2(42) 2018

# ВЕСТНИК
# АГРАРНОЙ НАУКИ ДОНА

## Don agrarian science bulletin






*Теоретический*
*и научно-практический журнал*

ISSN 2075-6704

# ВЕСТНИК АГРАРНОЙ НАУКИ ДОНА

ISSN 2075-6704

Свидетельство ПИ № ФС77-47152 от 3 ноября 2011 г.

2 (42) 2018

**Учредители:** Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Донской государственный аграрный университет», Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Аграрный научный центр «Донской», Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации»



**Гл. редактор**
КЛИМЕНКО А.И. — доктор сельскохозяйственных наук, профессор, академик РАН, ректор ФГБОУ ВО «Донской государственный аграрный университет»

**Зам. главного редактора**
СЕРЁГИН А.А. — кандидат технических наук, профессор, директор Азово-Черноморского инженерного института – филиала ФГБОУ ВО «Донской государственный аграрный университет» в г. Зернограде

**Редакционная коллегия:**
СТРЕБКОВ Д.С. — доктор технических наук, профессор, академик РАН, ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ» (г. Москва, Россия)
ЛИПКОВИЧ Э.И. — доктор технических наук, профессор, академик РАН Азово-Черноморский инженерный институт – филиал ФГБОУ ВО «Донской государственный аграрный университет» в г. Зернограде
ШКРАБАК В.С. — доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет» (г. Пушкин, Россия)
ВАСИЛЬЕВ А.Н. — доктор технических наук, профессор, ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ» (г. Москва, Россия)
ЛОБАЧЕВСКИЙ Я.П. — доктор технических наук, профессор, член-корреспондент РАН, ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ» (г. Москва, Россия)
ЮДАЕВ И.В. — доктор технических наук, доцент, Азово-Черноморский инженерный институт – филиал ФГБОУ ВО «Донской государственный аграрный университет» в г. Зернограде
БОНДАРЕНКО А.М. — доктор технических наук, профессор, Азово-Черноморский инженерный институт – филиал ФГБОУ ВО «Донской государственный аграрный университет» в г. Зернограде
САДЫКОВ Ж.С. — доктор технических наук, профессор, академик МАИ и НАК, Научно-исследовательский институт агроинженерных проблем и новых технологий (г. Алматы, Республика Казахстан)
ВИТЕЗСЛАВ СТЫСКАЛА — кандидат технических наук, Ph.D, Технический университет (г. Острава, Чехия)
АРТЮХОВ И.А. — доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Саратовский государственный технический университет имени Ю.А. Гагарина» (Россия)
ОРЛОВ П.С. — доктор технических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Ярославская государственная сельскохозяйственная академия» (Россия)
БАРАНОВ Ю.Н. — доктор технических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет им. И.С. Тургенева» (Россия)
КАЗАНЦЕВ С.П. — доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева» (Россия)
ЛЕБЕДЕВ А.Т. — доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Ставропольский государственный аграрный университет» (Россия)



**Составитель** Мирошникова З.В.
**Редактор** Лучинкина Н.Л.
**Художественный редактор** Вылегжанина С.Л.
**Компьютерная верстка** Гвоздик Н.В.
**Перевод** Серёгина Е.А.

Подписано в печать 29.06.2018 г. Выход в свет 27.06.2018 г. Формат 60×84 1/8. Уч.-изд. л. 12,6. Тираж 1000 экз. Заказ № 30.

**Адрес редакции:** 347740, Ростовская область, г. Зерноград, ул. Ленина, 21
**Телефон/факс/E-mail:** (863-59) 43-8-97, (863-59) 43-3-80; vand2008@mail.ru

**В соответствии с решением Президиума Высшей аттестационной комиссии Министерства образования и науки Российской Федерации от 29.12.2015 г. журнал включен в перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней кандидата и доктора наук.**

**Журнал включен в Российский индекс научного цитирования (РИНЦ) и входит в базу данных AGRIS ФАО ООН, Ulrich's Periodicals Directory американского издательства Bowker.**

При перепечатке материалов ссылка на «Вестник аграрной науки Дона» обязательна.

В издании рассматриваются научные проблемы обеспечения функционирования различных отраслей АПК.

Предназначен для материалов предназначен для ученых, преподавателей, аспирантов и студентов вузов, руководителей предприятий АПК, слушателей курсов повышения квалификации и др.



© ФГБОУ ВО Донской ГАУ, 2018
© ФГБНУ «АНЦ «Донской», 2018
© ФГБНУ РосНИИПМ, 2018

# DON AGRARIAN SCIENCE BULLETIN

ISSN 2075-6704

Certificate ПИ № ФС77-47152 from November 3, 2011 г.

2 (42) 2018

**Constitutors:** Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Don State Agrarian University», State Scientific Establishment «Agricultural Research Center «Donskoy», Federal State Budgetary Scientific Institution «Russian Research Institute of Melioration Problems»



**Editor in chief**

KLIMENKO A.I. — Doctor of Agricultural Sciences, Academician of the Russian Academy of Sciences (RAS), rector of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education (FSBEI HE) «Don State Agrarian University»

**Deputy editor in chief**

SERYOGIN A.A. — Candidate of Technical Sciences, professor, director of the Azov-Black Sea Engineering Institute – branch of FSBEI HE «Don State Agrarian University» in Zernograd

**Editorial staff:**

STREBKOV D.S. — Doctor of Technical Sciences, professor, Academician of the RAS, FSBSI «Federal Scientific Agroengineering Center All-Russian Institute for Mechanization» (Moscow, Russia)

LIPKOVICH E.J. — Doctor of Technical Sciences, professor, Academician of the RAS, Azov-Black Sea Engineering Institute – branch of FSBEI HE «Don State Agrarian University» in Zernograd

SHKRABAK V.S. — Doctor of Technical Sciences, professor, FSBEI HE «St.-Petersburg State Agrarian University» (Pushkin, Russia)

VASILJEV A.N. — Doctor of Technical Sciences, professor, FSBSI «Federal Scientific Agroengineering Center All-Russian Institute for Mechanization» (Moscow, Russia)

LOBACHEVSKY Ya.P. — Doctor of Technical Sciences, professor, Corresponding Member of the RAS, FSBSI «Federal Scientific Agroengineering Center All-Russian Institute for Mechanization» (Moscow, Russia)

YUDAEV I.V. — Doctor of Technical Sciences, associate professor, Azov-Black Sea Engineering Institute – branch of FSBEI HE «Don State Agrarian University» in Zernograd

BONDARENKO A.M. — Doctor of Technical Sciences, professor, Azov-Black Sea Engineering Institute – branch of FSBEI HE «Don State Agrarian University» in Zernograd

SADYKOV Zh.S. — Doctor of Technical Sciences, professor, Academician MAI and NAK, Research Institute of Agroengineering Problems and New Technologies (Alma-Aty, Kazakhstan)

VITEZSLAV STYSKALA — Doctor of Engineering, professor, Technická Univerzita Ostrava (VŠB – TUO) (Ostrava, Czech Republic)

ARTYUKHOV I.I. — Doctor of Technical Sciences, professor, FSBEI HE «Yuri Gagarin State Technical University of Saratov» (Russia)

ORLOV P.S. — Doctor of Technical Sciences, assistant professor, FSBEI HE «Yaroslavl' State Agricultural Academy» (Russia)

BARANOV Yu.N. — Doctor of Technical Sciences, assistant professor, FSBE HE «Turgenev Oryol State University» (Russia)

KAZANTSEV S.P. — Doctor of Technical Sciences, professor, FSBEI HE «Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy» (Russia)

LEBEDEV A.T. — Doctor of Technical Sciences, professor, FSBEI HE «Stavropol State Agrarian University» (Russia)



**Compiler** Miroshnikova V.V
**Editor** Luchinkina V.P.
**Art editor** Vdovkina S.P.
**Computer editors** Gvozdik N.V.
**English version executive** Seryogina E.A

Signed to publishing – 29.06.2018. Published – 27.06.2018. Format 60×84 1/8. Circulation 1000 copies. Order No 30.

**Editor's address:** 347740 Russia region, Zernograd, 21, Lenin St.
**Tel./fax/E-mail:** (863-59) 43-8-97, (863-59) 43-3-80; vestd2005@mail.ru

**According to the decision of Presidium of Higher attestation commission of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation on 29.12.2015 the journal was included into the list of leading peer-reviewed journals and issues where candidate and doctoral degree thesis basic scientific results should be published.**

**The journal is included into the Russian Science Citation Index (RISC) and is included into AGRIS international data base of FAO UN, the Ulrich's Periodicals Directory database of Bowker american publishing house.**



When recopying the materials one must refer to «Don agrarian science bulletin».


This journal deals with the scientific problem of different fields functioning in Agro-Industrial Complex. The material is for scientists, lectures, post-graduates, students of higher educational institutions, heads of agricultural enterprises, students of retraining courses.


© FSBEI HE Don SAU, 2018
© SSE «ARC «Donskoy», 2018
© FSBSI RRIMP, 2018

## СОДЕРЖАНИЕ

### *Технологии, средства механизации и энергетическое оборудование*

**Краснов И.Н., Бабенко С.Н.**
Совершенствование конструкции доильных стаканов..... 5

**Кузнецов П.Н., Юферев Л.Ю.**
Исследование повышения эффективности фотоэлектрических установок, работающих в условиях частичного затенения..... 12

**Петров Е.Е.**
Определение закона распределения плотности вероятностей значений коэффициента засорённости зерна на экспериментальной пальцевой решётке стрясной доски..... 22

**Арженовский А.Г.**
Разработка и комплектование измерительно-вычислительного комплекса для определения динамических и топливно-экономических показателей МТА. 26

**Лаврухин П.В.**
Направление создания новой генерации посевных машин..... 33

**Сиротин П.В., Лебединский И.Ю.**
Обоснование и анализ применения гибридных динамических моделей для исследования систем подрессоривания кабин зерно- и кормоуборочных комбайнов... 39

**Нагорнов С.А., Мещеряков А.Г., Мещерякова Ю.В.**
Очистка биотоплива углекислым газом..... 48

**Сыркин В.А., Гриднева Т.С., Крючин П.В., Машков С.В., Васильев С.И.**
Стимулирование семян чечевицы импульсным магнитным полем..... 53

## CONTENTS

### *Technology, mechanization and power equipment*

**Krasnov I.N., Babenko S.N.**
Improvement of the teat cups design... 5

**Kuznetsov P.N., Yuferev L.Yu.**
Improving the efficiency of photoelectric systems working in partial shading..... 12

**Petrov E.E.**
The definition of the law of distribution of density of probabilities of the coefficient values of grain pollution at the experimental grid shaking finger board.... 22

**Arzhenovskij A.G.**
Development and completing of measuring and computing complex to determine the dynamic and fuel-economic indicators of MTA..... 26

**Lavrukhin P.V.**
The direction of the creation of a new generation of seeding machines 33

**Sirotin P.V., Lebedinsky I.Yu.**
Substantiation and analysis of the application of hybrid dynamic models ащк research of suspension systems of the cabin of grain and forage harvesters..... 39

**Nagornov S.A., Meshcheryakov A.G., Meshcheryakova Yu.V.**
Purificationn of biofuels by carbon dioxide..... 48

**Syrkin V.A., Gridneva T.S., Kryuchin P.V., Mashkov S.V., Vasil'ev S.I.**
Stimulation of lentil seeds by impulse magnetic field..... 53

**Калиновский А.А., Чупрынин Ю.В., Новиков А.А.**
Моделирование и повышение эффективности эжекционного отсоса пыли из воздухозаборника выхлопными газами двигателя сельскохозяйственной машины.... 58

**Джасов Д.В., Иванов Д.Н., Шантыко А.С.**
Оптимизация параметров механизма подъёма капота косилки с применением газовых пружин..... 65

**Виноградов А.В., Зелюкин В.И., Семенов А.Е., Виноградова А.В.**
Эффективность использования автоматического повторного включения в сопоставлении с причинами повреждений ВЛ-10 кВ..... 73

**Газалов В.С., Шабаев Е.А., Романовец М.М.**
Динамические системы освещения в помещениях для сельскохозяйственных животных..... 80

*Техносферная безопасность*

**Шкрабак В.С., Попов А.А., Данилова С.В.**
Результаты исследований снижения запыленности воздуха с использованием мелкодисперсной воды в помещении овощехранилища при доработке корнеклубнеплодов..... 87

**Шабанов Н.И., Пятикопов С.М.**
Энергетическая оценка взрывопожароопасных объектов..... 92

**Kalinouski A.A., Chuprynin Yu.V., Novikov A.A.**
Modeling and improving the efficiency of ejection suction of dust from the air intake by the exhaust gases of the engine of the agricultural machine.. 58

**Jasov D.V., Ivanov D.N., Shantyko A.S.**
Optimization of parameters of the mechanism of raising the mower hood with the use of gas springs..... 65

**Vinogradov A.V., Zelyukin V.I., Semenov A.E., Vinogradova A.V.**
Efficiency of use of automatic re-inclusion in comparison with the damage causes to the 10 kV overhead line..... 73

**Gazalov V. S., Shabaev E.A., Romanovets M. M.**
Dynamic lighting system in the premises for agricultural animals..... 80

*Technosphere safety*

**Skrabak V.S., Popov A.A., Danilova S.V.**
The results of researches to reduce the dustiness of air by using fine water in the room vegetable storage in the finalization of root crops..... 87

**Shabanov N.I., Pyatikopov S.M.**
Energy assessment of explosive objects..... 92

13. Trojanowska M. Analiza statystyczna ciągłości dostaw energii elektrycznej odbiorcom z terenów wiejskich województwa małopolskiego. *Problemy Inżynierii Rolniczej*, 2007, 3(57), pp. 43–48.

**Сведения об авторах**

**Виноградов Александр Владимирович** – кандидат технических наук, заведующий кафедрой «Электроснабжение», ФГБОУ ВО «Орловский государственный аграрный университет имени Н.В. Парахина» (Российская Федерация). Тел.: +7-920-287-90-24. E-mail: schkolamolen@gmail.com.

**Зелюкин Василий Иванович** – учебный мастер кафедры «Электроснабжение», ФГБОУ ВО «Орловский государственный аграрный университет имени Н.В. Парахина» (Российская Федерация). Тел.: +7-920-287-64-38. E-mail: zevi@rambler.ru.

**Семёнов Александр Евгеньевич** – старший преподаватель кафедры «Электроснабжение», ФГБОУ ВО «Орловский государственный аграрный университет имени Н.В. Парахина» (Российская Федерация). Тел.: +7-953-613-04-45. E-mail: semenow.ae@yandex.ru.

**Виноградова Алина Васильевна** – кандидат технических наук, доцент кафедры «Электроснабжение», ФГБОУ ВО «Орловский государственный аграрный университет имени Н.В. Парахина» (Российская Федерация). Тел.: +7-920-807-94-24. E-mail:alinawin@rambler.ru

**Information about the authors**

**Vinogradov Alexander Vladimirovich** – Candidate of Technical Sciences, head of the Power supply department, FSBEI HE «Orel State Agrarian University named after N.V. Parakhin» (Russian Federation). Phone: +7-920-287-90-24. E-mail: schkolamolen@gmail.com.

**Zelyukin Vasily Ivanovich** – training master of the Power supply department, FSBEI HE «Orel State Agrarian University named after N.V. Parakhin» (Russian Federation). Phone: +7-920-287-64-38. E-mail: zevi@rambler.ru.

**Semenov Alexander Evgenievich** – senior lecturer of the Power supply department, FSBEI HE «Orel State Agrarian University named after N.V. Parakhin» (Russian Federation). Phone: +7-953-613-04-45. E-mail: semenow.ae@yandex.ru.

**Vinogradova Alina Vasilyevna** – Candidate of Technical Sciences, associate professor of the Power supply department, FSBEI HE «Orel State Agrarian University named after N.V. Parakhin» (Russian Federation). Phone: +7-920-807-94-24. E-mail: alinawin@rambler.ru.

УДК 628.93/97:628.987

# ДИНАМИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ ОСВЕЩЕНИЯ В ПОМЕЩЕНИЯХ ДЛЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЖИВОТНЫХ

***© 2018 г. В.С. Газалов, Е.А. Шабаев, М.М. Романовец***

Эффективность животноводства зависит от процесса рационального содержания животных, которое в значительной мере определяется наличием оптимального микроклимата в помещениях. Без создания необходимых условий микроклимата животные не в состоянии сохранить здоровье и проявить свои потенциальные производительные способности. Одним из наиболее важных показателей микроклимата является освещение. Биологическое влияние на организм человека и животных сводится к световому и фотопериодическому воздействиям. Первое сводится к зрительным ощущениям человека и животного, позволяющим ориентироваться в окружающем пространстве. Фотопериодическое действие выражается в том, что при разном чередовании и длительности периодов освещения и темноты проявляется влияние на развитие животных и птицы. К светотехническим параметрам, определяющим световое воздействие, относятся уровень освещенности и его спектральный состав, а к фотопериодическому действию – продолжительность светового дня и режим освещения. Последние исследования ученых показывают, что кроме уровня освещенности на биоритмы человека и животных существенное влияние оказывает цветовая температура источников света. Чем выше значение коррелированной цветовой температуры, тем большее значение имеет функция относительной степени воздействия света произвольного спектра на циркадный ритм человека, а именно на функцию подавления выработки мелатонина. Правильно подобранная для биоритмов человека цветовая температура источников света позволяет улучшить самочувствие, повысить работоспособность и внимание. Это также может увеличить продуктивность животных и птицы, повысить сохранность поголовья и улучшить качественные показатели продукции. По мнению многих ученых, наиболее оптимальными являются осветительные установки, повторяющие динамику естественного спектра света в течение дня. Такие установки оказывали бы разное биологическое воздействие в течение суток и синхронизировали бы это воздействие с естественным светом.

***Ключевые слова:*** искусственное освещение, освещение животных, спектр источника света, цветовая температура источников света, влияние света на животных.

The efficiency of animal husbandry depends on a process of rational animals, which is largely determined by the availability of optimal microclimate in the premises. Without creating the necessary environment, animals are not able to maintain health and to show their potential productive capacity. One of the most important indicators of a microclimate is the lighting. Bio-

logical influence on the organism of humans and animals comes to light and photoperiodic influences. The first is to visual sensation of man and animal, which allows to navigate in the surrounding space. Photoperiodic effect is reflected in the fact that the different alternation and duration of periods of illumination and darkness effect on the development of animals and poultry. To the lighting parameters defining the influence of light, is the light level and its spectral composition, and photoperiod – length of daylight and lighting mode. Latest studies show that in addition to the level of illumination on the biorhythms of humans and animals is significantly affected by color temperature of light sources. The higher the value of correlated color temperature, the greater the value is a function of the relative degree of exposure to light of an arbitrary spectrum on the circadian rhythm, namely the function of suppressing production of melatonin. Correctly matched to human biorhythms color temperature of light sources allows to improve health, improve performance and focus. Also for animals can increase the productivity of livestock and poultry, to increase the safety of livestock and to improve the quality of the produce. According to many scientists, the best are the lighting systems that mimic the dynamics of natural spectrum light during the day. Such installations would have different biological effects during the day and would synchronize this effect with natural light.

***Keywords:*** artificial lighting, lighting of animals, spectrum of a light source, color temperature of light sources, the effect of light on animals.

***Введение.*** Эффективность животноводства зависит от процесса рационального содержания животных, которое в значительной мере определяется наличием оптимального микроклимата в помещениях. Какими бы высокими породными и племенными качествами ни обладали животные, без создания необходимых условий микроклимата они не в состоянии сохранить здоровье и проявить свои потенциальные производительные способности, обусловленные наследственностью. Влияние микроклимата проявляется через суммарное воздействие его параметров на физиологическое состояние, теплообмен, здоровье и продуктивность животных. Одним из наиболее важных показателей микроклимата является освещение.

Биологическое влияние света на организм человека и животных сводится к двум типам воздействия: световому и фотопериодическому. Первое относится к зрительным ощущениям человека и животного, позволяющим ориентироваться в окружающем пространстве. Второе воздействие выражается в том, что при разном чередовании и длительности периодов освещения и темноты проявляется влияние на развитие животных и птицы. К светотехническим параметрам, определяюшим световое воздействие, относится освещенность, цветность и спектральный состав, а к фотопериодическому действию – продолжительность светового дня и режим освещения.

Долгое время в животноводстве решающую роль в оценке силы биологического эффекта освещения отдавали параметру освещенности. Немногим меньше – продолжительности светового дня. При этом влиянием параметра цветности излучения пренебрегали. Одним из наиболее распространенных светотехнических параметров, позволяющих охарактеризовать цветность источника оптического излучения, является его цветовая температура (ЦТ).

Цветовая температура дает возможность описать цветность излучения всего одним параметром – температурой и связанной с ней спектром излучения абсолютно черного тела (АЧТ). Одним из наиболее известных источников излучения, имеющим спектр АЧТ, является солнце. Кореллированная цветовая температура характеризует спектр излучения, близкий по своей характеристике к АЧТ. Как показывают исследования [1, 2, 3, 4, 5], ЦТ оказывает серьезное влияние на биоритмы животных и человека. Биоритмы, повторяющиеся с периодичностью около дня, называются суточными или циркадными.

***Результаты исследований и их обсуждение.*** Еще в 2006 г. [1] Воут Ван Боммель говорил, что если сравнивать электрическое освещение с ЦТ =6000 К с освещением при ЦТ =3000 К, то биологическая эффективность первого приблизительно в 2 раза больше при одинаковой освещенности. Однако в исследованиях ученого не была представлена информация, о каких видах источников света (ИС) идет речь.

Другие исследователи, в частности А. Шаракшанэ [2], провел исследования по изучению влияниях различных ИС на биоритмы. В его работе оценивалось влияние спектров светодиодов (СИД), люминесцентных ламп (ЛН), дневного света и ламп накаливания (ЛН). Исследования показали, что чем большим значением ЦТ обладает источник света, тем выше функция влияния света на биоритмы человека (aCV). Эта функция характеризует степень воздействия света на подавление выработки гор-

мона мелатонина. Причем тенденция увеличения ЦТ и степень воздействия на биоритмы практически линейна и справедлива для всех видов источников света, используемых в эксперименте.

К подобным выводам пришли и словенские ученые Г. Бижак и М.Б. Кобав [3]. В их работе сравнивались спектры СИД, ЛЛ, металлогалогенных ламп (МГЛ), натриевых ламп низкого (НЛНД) и высокого давления (НЛВД), дуговых ртутных люминесцентных ламп (ДРЛ), смешанного света и света луны.

Значит, высказывание В. Боммеля, рассмотренное выше, справедливо для всех видов источников света, используемых на данный момент.

Чтобы понять причину такого влияния ЦТ, рассмотрим формулу степени относительного воздействия света произвольного спектра X(λ) на функцию подавления выработки гормона мелатонина CV:

$$a_{cv} = \frac{\int X(\lambda)c(\lambda)d(\lambda)}{\int X(\lambda)V(\lambda)d(\lambda)},$$

где V(λ) – функция спектральной фотопической световой эффективности;

c(λ) – кривая воздействия на циркадный ритм.

Функция спектральной чувствительности V(λ) основана на крайне малой доле (около 1–2%) фоторецепторов [3, 4]. Эти фоторецепторы не оказывают серьезного воздействия на циркадные ритмы человека. Оценку влияния спектра на суточный ритм рекомендуется проводить с помощью кривой чувствительности фоторецепторов c (λ), отражающей влияние спектрального состава света на подавление выработки гормона мелатонина (регулятора суточных ритмов).

За чувствительность этих фоторецепторов отвечают ганглиозные клетки сетчатки. Данные исследований [3, 4] свидетельствуют о наличии максимума чувствительности фоторецепторов (опсина А1), отвечающих за синхронизацию суточных ритмов при длине волны около 464 нм, что отличается от зрительного восприятия окружающей среды, обеспечиваемого посредством колбочек (λmax= 555 нм) и палочек (λmax= 509 нм). Так, например, при длине волны, превышающей 550 нм, чувствительность опсина А1 составляет менее 5% от максимального значения.

Коротковолновое излучение при длине волны 464 нм соответствует синей части спектра света. Источники света с наличием в спектре излучения значительной части коротковолнового излучения характеризуются высоким значением ЦТ излучения, с незначительной частью коротковолнового излучения – низкой ЦТ.

Хоть цветовая температура является собирательным понятием, характеризующим лишь определенную долю или соотношение излучаемых спектров, согласно представленным исследованиям, она достаточно точно отражает зависимость роста ЦТ и связанного с этим повышения значения функции подавления выработки мелатонина.

В результате с уверенностью можно сказать, что ЦТ является крайне важной характеристикой циркадной эффективности ИС. Пренебрежение данным параметром может пагубно отражаться на здоровье животных и человека. Доказано, что правильно подобранная для биоритмов человека цветовая температура источников света позволяет улучшить самочувствие, повысить работоспособность и внимание [1, 5].

Применение нового аспекта освещения в животноводстве позволяет существенно повысить его эффективность. По мнению биологов Е.А. Аристакесяна, В. Гриневича, основной механизм циклов «сна и бодрствования» человека схож со всеми млекопитающими, в частности, с сельскохозяйственными и домашними животными. Объяснятся это тем, что все животные эволюционировали в условиях естественной окружающей среды.

Мы предприняли попытку оценить степень воздействия ЦТ источников света на суточные ритмы коров молочного направления. Для того чтобы понять, насколько сильно может влиять ЦТ источников излучения на продуктивность и физиологическое состояние лактирующих коров, мы рассмотрели результаты некоторых последних исследований и программ освещения отечественных и зарубежных ученых и применяемые в них источники света.

Исследования Др. Джофа Дала из Университета Иллинойса [6], говорят о том, что можно повысить молочную продуктивность коров осенью и зимой от 5 до 16%, если выполнить следующие условия:

– освещенность составляет 200 лк (160 лк предоставляет необходимый минимум);

– коровы освещаются от 16 до 18 часов (длинный день);

– за светлым периодом следует 8-часовой период темноты.

Причиной такого эффекта, как отмечает автор, является замедление выработки гормона мелатонина и связанного с ним аутогенного фактора роста IGF-1, стимулирующего образование молока. Данная программа освещения активно продвигается и в РФ.

Для создания столь высокой освещенности предлагается использовать НЛВД типа ДНаТ и ламп МГЛ. Зная циркадную эффективность источников, можно по-новому взглянуть на рациональность выбора таких источников света.

Цветовая температура ДНаТ крайне низкая (около 2000–2200 К) [7]. В спектральном составе такого источника практически отсутствует коротковолновая составляющая. На долю циркадно-эффективного спектра излучения приходится мизерная его часть. Если принять актиничную (биохимически активную) дозу галогенных ЛН за 100%, то относительная циркадная эффективность ДНаТ, согласно данным исследования Г. Бижака и М.Б. Кобава [3], составит в среднем 20,6%, то есть почти в 5 раз меньше. Столь низкая циркадная эффективность, в свою очередь порождает необходимость в столь высоком уровне освещенности для подавления выработки мелатонина.

МГЛ имеют более широкий диапазон ЦТ (от 3000 до 6000 К). Наиболее распространены лампы теплого (около 3000 К) и нейтрально-белого (от 4200 до 4500 К) свечения. Спектр таких ламп обладает значительной долей коротковолнового излучения. Относительная циркадная эффективность ламп МГЛ составляет 101,4% и 183,4%, соответственно, то есть их циркадная эффективность в 5 и в 9 раз больше, чем в случае использования ДНаТ. В случае применения настолько более эффективного источника воздействия на циркадный ритм возникают сомнения о рациональности применения столь высокой освещенности при использовании ламп МГЛ.

В исследованиях О.В. Мусатовой оценивалось влияние различных уровней и источников света на продуктивные качества лактирующих коров. Для анализа использовались группы животных с освещением ЛН при освещенности 25–90 лк и группы с освещением лампами типа ДРЛ при уровнях освещенности 50–120 лк.

Применение ламп ДРЛ и повышение интенсивности освещения в помещении до 90 лк позволило получить на 16% больше молока, то есть ровно столько же, сколько максимально отмечается по данным исследования Д. Дала (при освещенности в 200 лк с лампами ДНаТ, МГЛ). Дальнейшее увеличение уровня освещенности не оказало заметного влияния на физиологические показатели и уровень молочной продуктивности коров. Таким образом, можно сказать, что этот уровень является достаточным для подавления секреции мелатонина данным типом источника света. Подобный эффект отмечается в исследовании А. Казакова [8], в котором наибольшее повышение продуктивности животных отмечено при освещенности 100 лк лампами ДРЛ.

Лампы типа ДРЛ обладают ЦТ около 3800 К. Спектральный состав таких источников имеет часть излучения в коротковолновой зоне. ДРЛ и обладают относительной циркадной эффективностью 134%.

Таким образом, для источников света с цветовой температурой около 4000 К наиболее рациональным с точки зрения повышения молочной продуктивности коров является уровень освещенности в 90–100 лк. При использовании источников света с низкой цветовой температурой для подавления выработки мелатонина освещенность должна составлять 160–200 лк. Следовательно, для создания равносильного биологического эффекта требуемая освещенность может быть снижена почти вдвое, что в свою очередь положительно сказывается на энергозатратах. Итак, высказывание В. Боммеля справедливо не только для человека, но и для животных.

На данный момент нет точных данных о степени воздействия света на функцию подавления выработки гормона мелатонина для каждого вида животных. Однако, как уже отмечалось ранее, механизм циркадной регуляции у всех млекопитающих подобен человеческому, спектральная чувствительность которого со световым воздействием лежит в области опсина витамина А1 (464 нм). Несмотря на это, зрительное восприятие у различных видов животных может отличаться. Например, известно, что у коров усеченная область в красном спектре

света, а у свиней зрительный аппарат крайне похож на человеческий.

В целом для млекопитающих источники света с низкой ЦТ (теплыми оттенками) действуют успокаивающе, в свою очередь с высокой ЦТ (холодными оттенками) – бодряще.

У птицы, в отличие от млекопитающих, свет воспринимается не глазными фоторецепторами, а напрямую шишковидной железой (эпифизом), в которой находятся экстраретинальные (внеглазные) фоторецепторы [9]. Свету, для того чтобы добраться до внеглазных рецепторов, необходимо преодолеть несколько барьеров: череп, кожу, мозговую ткань. Сделать это проще всего длинноволновому спектру света (красному), поэтому здесь наблюдается обратный эффект.

Птица очень чувствительна к параметрам освещения, поэтому здесь особенно важно учитывать все аспекты освещения. Воздействие красного цвета света на продуктивность кур-несушек было многократно доказано опытным путем. Исследования, проведенные А. Кавтарашвили, Е. Новоторовым, Д. Гладиным, Т. Колокольниковой (2011 г.), подтверждают влияние ЦТ на продуктивность кур-несушек. Так, лучшие результаты были показаны при локальном освещении светодиодными источниками света с ЦТ=3000К, что позволило увеличить яйценоскость начальной несушки на 9,8–16,0%, средней на 9,1–12,6%. Также отмечено положительное влияние на сохранность поголовья, массу яиц и повышение выхода яиц высокого сорта. Поэтому для кур-несушек наиболее рационально применение ИС с значительной составляющей длинноволнового диапазона. Таким диапазоном излучения обладают ИС теплого свечения с низкой ЦТ.

Для роста бройлеров более благоприятным является свет широкого спектра (от 415 до 560 нм) [10]. В таком случае рациональными ИС являются источники нейтрального и холодно-белого свечения со значительной составляющей коротковолнового излучения, обладающие более высокой ЦТ.

Помимо прочего, свет является очень важным регулятором поведенческой активности (спокойствие, агрессивность, привлечение внимания) сельскохозяйственных животных и их физиологических процессов (линька, половое созревание и пр.). Поэтому при выборе ЦТ источников света следует учитывать не только вид, но и направление выращивания животных.

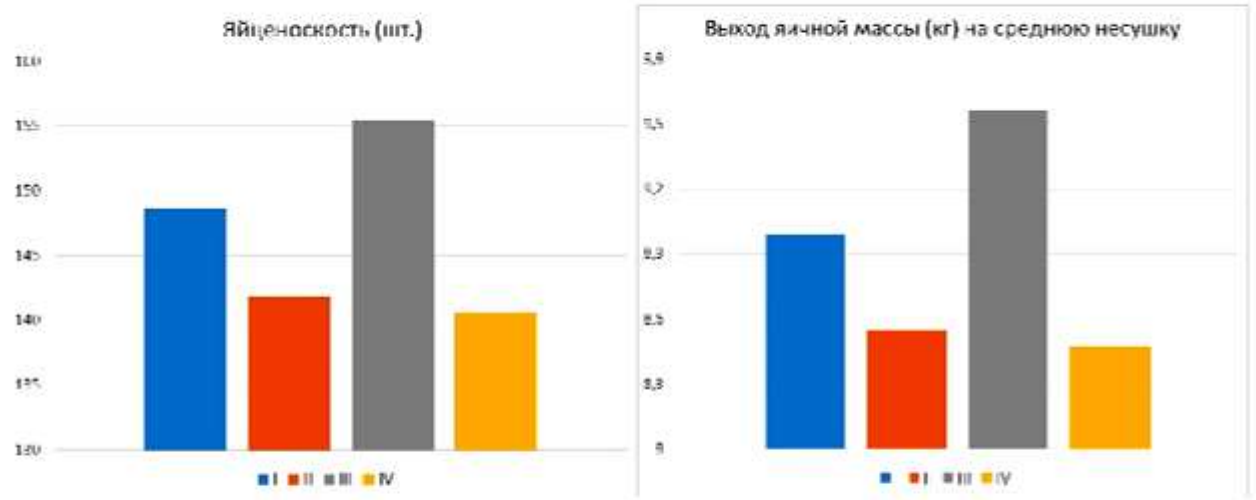
Важно сказать, что в последние годы одним из наиболее перспективных технологий в области светотехники является создание динамических систем освещения. При этом динамическими такие системы могут быть как по интенсивности освещения, так и по цветности излучения в течение суток.

По мнению передовых ученых в области светотехники [4, 5] наиболее оптимальными являются установки, повторяющие динамику цветности естественного света в течение дня. Такие установки оказывали бы разное биологическое воздействие в течение суток и синхронизировали бы это воздействие с естественным светом.

На наш взгляд, кажется очевидным тот факт, что динамика изменения цветности для сельскохозяйственных животных должна повторять естественную динамику ЦТ естественного света в течение суток либо должна быть связана с ней в зависимости от вида животных и направления выращивания животных.

Неоспоримым преимуществом динамической системы освещения с цветовой температурой оптического излучения является возможность наиболее полного воздействия на биоритмы животных. Можно более точно управлять поведением животных в течение дня, при этом за счет плавности изменения параметров у животных будут отсутствовать световые стрессы. Животные в таких системах лучше чувствуют время, определенное цветовое изменение вызывает у них адаптацию к режиму дня, приему пищи, они заранее готовятся ко сну. Происходит так называемый эффект синхронизации биоритмов.

Одно из последних исследований А. Кавтарашвили, Е. Новоторова, Д. Гладина и др. (2017 г.) доказывает влияние динамического изменения ЦТ на продуктивность кур-несушек (рисунок). В одном из вариантов реализованной динамики по сравнению со статичным режимом освещения удалось повысить яйценоскость птицы на 4,6%, выход яичной массы на 6,3%. Положительное влияние отмечено на массу яиц, выход яиц высшей, отборной и первой категории при снижении затрат на корма.




Результат исследования яйценоскости и выхода яичной массы при различных вариантах динамики цветовой температуры в течение «субъективного» дня, проведенного А. Кавтарашвили и др.

Таким образом, не только цветовая температура источника света, но и ее изменение в течение суток могут быть адаптированы к виду и направлению выращивания животных.

Однако при проектировании динамических систем освещения следует учитывать и экономическую составляющую. По-видимому, применять такую систему рационально для животных, обладающих высокой чувствительностью к фактору освещения. В некоторых условиях реализация динамической системы освещения с изменяемой ЦТ излучения может оказаться экономически нецелесообразной, например, при создании высокой освещенности. В таком случае следует отдавать предпочтение динамическим системам освещения с изменяемой освещенностью в течение суток.

***Выводы.*** Цветовая температура в значительной степени определяет биологическое воздействие света. Правильно подобранная ЦТ для биоритмов животных позволяет повысить эффективность системы освещения, в том числе увеличить продуктивность животных и птицы, повысить сохранность поголовья и улучшить качественные показатели продукции. По мнению передовых ученых в области светотехники, наиболее оптимальными являются осветительные установки, повторяющие динамику естественного спектра света в течение дня. Такие установки оказывали бы разное биологическое воздействие в течение суток и синхронизировали бы это воздействие с естественным светом. Более точное воздействие на биоритмы животных положительно сказывается на их продуктивности и физиологическом состоянии. Очевидным является факт необходимости технического совершенствования систем освещения в животноводстве, позволяющий реализовывать динамические системы освещения с низкими капитальными затратами.

**Литература**

1. Боммель, В. Динамическое освещение рабочих помещений – по уровню освещенности и цвету / В. Боммель // Светотехника. – 2006. – № 6. – С. 15–18.

2. Шаракшанэ, А. Влияние освещения на циркадный ритм человека / А. Шаракшанэ // Полупроводниковая светотехника. – 2012. – № 4. – С. 52–56.

3. Бижак, Г. Спектры излучения светодиодов и спектр действия для подавления секреции мелатонина / Г. Бижак, М.Б. Кобав // Светотехника. – 2012. – № 3. – С. 11–16.

4. Ри, М. Циркадная фотобиология: новые горизонты практической и теоретической светотехники / М. Ри, М. Фигуэро, Д. Баглоу // Полупроводниковая светотехника. – 2012. – № 4. – С. 58–63.

5. Дехофф, П. Воздействие изменяющегося света на здоровье людей во время работы / П. Дехофф // Светотехника. – 2006. – № 3. – С. 54–57.

6. Дал, Д. Влияние освещения и светового режима на продуктивность и здоровье [Электронный ресурс]. – 2017. – URL: http://gov.cap.ru/SiteMap.aspx?gov_id=106&id=1519998.

7. Каталог продукции фирмы REFLUX: натриевые лампы [Электронный ресурс]. – URL: http://www.reflux.ru/catalog/natrievye-lampy/.

8. Казаков, А. Влияние светового режима на продуктивность лактирующих коров / А. Казаков // Молочное и мясное скотоводство. – 2009. – № 3. – С. 12–13.

9. Каким должно быть освещение в птичнике [Электронный ресурс]. – 2017. – URL: http://effenergy.ru/blog/poleznaya-informatsiya/kakim-dolzhno-byt-osveshchenie-v-ptichnike/.

10. Маилян, Э.С. Роль света в бройлерном птицеводстве [Электронный ресурс]. – 2017. – URL: http://www.tehkorm.ru/publikatsii/ptitsevodstvo/svet-v-broilernom-ptitsevodstve.html.

**References**

1. Bommel' V. Dinamicheskoe osveshhenie rabochih pomeshhenij – po urovnju osveshhennosti i cvetu [Dynamic lighting of workplaces – in terms of light and color], *Svetotehnika*, 2006, No 6, pp. 15–18.

2. Sharakshanje A. Vlijanie osveshhenija na cirkadnyj ritm cheloveka [The effects of lighting on circadian rhythm], *Poluprovodnikovaja svetotehnika*, 2012, No 4, pp. 52–56.

3. Bizhak G., Kobav M.B. Spektry izluchenija svetodiodov i spektr dejstvija dlja podavlenija sekrecii melatonina [Emission spectra of the LEDs and the action spectrum for suppression of melatonin secretion]. *Svetotehnika*, 2012, No 3, pp. 11–16.

4. Ri M., Figujero M., Ballou D. Cirkadnaja fotobiologija: novye gorizonty prakticheskoj i teoreticheskoj svetotehniki [Circadian photobiology: new horizons practical and theoretical lighting], *Poluprovodnikovaja svetotehnika*, 2012, No 4, pp. 58–63.

5. Dehoff P. Vozdejstvie izmenjajushhegosja sveta na zdorov'e ljudej vo vremja raboty [The impact of charging light on human health during operation], *Svetotehnika*, 2006, No 3, pp. 54–57.

6. Da D. Vlijanie osveshhenija i svetovogo rezhima na produktivnost' i zdorov'e [The impact of lighting and light regime on the productivity and health] [Jelektronnyj resurs], 2017. URL: http://gov.cap.ru/SiteMap.aspx?gov_id=106&id=1519998.

7. Katalog produkcii firmy REFLUX: natrievye lampy [The product catalog of the company REFLUX: sodium lamp] [Jelektronnyj resurs], 2017. URL: http://www.reflux.ru/catalog/natrievye-lampy/.

8. Kazakov A. Vlijanie svetovogo rezhima na produktivnost' laktirujushhih korov [The effect of light regime or the productivity of lactating cows], *Molochnoe i mjasnoe skotovodstvo*, 2009, No 3, pp. 12–13.

9. Kakim dolzhno byt' osveshhenie v ptichnike [What should be the lighting in the house], 2017. [Jelektronnyj resurs], URL: http://effenergy.ru/blog/polezraya-informatsiya/kakim-dolzhno-byt-osveshchenie-v-ptichnike/.

10. Maijan Je.S. Rol' sveta v brojlernom pticevodstve [The role of light in broiler farming] [Jelektronnyj resurs], 2017. URL: http://www.tehkorm.ru/publikatsii/ptitsevodstvo/svet-v-broilernom-ptitsevodstve.html.

**Сведения об авторах**

**Газалов Владимир Сергеевич** – доктор технических наук, профессор кафедры «Эксплуатация энергетического оборудования и электрические машины», Азово-Черноморский инженерный институт – филиал ФГБОУ ВО «Донской государственный аграрный университет» в г. Зернограде (Ростовская область, Российская Федерация). Тел.: +7-928-135-87-77. E-mail: gazalv@rambler.ru.

**Шабаев Евгений Адимович** – кандидат технических наук, доцент кафедры «Эксплуатация энергетического оборудования и электрические машины», Азово-Черноморский инженерный институт – филиал ФГБОУ ВО «Донской государственный аграрный университет» в г. Зернограде (Ростовская область, Российская Федерация). Тел.: +7-928-769-38-93. E-mail: sea007@rambler.ru.

**Романовец Михаил Михайлович** – аспирант кафедры «Эксплуатация энергетического оборудования и электрические машины», Азово-Черноморский инженерный институт – филиал ФГБОУ ВО «Донской государственный аграрный университет» в г. Зернограде (Ростовская область, Российская Федерация). Тел.: +7-908-199-02-29. E-mail: chikamunar@yandex.ru.

**Information about the authors**

**Gazalov Vladimir Sergeevich** – Doctor of Technical Sciences, professor of the Operation of power installations and electrical machines department, Azov-Black Sea Engineering Institute – branch of FSBEI HE «Don State Agrarian University» in Zernograd (Rostov region, Russian Federation). Phone: +7-928-135-87-77. E-mail: gazalv@rambler.ru.

**Shabaev Evgeny Adimovich** – Candidate of Technical Sciences, associate professor of the Operation of power installations and electrical machines department, Azov-Black Sea Engineering Institute – branch of FSBEI HE «Don State Agrarian University» in Zernograd (Rostov region, Russian Federation). Phone: +7-928-769-38-93. E-mail: sea007@rambler.ru.

**Romanovets Mihail Mihaylovich** – post-graduate student of the Operation of power installations and electrical machines department, Azov-Black Sea Engineering Institute – branch of FSBEI HE «Don State Agrarian University» in Zernograd (Rostov region, Russian Federation). Phone: +7-908-199-02-29. E-mail: chikamunar@yandex.ru.