Т. 151 (57) 2022

ВЕСТНИК

ISSN 2075-6704

аграрной науки Дона

Don agrarian science bulletin

Теоретический и научно-практический журнал



ВЕСТНИК АГРАРНОЙ НАУКИ ДОНА

ISSN 2075-6704

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор). Свидетельство ПИ № ФС77-81787 от 09 сентября 2021 г. Издается с 2008 г. Выходит 4 раза в год.

Т. 15 № 1 (57) 2022

Учредитель: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Донской государственный аграрный университет»

Гл. редактор
КРАСНОВ И.Н. — доктор технических наук, профессор, Азово-Черноморский инженерный институт – филиал ФГБОУ ВО «Донской государственный аграрный университет» в г. Зернограде

Зам. главного редактора
НЕСМИЯН А.Ю. — доктор технических наук, доцент, Азово-Черноморский инженерный институт – филиал ФГБОУ ВО «Донской государственный аграрный университет» в г. Зернограде

Редакционная коллегия:
ЛОБАЧЕВСКИЙ Я.П. — доктор технических наук, профессор, академик РАН, ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ» (г. Москва, Россия)
ТАРАНОВ М.А. — доктор технических наук, профессор, член-корреспондент РАН, Азово-Черноморский инженерный институт – филиал ФГБОУ ВО «Донской государственный аграрный университет» в г. Зернограде
ВАСИЛЬЕВ А.Н. — доктор технических наук, профессор, ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ» (г. Москва, Россия)
ХАРЧЕНКО В.В. — доктор технических наук, профессор, ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ» (г. Москва, Россия)
КАЗАНЦЕВ С.П. — доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева» (г. Москва, Россия)
ШКРАБАК В.С. — доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет» (г. Пушкин, Россия)
ЮДАЕВ И.В. — доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет» (г. Пушкин, Россия)
БОНДАРЕНКО А.М. — доктор технических наук, профессор, Азово-Черноморский инженерный институт – филиал ФГБОУ ВО «Донской государственный аграрный университет» в г. Зернограде
СЕРЁГИН А.А. — доктор технических наук, профессор, Азово-Черноморский инженерный институт – филиал ФГБОУ ВО «Донской государственный аграрный университет» в г. Зернограде
АРТЮХОВ И.А. — доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Саратовский государственный технический университет имени Ю.А. Гагарина» (г. Саратов, Россия)
ОРЛОВ П.С. — доктор технических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Ярославская государственная сельскохозяйственная академия» (г. Ярославль, Россия)
БАРАНОВ Ю.Н. — доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет им. И.С. Тургенева» (г. Орёл, Россия)
ЛЕБЕДЕВ А.Т. — доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Ставропольский государственный аграрный университет» (г. Ставрополь, Россия)
ПАСТУХОВ А.Г. — доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Белгородский государственный аграрный университет имени В.Я. Горина» (г. Белгород, Россия)
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 — Doctor of Philosophy (Ph.D), профессор, Технический университет (г. Острава, Чехия)
СИРАКОВ К.А. — Doctor of Philosophy (Ph.D), доцент, Университет им. Ангела Кънчева (г. Русе, Болгария)

Составитель Мартынюкова З.В. – кандидат технических наук
Редактор Лучинкина Н.П.
Художественный редактор Вдовиченко С.П.
Компьютерная верстка Гвоздик Н.В.
Перевод Забелина Е.А.

Подписано в печать 02.03.2022 г. Дата выхода 30.03.2022 г. Формат 60×84 1/8. Уч.-изд. л. 12,6. Тираж 1000 экз. Заказ № 20.

Адрес издателя и 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

Издано в Азово-Черноморском инженерном институте ФГБОУ ВО Донской ГАУ. Цена свободная
Подписной индекс в Объединенном каталоге «Пресса России» – 43784

В соответствии с решением Президиума Высшей аттестационной комиссии Министерства образования и науки Российской Федерации от 28.12.2018 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 журнале рассматриваются научные подходы обоснования функционирования различных форм АПК.
Предназначен для научных работников, преподавателей, аспирантов и студентов вузов, руководителей предприятий АПК, слушателей курсов повышения квалификации и др.

© ФГБОУ ВО Донской ГАУ, 2022

DON AGRARIAN SCIENCE BULLETIN

ISSN 2075-6704

The journal is registered by Federal Agency for Supervision of Legislation Observance of Mass Communications Sphere and Cultural Heritage Protection. Certificate PI № FS77-81787 from 2021-09-09

T. 15 № 1 (57) 2022

Published since 2008, 4 issues per year

Constitutor: Feceral State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Don State Agrarian University»

Editor in chief

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

Deputy editor in chief

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

Editorial staff:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

PASTUKHOV A.G. — Doctor of Technical Sciences, professor, FSBEI HE «Belgorod State Agricultural University named after V. Gorin» (Belgorod, Russia)

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

VITEZSLAV STYSKALA — Doctor of Philosophy (Ph.D), professor, Technická Univerzita Ostrava (VŠB – TUO) (Ostrava, Czech Republic)

SIRAKOV K.A. — Doctor of Philosophy (Ph.D), associate professor, «Angel Kanchev University of Ruse» (Bulgaria)

Compiler Miroshnikova V.V. – Candidate of Technical Sciences

Editor Luchinkina N.P.

Art editor Vdovkina S.P.

Computer editors Gvozdik N.V.

English version executive Zatocmaia E.A.

Signed to publishing – 02.03.2022. Published date – 30.03.2022. Format 60×84 1/8. Circulation 1000 copies. Order No 20.

Editor's and publisher's address: 347740 Rostov region, Zernograd, 21, Lenin St.

Tel./fax/E-mail: (863-59) 43-8-97, (863-59) 43-3-63; vanc2008@mail.ru

Published at the Azov-Black Sea Engineering Institute of FSBEI HE «Don State Agrarian University». Free price

The subscription index in the United Catalog «Press of Russia» is 43784.

According to the decision of Presidium of Higher attestation commission of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation on 28.12.2018 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 database 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, 2022

СОДЕРЖАНИЕ

Технологии, средства механизации и энергетическое оборудование

Бекиров Э.А., Асанов М.М., Муртазаев Э.Р.
Оценка надежности электроснабжения сельскохозяйственных потребителей при питании от преобразователя энергии волн… 4

Юдаев И.В., Кокурин Р.Г., Грачёва Н.Н.
Автоматизация процесса электроимпульсной обработки растительного сырья..... 14

Должикова Н.Н., Лебедько Д.А., Краснов И.Н., Назаров И.В.
Обоснование конструктивных параметров вакуумного пресса..... 24

Исупова А.М., Хорольский В.Я.
К вопросу о внедрении автоматизированных способов расчета показателей надежности электрических сетей в практику деятельности сетевых предприятий..... 32

Жижкина Н.А., Тесля В.В.
Исследование равномерности восстановленного слоя ротора турбокомпрессора для МТП сельскохозяйственных предприятий..... 42

Суханова М.В.
Концептуальное обоснование использования ударопоглощающих рабочих органов сельскохозяйственных машин для снижения травмирования семян..... 51

Королёв В.А., Башилов А.М.
Аграрные электророботизированные модульные структуры..... 65

Шабаев Е.А., Романовец М.М., Кулачинский В.А.
Исследование нагрева светодиодов компактного светильника для системы локального освещения..... 78

Техносферная безопасность

Бобринев Е.В., Кондашов А.А., Удавцова Е.Ю.
Различия уровней пожарной опасности мест возникновения пожара в зданиях сельской агломерации..... 87

CONTENTS

Technology, mechanization and power equipment

Bekirov E.A., Asanov M.M., Murtazaev E.R.
Reliability assessment of electrical energy supply to agricultural consumers powered by a wave energy converter..... 4

Yudaev I.V., Kokurin R.G., Gracheva N.N.
Automation of the process of electro pulse processing of vegetable raw materials..... 14

Dolzhikova N.N., Lebedko D.A., Krasnov I.N., Nazarov I.V.
Justification of the design parameters of the vacuum press..... 24

Isupova A.M., Khorolskiy V.Ya.
To the issue of the adoption of automated methods calculation of the reliability indicators of electrical networks in the practice of network enterprises..... 32

Zhizhkina N.A., Teslya V.V.
The research of the uniformity of the restored rotor layer of a turbocharger for machine and tractor park of agricultural enterprises..... 42

Sukhanova M.V.
Conceptual rationale for the use of impact-absorbing elements of agricultural machines to reduce seed damage..... 51

Korolev V.A., Bashilov A.M.
Agricultural electric robotic modular structures..... 65

Shabaev E.A., Romanovets M.M., Kulachinskii V.A.
The research of the heating of LEDs of a compact luminaire for a local lighting system..... 78

Technosphere safety

Bobrinev E.V., Kondashov A.A., Udavtsova E.Yu.
Differences in fire hazard levels of fire sites in rural agglomeration buildings..... 87

Вестник аграрной науки Дона. 2022. Т. 15. № 1 (57). С. 78–86.
Don agrarian science bulletin. 2022; 15-1(57): 78–86.

Научная статья

УДК 628.981:62-971
doi: 10.55618/20756704_2022_15_1_78–86

ИССЛЕДОВАНИЕ НАГРЕВА СВЕТОДИОДОВ КОМПАКТНОГО СВЕТИЛЬНИКА ДЛЯ СИСТЕМЫ ЛОКАЛЬНОГО ОСВЕЩЕНИЯ*

*Работа выполнена при поддержке Фонда содействия инновациям (Договор № 16230ГУ/2021)

Евгений Адимович Шабаев[1], Михаил Михайлович Романовец[1], Виктор Андреевич Кулачинский[1]

[1]*Азово-Черноморский инженерный институт – филиал Донского государственного аграрного университета в г. Зернограде, Ростовская область, г. Зерноград, Россия, achgaa@achgaa.ru*

Аннотация. Компактный светодиодный светильник является одним из основных элементов системы динамического локального освещения клеток для содержания сельскохозяйственной птицы, позволяющий изменять уровень освещенности на нормируемой поверхности и цветовую температуру оптического излучения. Важной задачей проектирования светодиодных светильников является определение рабочей температуры светоизлучающего кристалла светодиода. От этого параметра зависят степень снижения светового потока в процессе эксплуатации, срок службы и надежность светильника. В разработанном светильнике для создания освещенности до 25 лк на уровне дна кормушки применены два светодиода фирмы SAMSUNG типа LM561B Plus с коррелированной цветовой температурой 2700 K и 5700 K, работающие при токе 100 мА. Целью исследования являлось определение температуры нагрева светодиодов компактного светильника системы локального освещения на трех разных типах печатной платы для светодиодов. В работе применен косвенный метод определения температуры светоизлучающего кристалла светодиода, основанный на температурном изменении падения прямого напряжения на светодиоде. Исследования были проведены на лабораторной установке, состоящей из светильника с исследуемой платой для светодиодов, подвеса, высокоточного параметрического стабилизатора тока, блока питания, персонального компьютера с платой АЦП LA70M4 и специализированного программного обеспечения. Обработка опытных данных производилась в программе MS Office Excel. Температура нагрева светоизлучающего кристалла на трех типах исследуемых палат составила: 57,4 °С, 50,4 °С и 41,7 °С, что обеспечивает благоприятный температурный режим работы светодиодов и способствует их длительному сроку службы. При рабочем токе 100 мА целесообразно применение платы с температурой светоизлучающего кристалла 57,4 °С, обладающей более низкой стоимостью изготовления. Ориентировочный срок службы светодиодов в таком температурном режиме работы составит около 90 тыс. ч.

Ключевые слова: локальное освещение, светильник, светодиод, светоизлучающий кристалл, температура, напряжение, световой поток, срок службы

Для цитирования: Шабаев Е.А., Романовец М.М., Кулачинский В.А. Исследование нагрева светодиодов компактного светильника для системы локального освещения // Вестник аграрной науки Дона. 2022. Т. 15. № 1 (57). С. 78–86.

© Шабаев Е.А., Романовец М.М., Кулачинский В.А., 2022

Original article

THE RESEARCH OF THE HEATING OF LEDS OF A COMPACT LUMINAIRE FOR A LOCAL LIGHTING SYSTEM*

*The work was carried out with the support of the Innovation Assistance Fund (Agreement № 16230GU/2021)

Evgenii Adimovich Shabaev[1], Mikhail Mikhailovich Romanovets[1], Viktor Andreevich Kulachinskii[1]
[1]*Azov-Black Sea Engineering Institute – branch of Don State Agrarian University in Zernograd, Rostov region, Zernograd, Russia, achgaa@achgaa.ru*

Abstract. The compact LED luminaire is one of the main elements of the dynamic local lighting system for poultry cages, which allows changing the level of illumination on the normalized surface and the color temperature of optical radiation. An important task in the design of LED luminaires is to determine the operating temperature of the light-emitting crystal. The degree of reduction of the luminous flux during operation, the service life and reliability of the luminaire depend on this parameter. In the developed luminaire, two SAMSUNG LM561B Plus LEDs with a correlated color temperature of 2700 K and 5700 K, operating at a current of 100 mA, are used to create illumination up to 25 lux on the bottom of the feeder. The purpose of the research was to determine the heating temperature of the LEDs of a compact luminaire of a local lighting system on three different types of printed circuit boards for LEDs. In the work, an indirect method for determining the temperature of a light-emitting crystal, based on the temperature change in the forward voltage drop across the LED, is applied. The research was carried out on a laboratory installation consisting of the luminaire with the investigated printed circuit board for LEDs, a suspension, a high-precision parametric current stabilizer, a power supply, a personal computer with an analog-to-digital converter board LA70M4 and specialized software. The heating temperature of the light-emitting crystal on the three types of printed circuit boards under study was: 57,4 °C, 50,4 °C and 41,7 °C, which ensures a favorable temperature mode for the LEDs and contributes to their long service life. With an operating current of 100 mA, it is advisable to use a printed circuit board with a light-emitting crystal temperature of 57,4 °C, which has a lower manufacturing cost. The approximate service life of LEDs in this temperature mode of operation will be about 90 thousand hours.

Keywords: local lighting, luminaire, LED, light-emitting crystal, temperature, voltage, luminous flux, service life

For citation: Shabaev E.A., Romanovets M.M., Kulachinskii V.A. The research of the heating of LEDs of a compact luminaire for a local lighting system. Vestnik agrarnoy nauki Dona = Don agrarian science bulletin. 2022; 15-1(57): 78–86. (In Russ.)

Введение. Одним из основных элементов системы динамического локального освещения клеток для содержания сельскохозяйственной птицы является компактный светодиодный светильник, который позволяет изменять уровень освещенности на нормируемой поверхности и цветовую температуру оптического излучения [1, 2]. Экспериментальный образец такого светильника представлен на рисунке 1. Конструктивные параметры светильника обоснованы в результате проведенных экспериментальных исследований [3]. Для обеспечения высокого уровня равномерности освещения дна кормушки в качестве корпуса светильника использована поликарбонатная труба-рассеиватель диаметром 25 мм длиной 90 мм с пазом под плату. Слепящий эффект от оптического излучения светодиодов (СИД) снижен за счет опаловой добавки в поликарбонате.



1 – труба-рассеиватель; 2 – заглушка; 3 – держатель светильника; 4 – сальник герметичный; 5 – питающий кабель

Рисунок 1 – Экспериментальный образец компактного светодиодного светильника

1 – diffuser pipe; 2 – plug; 3 – lamp holder; 4 – sealed stuffing box; 5 – power cable

Figure 1 – An experimental sample of a compact LED lamp

В компактном светильнике использованы два высокоэффективных светодиода фирмы SAMSUNG типа LM561B Plus номинальной мощностью 0,2 Вт с разной коррелированной цветовой температурой (КЦТ). Светодиод «теплого» свечения с КЦТ 2700 К при токе 65 мА создает световой поток 32–34 лм, СИД «холодного» свечения с КЦТ 5700 К – 32,5–34,5 лм [4]. Обладающие высокой светоотдачей, до 192 лм/Вт, светодиоды LM561B Plus могут работать при токе до 180 мА, если обеспечивается должный теплоотвод и нет перегрева светоизлучающего кристалла.

В разработанном светильнике (рисунок 1) для создания освещенности до 25 лк на уровне дна кормушки СИД работают при токе 100 мА. Важной задачей проектирования светодиодных светильников является определение рабочей температуры светоизлучающего кристалла (T_j) СИД. От этого параметра зависит степень снижения светового потока в процессе эксплуатации, срок службы и надежность светильника [5, 6].

На печатной плате со светодиодами «теплого» и «холодного» свечения (рисунок 2 *б*) для улучшения теплоотведения увеличена площадь медных проводников, к которым припаяны СИД (рисунок 2 *а*). Сверху плата покрыта специальным защитным слоем маски (рисунок 2 *б*). Для удобства выполнения подключений на плате припаяны трехконтактные самозажимные клеммники.



а *б*

а – исходная плата с медными дорожками; *б* – готовая плата с припаянными электронными компонентами

Рисунок 2 – Экспериментальный образец печатной платы со светодиодами

а – the original board with copper tracks; б – finished board with soldered electronic components

Figure 2 – An experimental sample of a printed circuit board with LEDs

Целью исследования являлось определение температуры нагрева светодиодов компактного светильника системы локального освещения при разных типах печатной платы для светодиодов.

Методика исследования. Прямое измерение температуры (T_j) светоизлучающего кристалла СИД весьма затруднительно. Поэтому практически используют различные методы косвенного определения T_j [6–8]. Наиболее доступными являются методики, основанные на температурных изменениях падения прямого напряжения (ΔU) на светоизлучающем кристалле, светового потока (ΔF) СИД.

Для сравнения данных методов было проведено предварительное исследование, которое показало, что метод определения по ΔF не позволяет точно определить T_j из-за инерционности используемого датчика освещенности [9]. На рисунке 3 представлено сравнение измерений во времени (горизонтальная ось) напряжений на СИД светильника и на выходе датчика освещенности. Для согласования уровней измеряемых напряжений с входным диапазоном АЦП использованы резистивные делители.

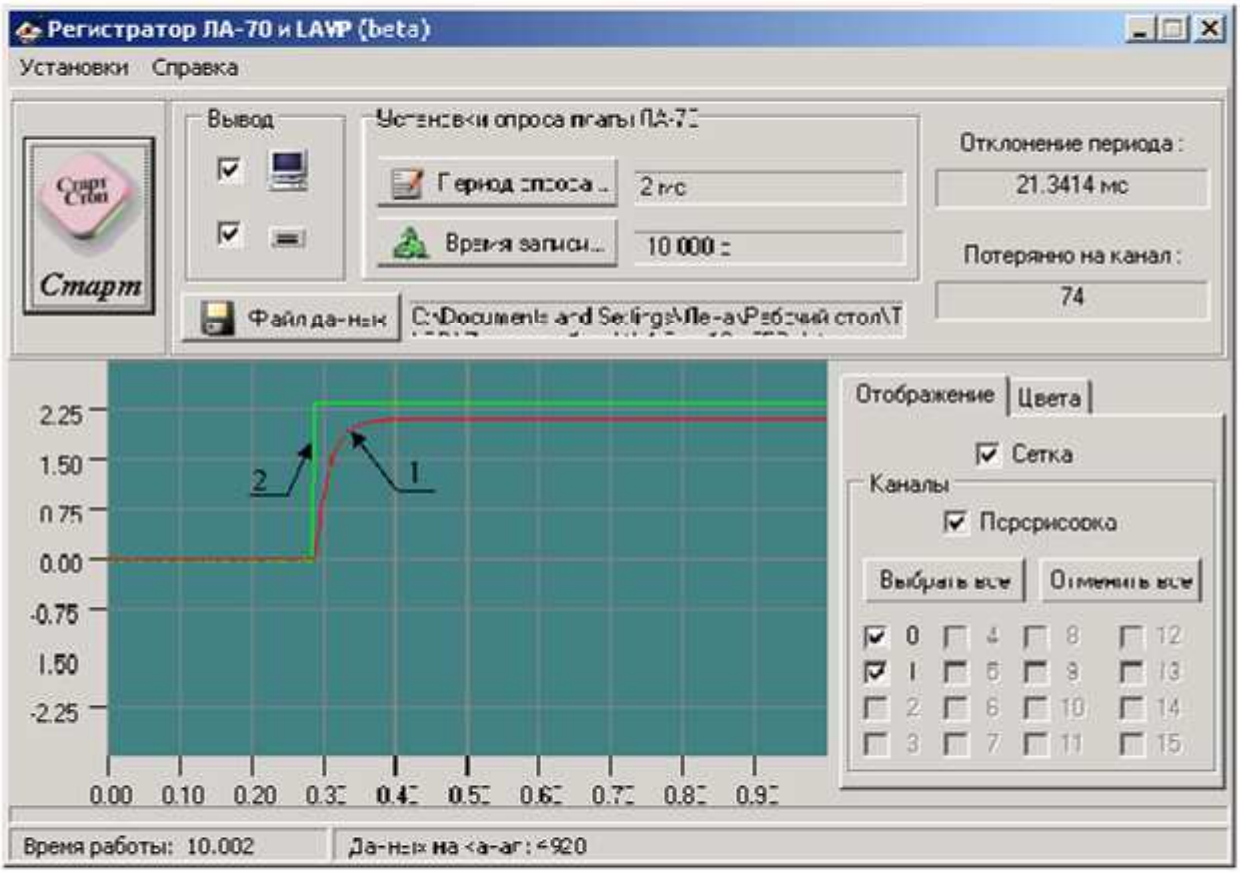


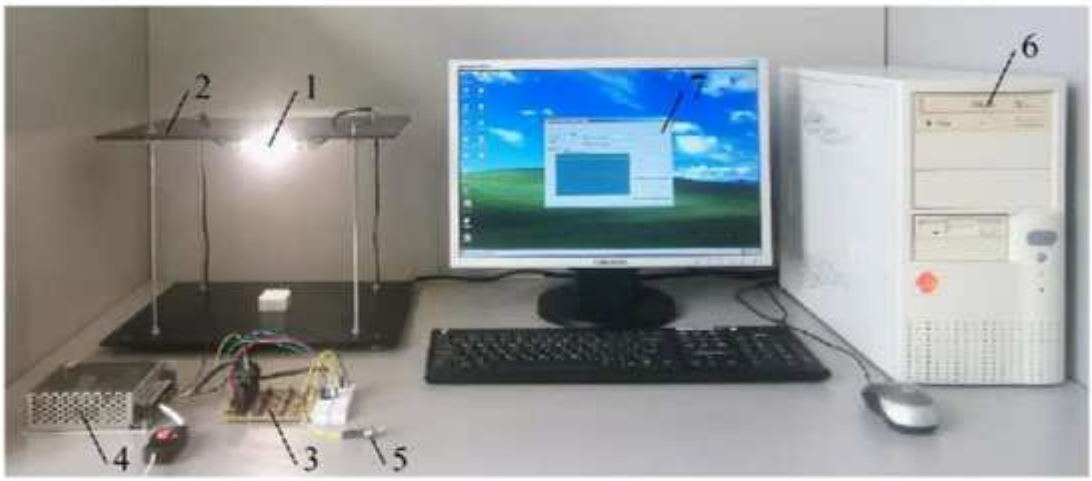
Рисунок 3 – Окно программы «Регистратор ЛА-70 и LAVP» с результатами измерений напряжения на выходе датчика освещенности (красная линия 1) и падения напряжения на СИД (зеленая линия 2), где: горизонтальная ось – время, с; вертикальная – напряжение, В

Figure 3 – The program window "Recorder LA-70 and LAVP" with the results of measuring the voltage at the output of the light sensor (red line 1) and the voltage drop on the LED (green line 2), where: the horizontal axis – time, s; vertical – voltage, V

Результаты исследования показали, что даже малая инерционность датчика освещенности ФС-03 [9] не позволяет отследить изменение температуры кристалла в первые доли секунды (рисунок 3) после включения СИД.

Дальнейшие детальные исследования рабочей температуры СИД проведены методом измерения ΔU, вызванного измене-

нием температуры светоизлучающего кристалла СИД (ΔT). Для этого разработана лабораторная установка, представленная на рисунке 4.



1 – исследуемый компактный светодиодный светильник; 2 – подвес с креплениями для светильника; 3 – стабилизатор тока; 4 – блок питания на 12 В; 5 – тумблер; 6 – системный блок ПК; 7 – окно программы «Регистратор ЛА-70 и LAVP»
Рисунок 4 – Лабораторная установка для проведения опытов

1 – researched compact LED lamp; 2 – lamp post; 3 – current stabilizer; 4 – power supply for 12 V; 5 – toggle switch; 6 – PC system unit; 7 – the program window "Recorder LA-70 and LAVP"
Figure 4 – Laboratory setup for experiments

На условия работы светодиода существенное влияние оказывают материал платы, толщина основания платы (d), толщина слоя меди ($d_м$), площадь активной медной охлаждающей поверхности ($S_О$). Эксперименты проведены для трех типов плат с двумя СИД, длиной A, шириной B и площадью $S_О$ (таблица 1). Для каждого типа плат конструкции, представленной на рисунке 2, использовались 5 опытных образцов.

Таблица 1 – Параметры экспериментальных плат

Table 1 – Parameters of experimental boards

Тип Type	Материал основания Base material	A, мм	B, мм	d, мм	$d_м$, мкм	$S_О$, мм^2
A	Стеклотекстолит (FR-4) Fiberglass (FR-4)	80	16	1,0	18	47,83
B	Стеклотекстолит (FR-4) Fiberglass (FR-4)	80	16	1,5	35	47,83
C	Алюминий (VT-4A2) Aluminum (VT-4A2)	80	16	1,0	35	47,83

Плата СИД располагалась в центре светильника (1) (рисунок 4), длиной 90 мм, закрепленного на подвесе (2). Стабилизация тока осуществлялась от высокоточного параметрического стабилизатора тока (3) на микросхемах LM317T. В качестве источника постоянного напряжения применялся блок питания 12 В (4). Подача питания на СИД осуществлялась с помощью тумблера (5). Напряжение на светодиодах измерялось через делитель напряжения и регистрировалось с помощью АЦП LA70M4, установ-

ленного в системном блоке ПК (6). Запись значений на ПК проводилась с помощью программы «Регистратор ЛА-70 и LAVP» (7). Полученные экспериментальные данные обрабатывались в программе MS Office Excel.

Эксперимент проводился при одновременной работе двух СИД, подключенных последовательно при питании стабилизированным током 100 мА. Плата стабилизатора предварительно прогревалась для исключения влияния температурного дрейфа параметров. Период опроса платы в начальный интервал времени от 0 до 10 с от подачи питания на СИД составлял 2 мс, затем – 1 с до общего времени работы 720 с для гарантированного выхода температуры светоизлучающего кристалла СИД на установившийся уровень. С целью снижения помех свободные входы мультиплексора АЦП и экран кабеля измерения напряжений подключались к минусовой клемме блока питания.

Результаты исследования. Исходные данные 15-ти опытов ввиду их объемности в статье не приведены. На первом этапе обработки экспериментальных данных был отобран полезный сигнал, проведена первичная нормализация сигнала относительно фонового напряжения смещения. Затем сигнал на делителе напряжения был нормализован к напряжению на одном СИД.

Для расчета T_J необходимо было определить ΔU при изменении ΔT. Анализ обработанных данных показал, что основное ΔU, вызванное нагревом светоизлучающего кристалла, наблюдается на интервале времени 0–250 с, представленном на графике (рисунок 5), где: $U_{СИД}$ – напряжение на светодиоде, t – время.

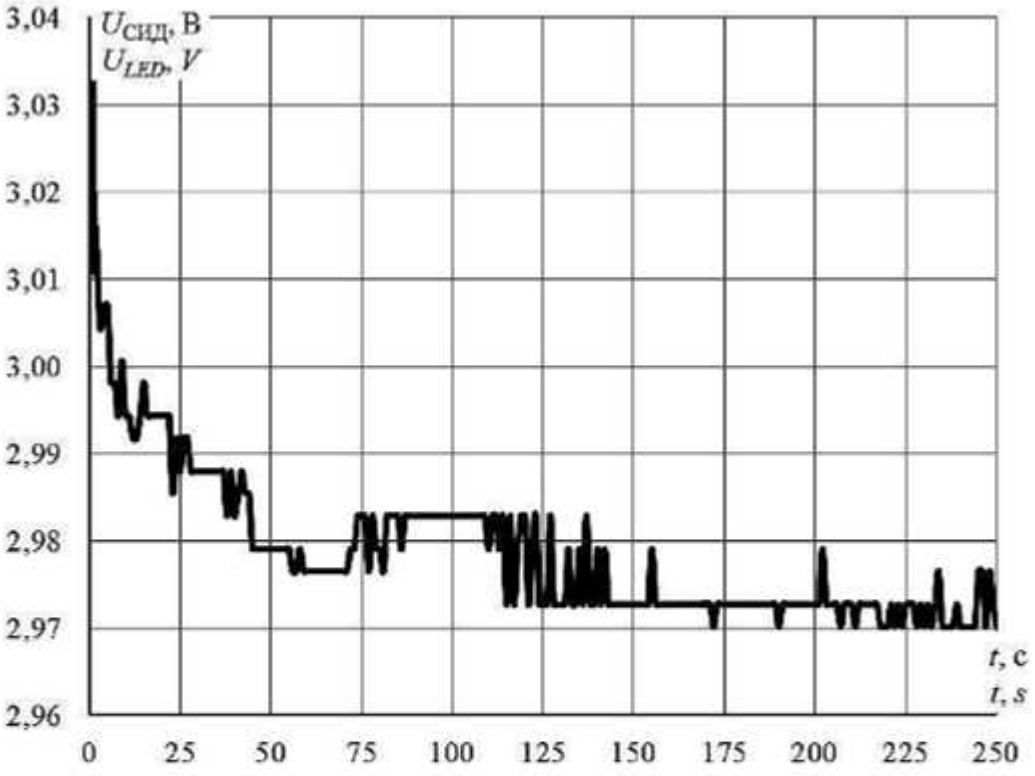


Рисунок 5 – График изменения напряжения на светодиоде

Figure 5 – Diagram of voltage change on the LED

В таблице 2 представлен расчет T_J. В качестве начального напряжения ($U_{нач}$) было принято максимальное зафиксированное значение $U_{сид}$. Установившееся напряжение ($U_{уст}$) определялось как среднее значение 10-ти последних измерений в конце интервала времени 720 с. Вычисленное значение ΔU пересчитывалось в изменение ΔT через температурный коэффициент, равный – 0,0017182 [10]. Искомая величина T_J определялась суммированием ΔT с начальным значением температуры кристалла СИД, принятым равным температуре окружающей среды в помещении (T_A).

Для первого опыта платы типа А рассчитанное значение ΔU и ΔT равно 2,032% и 35,87 °С соответственно. Величина TJ при TA = 25 °С составила 60,87 °С. Аналогичным образом расчет выполнялся для остальных опытов, представленных в таблице 2.

Таблица 2 – Расчет температуры светоизлучающих кристаллов СИД

Table 2 – Temperature calculation of LED light-emitting crystal

Тип Type	Опыт Experiment	$U_{нач}$, В	$U_{уст}$, В	ΔU, %	ΔT, °С	T_A, °С	T_J, °С	T_{J_C}, °С
1	2	3	4	5	6	7	8	9
A	1	3,032	2,971	2,032	35,87	25	60,87	57,36 ±2,79
	2	3,021	2,972	1,611	28,33	25	53,33	
	3	3,010	2,954	1,866	32,69	25	57,69	
	4	3,014	2,956	1,914	33,58	25	58,58	
	5	3,007	2,953	1,792	31,36	25	56,36	
B	1	3,021	2,979	1,405	24,70	25	49,70	50,35 ±4,48
	2	3,000	2,966	1,144	19,97	25	44,97	
	3	3,021	2,966	1,838	32,32	25	57,32	
	4	3,036	2,995	1,352	23,89	25	48,89	
	5	3,013	2,968	1,476	25,89	25	50,89	
C	1	3,004	2,967	1,210	21,15	25	46,15	41,74 ±3,58
	2	3,000	2,966	1,144	19,97	25	44,97	
	3	3,025	3,000	0,840	14,79	25	39,79	
	4	3,013	2,988	0,844	14,79	25	39,79	
	5	2,995	2,972	0,747	13,02	25	38,02	

Выводы. Среднее значение температуры светоизлучающего кристалла СИД (TJ_C) на всех платах составило менее 60 °С (таблица 2), что обеспечивает благоприятный температурный режим работы и способствует их длительному сроку службы. Ожидаемо наименьшее TJ_C=41,74 °С наблюдалось на плате из фольгированного алюминия. Разница в TJ_C плат, выполненных из стеклотекстолита, составила 7,01 °С.

С практической точки зрения при рабочем токе 100 мА целесообразно применение платы типа А с более низкой стоимостью изготовления (на 7,6% и 36,2% меньше соответственно плат типа В и С.) Ориентировочный срок службы светодиодов в таком температурном режиме работы составит около 90 тыс. ч. При повышении рабочего тока СИД предпочтительнее палаты типа В или С, обладающие более эффективной теплоотдачей.

Список источников

1. Shabaev E.A., Romanovets M.M. Mathematical models of sunlight for dynamic lighting systems of agricultural objects // IOP Conference Se-

ries: Earth and Environmental Science. 2021. Vol. 659. P. 012110. DOI:10.1088/1755-1315/659/1/012110.

2. Дубровский А.А., Смирнова В.В. Использование светодиодного освещения с различной цветовой температурой при выращивании родительского стада птицы // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. 2020. № 4. С. 188–195.

3. Юдаев И.В., Шабаев Е.А., Романовец М.М. Исследование светодиодного светильника для систем локального освещения в области АПК // Известия НВ АУК. 2020. № 3(59). С. 376–387. DOI: 10.32786/2071-9485-2020-03-40.

4. Data Sheet LM561B Plus CRI80 Rev. 9.0. [Электронный ресурс]. URL: https:// cdn.samsung.com/ led/file/resource/2020/05/ Data_Sheet_LM561B_Plus_CRI80_Rev.9.0.pdf (Дата обращения 03.02.2022).

5. Relationships between junction temperature, electroluminescence spectrum and ageing of light-emitting diodes / A. Vaskuri et al. // Metrologia. 2018. Vol. 55. № 2. P. 86–95. DOI: 1088/1681-7575/aaaed2.

6. Temperature sensing characteristics and long term stability of power LEDs used for voltage vs. Junction temperature measurements and related procedure / F.G. Della Corte et al. // IEEE Access. 2020. Vol. 8. P. 43057–43066. DOI: 10.1109/ACCESS.2020.2976516.

7. Микаева С.А., Микаева А.С., Польдяева А.И. Установка для определения температуры кристалла маломощного светодиода // Новая наука как результат инновационного развития общества. 2017. Ч. 2. С. 170–172.

8. A comparative study on the junction temperature measurements of LEDs with raman spectroscopy, microinfrared (IR) imaging, and Forward voltage methods / E. Tamdogan et al. // IEEE Transactions on Components, Packaging and Manufacturing Technology. 2018. Vol. 8. Iss. 11. P. 1914–1922. DOI: 10.1109/TCPMT.2018.2799488.

9. Газалов В.С., Шабаев Е.А., Романовец М.М. Экспериментальное определение динамической модели датчика освещенности // Вестник АПК Ставрополья. 2018. № 2 (30). С. 6–10. DOI: 10.31279/2222-9345-2018-7-30-6-10.

10. LED Component Calculator [Электронный ресурс]. URL: https://www.samsung.com/led/support/tools/led-component-calculator/ (Дата обращения 03.02.2022).

References

1. Shabaev E.A., Romanovets M.M. Mathematical models of sunlight for dynamic lighting systems of agricultural objects. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021; Vol. 659: 012110. DOI:10.1088/1755-1315/659/1/012110.

2. Dubrovskiy A.A., Smirnova V.V. Ispol'zovanie svetodiodnogo osvescheniya s razlichnoy tsvetovoy temperaturoy pri vyraschivanii roditel'skogo stada ptitsy (The use of LED lighting with different color temperatures in the rearing of the parent flock of poultry). *Vestnik Michurinskogo gosudarstvennogo agramogo universiteta*. 2020; 4: 188–195. (In Russ.)

3. Yudaev I.V., Shabaev E.A., Romanovets M.M. Issledovanie svetodiodnogo svetil'nika dlya sistem lokal'nogo osvescheniya v oblasti APK (Research of the LED lamp for local lighting systems in the field of agro-industrial complex). *Izvestiya NV AUK*. 2020; 3(59): 376–387. DOI: 10.32786/2071-9485-2020-03-40. (In Russ.)

4. Data Sheet LM561B Plus CRI80 Rev. 9.0. [Elektronnyy resurs]. URL: https:// cdn.samsung.com/led/file/resource/2020/05/ Data_Sheet_LM561B_Plus_CRI80_Rev.9.0.pdf (Data obrascheniya 03.02.2022).

5. Vaskuri A., Kärhä P., Baumgartner H., Kantamaa O., Pulli T., Poikonen T. & Ikonen E. Relationships between junction temperature, electroluminescence spectrum and ageing of light-emitting diodes. *Metrologia*. 2018; Vol. 55(2): 86–95. DOI: 1088/1681-7575/aaaed2.

6. Francesco G. Della CORTE, Giovanni Pangallo, Riccardo Carotenuto, Demetrio Iero, Giuseppe Marra, Massimo Merenda, Sandro Rao. Temperature sensing characteristics and long term stability of power LEDs used for voltage vs. Junction temperature measurements and related procedur. *IEEE Access*. 2020; Vol. 8: 43057–43066. DOI: 10.1109/ACCESS.2020.2976516.

7. Mikaeva S.A., Mikaeva A.S., Pol'dyaeva A.I. Ustanovka dlya opredeleniya temperatury kristalla malomoschnogo svetodioda (Installation for determining the temperature of the crystal of a low-power LED). Novaya nauka kak rezul'tat innovatsionnogo razvitiya obschestva. 2017; Ch. 2, pp. 170–172. (In Russ.)

8. E. Tamdogan et al. A comparative study on the junction temperature measurements of LEDs with raman spectros-copy, microinfrared (IR)

imaging, and Forward voltage methods // *IEEE Transactions on Components, Packaging and Manufacturing Technology*. 2018; Vol. 8. Iss. 11: 1914–1922. DOI: 10.1109/TCPMT.2018.2799488.

9. Gazalov V.S., Shabaev E.A., Romanovets M.M. Eksperimental'noe opredelenie dinamicheskoy modeli datchika osveschennosti (Experimental determination of the dynamic model of the light sensor). *Vestnik APK Stavropol'ya*. 2018; 2(30): 6–10. DOI: 10.31279/2222-9345-2018-7-30-6-10. (In Russ.)

10. LED Component Calculator [Elektronnyy resurs]. URL: https://www.samsung.com/led/ support/tools/led-component-calculator/ (Data obrascheniya 03.02.2022).

Сведения об авторах

Е.А. Шабаев – кандидат технических наук, доцент, Азово-Черноморский инженерный институт – филиал Донского государственного аграрного университета в г. Зернограде, Ростовская область, г. Зерноград, Россия. Тел.: +7-928-769-38-93. E-mail: sea007@rambler.ru.

М.М. Романовец – ассистент, Азово-Черноморский инженерный институт – филиал Донского государственного аграрного университета в г. Зернограде, Ростовская область, г. Зерноград, Россия. Тел.: +7-908-199-02-29. E-mail: chikamunar@yandex.ru.

В.А. Кулачинский – аспирант, Азово-Черноморский инженерный институт – филиал Донского государственного аграрного университета в г. Зернограде, Ростовская область, г. Зерноград, Россия. Тел.: +7-919-890-35-93. E-mail: kulachinsky26@yandex.ru.

Евгений Адимович Шабаев, sea007@rambler.ru.

Information about the authors

E.A. Shabaev – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Azov-Black Sea Engineering Institute – branch of Don State Agrarian University in Zernograd, Rostov Region, Zernograd, Russia. Phone: +7-928-769-38-93. E-mail: sea007@rambler.ru.

M.M. Romanovets – assistant, Azov-Black Sea Engineering Institute – branch of Don State Agrarian University in Zernograd, Rostov Region, Zernograd, Russia. Phone: +7-908-199-02-29. E-mail: chikamunar@yandex.ru.

V.A. Kulachinskii – post-graduate student, Azov-Black Sea Engineering Institute – branch of Don State Agrarian University in Zernograd, Rostov Region, Zernograd, Russia. Phone: +7-919-890-35-93. E-mail: kulachinsky26@yandex.ru.

Evgeniy Adimovich Shabaev, sea007@rambler.ru.

Вклад авторов. Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors. All authors made an equivalent contribution to the preparation of the article.
The authors declare no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 21.01.2022; одобрена после рецензирования 11.03.2022;
принята к публикации 14.03.2022.
The article was submitted 21.01.2022; approved after reviewing 11.03.2022; accepted for publication 14.03.2022.