркости). При сравнительном анализе данных о функции спектральной чувствительности органа зрения человека, полученных разными исследователями, установлено, что в зависимости от уровня яркости воздействующего излучения, от применяемых методов, от размеров воздействующих стимулов вид функции имеет определенные, иногда весьма существенные, различия. К обнаруженным различиям можно отнести отклонения формы функции от симметричной колоколообразной, появление неровностей и явных проявлений локальных

максимумов составляющих чувствительности L -, M -, S -колбочек и палочек зрительного аппарата, а также «сужение» и «расширение» кривой, оцениваемое по коэффициенту R , равному отношению площадей исследуемой и базисной кривой [5].

Наиболее существенное различие кривых наблюдается при изменении яркости воздействующего излучения, которое можно проиллюстрировать кривыми «дневного» и «ночного» зрения, по которым установлено, что при уменьшении яркости происходит смещение максимума чувствительности в сторону коротких длин волн (эффект Пуркинье).

Применительно к функции относительной спектральной световой эффективности разработка модели в этом направлении привела к получению выражения для описания системы источник излучения–биообъект, включающее функцию спектрального состава эталонного излучателя, зависящей от эквивалентной яркости, и функцию относительной спектральной световой эффективности, представленной через коэффициенты для уровней эквивалентной яркости при составляющих функции относительной спектральной световой эффективности трех типов колбочек L , M , S [6].

В [1], для описания функции относительной спектральной чувствительности органа зрения биообъектов, предложено применить обобщенную модель:

$$K(E_{\lambda 1,2}, \lambda) = A_1(E_{\lambda 1})K_1(\lambda) + A_2(E_{\lambda 2})K_2(\lambda) + \dots + A_\gamma(E_{\lambda \gamma})K_\gamma(\lambda), \quad (1)$$

где $A_1(E_{\lambda 1})$, $A_2(E_{\lambda 2})$,... $A_\gamma(E_{\lambda \gamma})$ – зависимости уровней максимумов кривой спектральной эффективности от энергетической освещенности в соответствующем диапазоне спектра: $E_{\lambda 1}$, $E_{\lambda 2}$, ... $E_{\lambda \gamma}$ (γ не фиксировано);

$$A_i(E_{\lambda i}) = k_i A_i'(E_{\lambda i}), \quad (2)$$

где k_i – масштабный коэффициент, зависящий от ширины кривой;

$K_1(\lambda)$, $K_2(\lambda)$,... $K_\gamma(\lambda)$ – нормированные составляющие кривой относительной спектральной чувствительности.

При переменных значениях энергетической освещенности в рассматриваемом спектральном диапазоне следует провести разбиение диапазона на n участков, в каждом из которых $E_{\lambda i}$ является постоянной, и значения кривой спектральной эффективности определять для каждого из слагаемых выражения (1) в виде кусочно-непрерывной функции по формуле:

$$\sum_{i=1}^n A_i(E_{\lambda i})K_i(\lambda), \quad (3)$$

где $i = 1, 2, \dots, n$. (Вместо освещенности E в выражениях (1) - (3) может быть использована яркость L).

Математическая модель (1) является общим случаем описания реакций биообъекта на оптическое излучение в широком диапазоне частот. Исходя из обычно используемых допущений, спектр можно рассматривать как эквиэнергетический, либо фиксировать значение яркости в диапазоне длин волн от 0 до ∞ , то есть значения яркости от всего воздействующего излучения [5]. Для получения вида функции было проведено моделирование с использованием выражений (2) и (3).

При разработке алгоритмов программы выражение (3) с учетом (2) было представлено в виде:

$$K(E, \lambda) = \sum_{i=1}^n k_i A_i'(E) K_i(\lambda) \quad (4)$$

Составляющие $K_1(\lambda), K_2(\lambda), \dots, K_n(\lambda)$, в частности, можно представить функциями Гаусса с соответствующими параметрами.

Выражение (5) с подстановкой гауссовской функции примет вид:

$$K(L, \Delta\lambda_i) = \sum_{i=1}^n \frac{k_i A_i'(\lambda)}{\sigma_i \sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(\lambda - \lambda_{\max i})^2}{2\sigma_i^2}\right) \quad (5)$$

В настоящее время пользуются функцией относительной спектральной чувствительности органа зрения птицы (курицы), предложенной исследователями N.B. Prescott & C.M. Wathes, которая состоит из четырех колоколообразных кривых с максимумами чувствительности в красной (К или LWS) - 630 нм, зеленой (З или MWS) 555-565 нм, синей (С или SWS2) - 480 нм, ультрафиолетовой (Уф или SWS1) - 380 нм, и с уровнями в областях спектра: ультрафиолетовой – 20%, синей – 83%, зеленой – 100%, красной – 64%. Далее кривые, с максимумами чувствительности в красной, зеленой, синей, ультрафиолетовой области будут обозначены как «составляющие». Имеются материалы, в которых показано, что оптимизация спектрального состава источников излучения осуществляется с учетом данной кривой [9].

В то же время в материале из свободной русской энциклопедии «Традиция» приводится функция относительной спектральной чувствительности органа зрения птицы с максимумами чувствительности на других длинах волн: в ультрафиолетовой на длине волны 370 нм, синей – 445 нм, зеленой – 508 нм, красной – 565 нм, но у данной кривой указаны максимумы лишь с нормированными уровнями.

Расхождения данных исследований, касающиеся максимумов функции относительной спектральной чувствительности органа зрения птицы, можно объяснить различными условиями освещения, а именно, уровнями освещенности. Косвенные подтверждения вышеизложенному можно найти в исследованиях Mark O.North (США), свидетельствующие о том, что спектральный состав источников излучения в сине-зеленой области спектра благотворно воздействует на молодняк птицы. В этом случае можно

предположить, что по аналогии с функцией относительной спектральной световой эффективности функция относительной спектральной чувствительности органа зрения птиц при низких уровнях освещенности будет также иметь максимумы, сдвинутые в сторону более коротких длин волн.

Результаты исследования и их обсуждение

Для возможности учета изменений функции относительной спектральной чувствительности (ФОСЧ) органа зрения биообъекта была разработана универсальная программа для моделирования ФОСЧ органа зрения биообъекта-птица, написанная на платформе 1С-предприятие 8.2. В алгоритм программы вошли выражения 1-5. Данная программа позволяет получить табличное и графическое представление функции относительной световой эффективности органа зрения биообъекта, а также имеет дополнительный блок, который дает возможность определить эффективность излучения для каждой составляющей данной кривой в количественном отношении, позволяет производить расчеты интегрального и спектральных коэффициентов использования излучения.

На основе анализа литературных данных с помощью программы моделирования ФОСЧ органа зрения биообъекта-птица нами были сформированы кривые, формы которых представлены на рисунке 2 и 3, где Уф – рецепторы органа зрения птицы в ультрафиолетовой области спектра, С – в синей, З – в зеленой и К – в красной, ФОСЧ – функция относительной спектральной чувствительности органа зрения биообъекта. Уровни максимумов и их расположение для функции, представленной на рисунке 1, совпадают с данными N.B. Prescott & C.M. Wathes. Расположение максимумов по длинам волн функции, представленной на рисунке 2, в целом совпадает с расположением максимумов функции, представленной в материалах [10]. Результаты моделирования косвенно подтверждаются сведениями о характеристиках относительной спектральной чувствительности органа зрения птиц по данным [2,7].

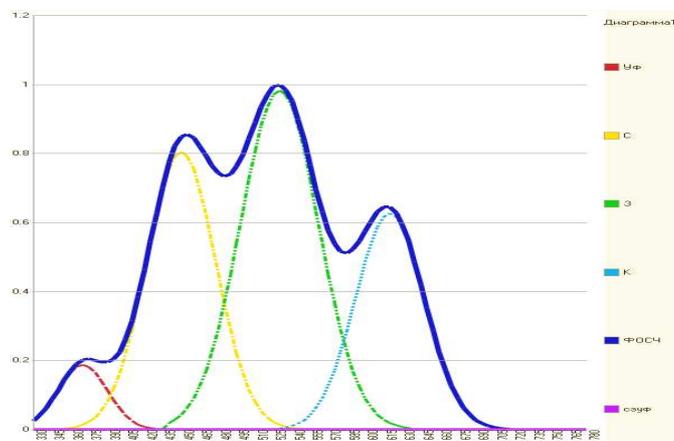


Рис. 1. Результаты моделирования функции относительной спектральной чувствительности органа зрения птицы (курицы) и соответствии с данными N.B. Prescott & C.M. Wathes.

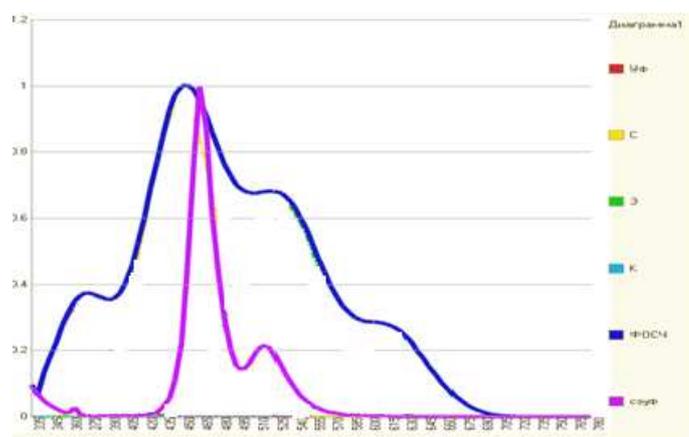


Рис. 2. Результаты моделирования функции относительной спектральной чувствительности органа зрения птицы (курицы) в соответствии с данными из свободной русской энциклопедии «Традиция» и спектральное распределение установки на базе синих и зеленых светодиодов и ультрафиолетовых источников излучения

При рассмотрении световой эффективности при действии светодиодов с сине-зеленым спектром и ультрафиолетовых источников излучения обнаружено, что максимум светодиодов совпадает с максимумом предложенной кривой для молодняка птицы (рисунок 2), и также попадает в область функции относительной спектральной чувствительности, представленной на рисунке 1.

Для проверки на практике теоретических положений была разработана осветительно-облучательная установка, в состав которой входит модуль из светодиодных сине-зеленых кластеров на основе р-п-перехода в InGaN, совмещенных в одной конструкции с эритемными лампами ЛЭ-15 и бактерицидными лампами ДБ-15. Излучение эритемных ламп (ЛЭ 15) в области А и В УФ спектра с максимумом излучения на длине волны 315 нм обладает эритемным и антирахитным действием. Бактерицидные лампы (ДБ 15) с излучением на длине волны 254 нм (область УФ С), обеспечивают обеззараживающее действие. Для оценки спектрального состава источников излучения комбинированной установки проводились измерения спектральных характеристик источников излучения. Спектральное распределение светодиодов, их энергетические потоки были получены с помощью спектрорадиометра OL770 в ЦКП светотехнического факультета ФГБОУ ВПО МГУ им. Н.П. Огарева. Спектральный диапазон спектрорадиометра OL770 составляет 380-1100 нм. Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений координат цветности: $\Delta x=0,0002$, $\Delta y=0,0004$. Для получения спектра ультрафиолетовых ламп использовалась экспериментальная установка с монохроматором дифракционным МДР-23 с спектральным диапазоном 200 – 2000 нм; фокусным расстоянием 0,60 м и с шагом сканирования 0,003 нм. Точность отсчета, мм 0,01, воспроизводимость по шкале длин волн 0,025 нм. В качестве фотоприемника использовался ФЭУ-100.

По аналогии с растениеводством для осветительных установок в птицеводстве оценку эффективности источников света можно провести по коэффициенту использования излучения [8]. Сравнительный анализ с учетом смоделированной кривой (рисунок 2) показал, что у светотехнической установки с синие-зелеными светодиодами и ультрафиолетовыми источниками излучения, коэффициент использования излучения составил 81 % , в то время как у традиционных источников излучения (разрядных ламп низкого и высокого давления) в среднем он варьируется в пределах от 50 до 60%.

Исследования по влиянию на продуктивные показатели птицы источников излучения со спектральным составом в синие-зеленой и ультрафиолетовой области спектра, входящих в состав разработанной осветительно-облучательной установки, при одновременном ее использовании с установкой общего освещения с лампами типа ЛБ-40, проводились на молодняке ремонтных курочек и петушков промышленного стада кросса «Ross 308» по выборкам из 50 голов кур-несушек и 30 голов петушков в опытной и контрольных группах. Обработка статистических данных продуктивных показателей птицы (привесы, яйценоскость на среднюю несушку) проводилась на ПЭВМ в программе Excel. Однородность стада рассчитывалась с помощью специальной программы по коэффициенту вариации (Cv) с точностью до $\pm 0,1\%$. Живая масса определялась на весах с точностью взвешивания до $\pm 0,5$ г. В результате исследований при сравнении усредненных значений показателей по каждой группе установлено, что выход яиц в контрольной группе был выше на 9,8%, живая масса для петушков была больше на 5%, чем в опытной группе. Однородность контрольной группы была выше на 4%. Воздействие комбинированного излучения позволило повысить сохранность на 3%. [4].

Выводы

В результате проведенных исследований осуществлено моделирование ФОСЧ органа зрения биообъекта-птицы при меняющихся соотношениях составляющих уровней цветных рецепторов в зависимости от изменений уровней освещенности; приведены результаты моделирования, согласующиеся с данными литературных источников.

С учетом ФОСЧ органа зрения биообъекта-птицы проведена оценка эффективности спектрального состава источников излучения в предлагаемой светотехнической установке на базе светодиодов и ультрафиолетовых ламп; интегральный коэффициент использования излучения данной установки составил 81%.

В качестве практических рекомендаций следует отметить, что целесообразно продолжить исследования по выявлению оптимального соотношения спектрального состава источников излучения с учетом функции относительной спектральной чувствительности органа зрения биообъекта-птица на основе ее влияния на показатели продуктивности птицы,

а также продолжить исследования по уточнению ФОСЧ органа зрения биообъекта-птица для различных уровней освещенности (яркости).

Список литературы

1. Коваленко, О.Ю. Основы действия оптического излучения на биообъект / О.Ю. Коваленко, С.А. Овчукова, С.А. Микаева // Инженерная физика. – 2008. – №2. –С.43-48.
2. Маилян Э.С. Роль света в бройлерном птицеводстве / Био № 11(98). -2008. С.9-11.
3. Пильщикова Ю.А., Коваленко О.Ю. Создание высокоэффективных источников света и световых приборов для птицеводства / Современные проблемы и пути их решения в науке, транспорте, производстве и образовании. Сборник научных трудов Sworld. Выпуск 2.- 2013. С.45-47.
4. Пильщикова Ю.А., Коваленко О.Ю., Овчукова С.А. Влияние комбинированного излучения на молодняк птицы/ Вестник ФГОУ ВПО МГАУ №2 2012 год, г. Москва – 2012, с.29-31.
5. Ронки, Л. Функции относительной спектральной световой эффективности в стандартах и отклонения от них на практике / Л. Ронки, Я. Шанда // Светотехника. – 2003. – №4 . – С. 14 – 19.(218)
6. Русская энциклопедия: Традиция/Цветное зрение у птиц // <http://traditio-ru.org/wiki/>
7. Серобаба А.А., Овчинников С.С. Изменение спектральной световой эффективности излучения при уменьшении яркости как результат перестройки взаимодействия световоспринимающих рецепторов. / Светотехника и электроэнергетика №1 – 2010. С. 45-51.
8. Anders Ödeen¹ and Olle Håstad / The phylogenetic distribution of ultraviolet sensitivity in birds // Ödeen and Håstad. Department of Animal Ecology, Uppsala University, Norbyvägen, Sweden, Uppsala BMC Evolutionary Biology 2013, с.10
9. Lee. Highly energy-efficient agricultural lighting by B+R LEDs with beam shaping using micro-lens diffuser / Optical communications, 2011. - volume 291, p.7-14
10. Prescott N.B. Spectral sensitivity of the domestic fowl / Prescott N.B., Wathes C.M. British Poultry Science '1999'. Issue 3. Volume 40. - Silsoe Research Institute, Bedfordshire, England, UK: 1999. – P. 332-339.

Рецензенты:

Данилов А.А., д.т.н., профессор, заместитель директора ФБУ «Пензенский ЦСМ», г. Пенза.

Левцев А.П., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой теплоэнергетических систем ФГБОУ ВПО «МГУ им. Н.П.Огарева», г. Саранск.