

Научная статья
 УДК 628.94; 628.93
 doi:10.35694/YARCX.2024.68.4.016

СВЕТИЛЬНИК СО СТАБИЛИЗАЦИЕЙ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА ИСТОЧНИКА СВЕТА

**Владимир Юрьевич Страхов¹, Александр Павлович Ковтун²,
 Дмитрий Алексеевич Лукинов³, Александр Николаевич Малахов⁴**

^{1, 2, 3, 4}Белгородский государственный аграрный университет имени В. Я. Горина, Майский, Россия

¹strakhov.94@list.ru, ORCID 0009-0003-7559-3154

²kovtun61@mail.ru

³osk9592@mail.ru

⁴malakhov_an@bsaa.edu.ru

Реферат. Существует большое разнообразие светодиодных светильников, однако не все модели способны отработать заявленный ресурс. Надёжная работа светодиодов зависит от температуры полупроводникового перехода, следовательно, управление температурным режимом светильника является одной из самых важных проблем, с которой сталкиваются проектировщики. Авторами статьи предложена конструкция светильника со стабилизацией температурного режима источника света на основе мощных COB-светодиодов. Данная разработка направлена на решение проблемы эффективного теплоотвода от светодиодов и в перспективе возможности полезной утилизации отведённого избытка тепла на производственные цели. В статье рассмотрена конструкция и опытный образец светодиодного светильника.

Ключевые слова: светодиодный светильник, COB-светодиод, теплоотвод, утилизация тепла, перегрев

A LUMINAIRE WITH STABILIZATION OF THE TEMPERATURE MODE OF THE LIGHT SOURCE

Vladimir Yu. Strakhov¹, Aleksandr P. Kovtun², Dmitriy A. Lukinov³, Aleksandr N. Malakhov⁴

^{1, 2, 3, 4}Belgorod State Agrarian University named after V. Gorin, Mayskiy, Russia

¹strakhov.94@list.ru, ORCID 0009-0003-7559-3154

²kovtun61@mail.ru

³osk9592@mail.ru

⁴malakhov_an@bsaa.edu.ru

Abstract. There is a wide variety of LED luminaires, but not all models are able to work out the declared resource. The reliable operation of LEDs depends on the temperature of the semiconductor junction, therefore, controlling the temperature mode of the luminaire is one of the most important problems that designers face. The authors of the article proposed the design of a luminaire with stabilization of the temperature mode of a light source based on powerful COB LEDs. This development is aimed at solving the problem of effective heat removal from LEDs and, in the future, the possibility of useful utilization of the allocated excess heat for production purposes. The article discusses the design and prototype of the LED luminaire.

Keywords: LED luminaire, COB-LED, heat sink, heat recovery, overheating

Введение. Высокие показатели светоотдачи, эксплуатационные и светотехнические характеристики светодиодов позволили им занять лидирующие позиции в сфере искусственного освещения и опередить все существующие источники света. Основные тенденции развития светодиодов направлены на миниатюризацию осветительных приборов, проектирование ориентированного на человека циркадного освещения, расширение области использования освещения в архитектуре и декоративных целях. Отдельное внимание стоит обратить на сегмент светодиодных технологий для растениеводства защищённого грунта. Светодиодные светильники в теплицах помогают ускорить рост и созревание овощей, обогатить вкус и цвет, повысить урожайность.

На срок службы светодиодов влияет конструкция осветительного прибора, качество сборки и комплектующих, тип системы охлаждения. Однако ключевой параметр для обеспечения долговечности работы светодиодных кристаллов – температурный режим. С увеличением тока через р-п переход светодиода возрастает поток излучения, но при этом внутреннее сопротивление полупроводников приводит к нагреву. Возрастание рабочей температуры влияет на срок службы, падение светового потока, отклонение спектра излучения от заводских характеристик. Для современных светодиодных кристаллов критическое значение температуры находится в диапазоне выше +90°C. Превышение температурного порога провоцирует разрушение кристаллов до полной потери работоспособности [1–3].

Широкое применение светодиодных светильников в отраслях агропромышленного комплекса, лёгкой промышленности, на объектах жилищно-коммунального хозяйства, ландшафтном и архитектурном освещении подразумевает эксплуатацию в условиях с повышенным уровнем влажности и перепадов температуры, высокой запыленностью, в условиях агрессивной среды – с содержанием паров аммиака. Защита светодиодов и внутренних компонентов светильника осуществляется благодаря герметичному корпусу. Следует отметить, что во многих случаях герметичный корпус ограничивает свободную конвекцию воздуха и затрудняет оптимальный теплоотвод. Такая проблема характерна в большей степени для мощных светодиодов MCOB, DOB, COB, YXO Downlight, имеющих неблагоприятные соотношения размеров и выделяемой тепловой мощности. Для таких случаев необходимо использование специальных устройств для активной системы охлаждения. Таким образом, одной из основных причин снижения рабочего ресурса светодиодных светильников является перегрев светодиодов, вызванный несовершенством системы теплоотвода, неудачной конструкцией корпуса или радиатора охлаждения [4; 5].

Цель исследования – разработка конструкции светодиодного светильника на основе COB-модуля с системой водяного охлаждения.

Материалы и методы исследований. Исследования учёных в области использования светодиодов позволили получить источники с большой светоотдачей (от 120 до 160 Лм/Вт) при сохранении миниатюрных размеров (в зависимости от мощности модуля размер чипа может варьироваться от 1 до 15 см). В такой технологии все кристаллы размещают в единой оболочке без использования корпуса. Технология производства получила название Chip On Board (COB) «чип

на плате». Отказ от наращивания мощности отдельных светодиодов и использование индивидуальных корпусов позволяет устанавливать полупроводники максимально близко. Высокая оптическая плотность излучения достигается благодаря большой концентрации кристаллов. Покрытие общим слоем люминофора снижает потери яркости и рассеивание света на дополнительных оболочках. Область применения COB-светодиодов представлена на рисунке 1.

Современные светодиоды характеризуются КПД порядка 30–40%. При работе до 60% потреблённой мощности будет преобразовываться в тепловую энергию. Чтобы избежать перегрева, необходимо отводить избыточное тепло. В абсолютных значениях при работе светодиодного источника мощностью 100 Вт требуется отведение порядка 60 Вт теплоты [6; 7].

Все элементы светодиодного светильника можно разделить на полупроводники, плату, драйвер и систему охлаждения. Для подвода цепей питания полупроводники монтируют на печатную плату как на основание. Тип материала печатной платы влияет на тепловое сопротивление. Для уменьшения теплового сопротивления используют печатные платы на металлической подложке. С целью повышения эффективности отвода тепла между радиатором и печатной платой размещают теплопроводящие материалы, термопасты, гели.

Термопасты просты в использовании и обладают высокой теплопроводностью, маленькой величиной клеявого слоя и низкой вязкостью. Теплопроводящие материалы характеризуются более высокой вязкостью, чем термопасты, что позволяет им обеспечивать высокую надёжность. Для обеспечения эффективной теплопередачи в соединении с теплопроводящими материалами необходимо приложить давление. Гели уступают по теплопроводности термопасте. Применение термоклея помогает сглаживать неровности на поверхностях соприкосновения, но требует очистки при демонтаже.

Радиатор можно считать самым важным элементом в системе охлаждения светодиодного светильника. В зависимости от активного или пассивного способа охлаждения светильники могут снабжаться радиаторами и дополнительными устройствами охлаждения. В самой распространённой категории светильников малой и средней мощности (до 200 Вт) охлаждение происходит за счёт конвекции. Тепло, выделяемое от светодиодов, поступает на печатную плату, затем через теплопроводящий материал передаётся радиатору. Для реализации активного охлаждения используют конструкции, начиная от вентиляторов до водяного охлаждения [8; 9].

Перспективы использования водяного охлаждения заключаются в высокой эффективности отвода тепла от мощных светодиодов на производствах с повышенной температурой воздуха в рабочем помещении, таких как котельные, металлургические цехи, теплоэлектроцентрали, атомные электростанции, тепловые электростанции, химическое производство, керамическо-стеклянное производство, нефтегазовые комплексы, шахты, теплицы, биопроизводство.

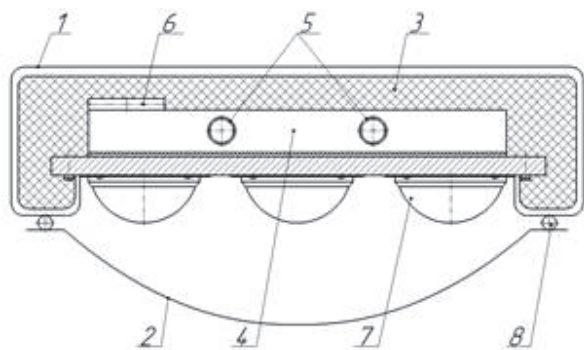
Скрытые перспективы водяного охлаждения заключены в возможности использования тепла для



Источник: составлено В. Ю. Страховым по материалам из открытых источников.

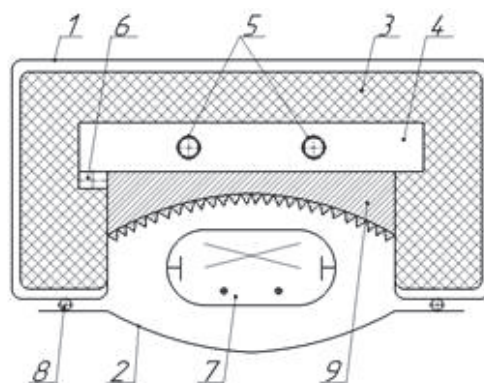
1 – светодиодная матрица; 2 – трековый светильник; 3, 4 – промышленный подвесной светильник; 5, 6, 7, 8 – прожектор; 9 – уличный светильник.

Рисунок 1 – Область применения COB-светодиодов



1 – корпус; 2 – рассеиватель; 3 – теплоизоляционный материал; 4 – жидкостный радиатор; 5 – патрубки подачи и возврата теплоносителя; 6 – термостат; 7 – светодиодный чип; 8 – герметик.

Рисунок 2а – Светильник со стабилизацией температурного режима источника света



1 – корпус; 2 – рассеиватель; 3 – теплоизоляционный материал; 4 – жидкостный радиатор; 5 – патрубки подачи и возврата теплоносителя; 6 – термостат; 7 – разрядная лампа высокого давления; 8 – герметик; 9 – теплопоглощающий элемент.

Рисунок 2б – Светильник со стабилизацией температурного режима источника света для разрядных ламп высокого давления

производственных целей. Отводимое тепло можно применять при нагреве воды, питательного раствора в теплицах, обогрева корневой системы растений, запаса тепловой энергии через аккумулятор тепла.

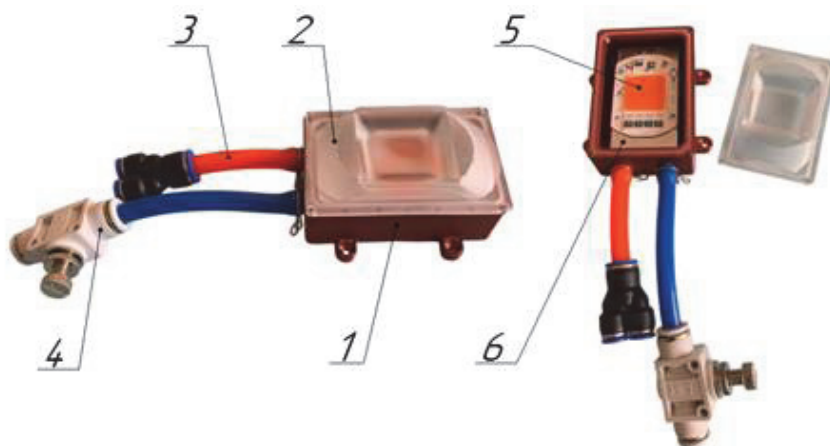
На основе СОВ-светодиодов предлагается конструкция светильника со стабилизацией температурного режима источника света, представленная на рисунке 2а, б.

Область применения светильника со стабилизацией температурного режима источника света – это обеспечение основного освещения рабочих помещений с высокой температурой воздуха. Светильник состоит из корпуса с рассеивателем из светопрозрачного материала. Пространство под крышкой заполнено теплоизоляционным наполнителем. Для отвода избыточного тепла от светильника предусмотрен жидкостный радиатор с патрубками подачи и возврата теплоносителя. При проектировании светильника была предусмотрена защита светодиодов от чрезмерного перегрева при выходе из строя системы водяного охлаждения. Для за-

щиты на радиаторе предусмотрен термостат. При превышении температуры жидкостного радиатора выше установленного предела термостат разрывает цепь питания светодиодного чипа. Повторное включение производится после осмотра светильника специалистом электротехнической службы. В противном случае выход из строя элементов водяного охлаждения повлечёт за собой перегорание светодиодного чипа вследствие его перегрева.

Между крышкой и корпусом предусмотрен герметик для защиты источника света от проникновения влаги. Для лучшей теплопроводности между жидкостным радиатором и теплопоглощающим элементом нанесён слой терморасты [10].

Предложенную конструкцию светильника со стабилизацией температурного режима источника света можно реализовать для отвода тепла от мощных разрядных источников высокого давления типа МГЛ, ДНаТ, ДКСТ. Конструкция такого светильника представлена на рисунке 3.

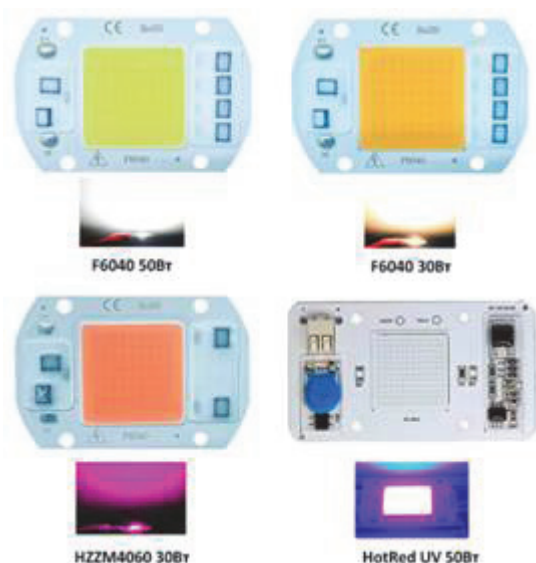


Источник: составлено В. Ю. Страховым по материалам из открытых источников.

1 – корпус; 2 – рассеиватель; 3 – патрубок; 4 – вентиль регулировочный; 5 – светодиодная матрица; 6 – жидкостный радиатор.

Рисунок 3 – Опытный образец светильника со стабилизацией температурного режима

Светильник со стабилизацией температурного режима источника света



Источник: составлено В. Ю. Страховым по материалам из открытых источников.

Рисунок 4 – Светодиодные матрицы для опытного образца светильника со стабилизацией температурного режима

Основное отличие заключается в наличии теплопоглощающего элемента. Поверхность теплопоглощающего элемента выполняется с рёбрами для увеличения площади поглощения тепла от источника света.

Следует отметить, что принудительное охлаждение требует дополнительное электрическое питание,

это приводит к снижению КПД светильника в целом. Экономический эффект использования предложенной модели достигается благодаря увеличению ресурса эксплуатации светильника.

Результаты. Для того чтобы проверить эффективность разработанной конструкции, был собран опытный образец светильника со стабилизацией температурного режима на основе матрицы COB-светодиодов мощностью 50 Вт. Образец представлен на рисунке 3.

Выбор матрицы COB-светодиодов обоснован удобством подключения к источнику питания, доступной ценой, наличием моделей для освещения, досвечивания растений и матриц ультрафиолетового спектра. Внешний вид светодиодных матриц для опытного образца светильника представлен на рисунке 4.

Матрица модели F6040 используется в прожекторах и в светильниках для создания основного освещения. Технические характеристики светодиодной матрицы для опытного образца светильника представлены в таблице 1.

Модель HZZM4060 предназначена для досвечивания растений в теплицах, как альтернатива энергозатратным источникам ДНаТ. К преимуществам светодиодного фитосветильника относится возможность использования на всех стадиях роста, в то время как лампа ДНаТ не имеет линии синего излучения в спектре. Фитосветильники на основе чипа HZZM4060 не выделяют мощное тепловое излучение, что позволяет их размещать близко к растениям.

Модель HotRed UV имеет ультрафиолетовый спектр диапазона УФ-А с длиной волны 395–400 нм.

Таблица 1 – Технические характеристики светодиодных матриц COB

Модель	Мощность, Вт	Световой поток, лм	Питание	Цветовая температура	Индекс цветопередачи светодиода	Угол рассеивания	Степень защиты	Размер
F6040	30	3000	220 В, 50 Гц	3200	Ra80	120	IP65	60x40x0,8
	50	5000		6000				
HZZM4060	30	3000		–	–	180		
HotRed UV	50	30 лм/Вт	–	–	Ra72	120	77x44x1,6	

Следует отметить, что все матрицы подключаются напрямую к источнику питания, что не потребует отдельного драйвера и позволит экономить место при внутренней компоновке светильника.

Выводы. Представлена конструкция светильника на основе COB-светодиодов со стабилизацией температурного режима. Использование водяного охлажде-

ния позволит оптимизировать рабочую температуру и отводить излишки тепла для полезной утилизации на предприятии. Перспективы предлагаемого решения заключаются в возможности эксплуатации не только в отраслях агропромышленного комплекса, но и на промышленном производстве, где обычные светильники не способны работать.

Список источников

1. Narendran N., Gu Y., R. Hosseinzadeh Estimating junction temperature of high-flux white LEDs // Proceedings of SPIE – The International Society for Optical Engineering. 2004. P. 158–160. DOI 10.1117/12.537628.
2. Голиусов А. И., Страхов В. Ю. Энергосбережение в осветительных установках // Горинские чтения. Инновационные решения для АПК : материалы Международ. науч. конф. (Майский, 14–15 марта 2023 г.). Майский : Белгородский государственный аграрный университет имени В. Я. Горина, 2023. Т. 4. С. 32. EDN VIZOAR.

3. Клейменов Е. П., Кузнецов М. М., Беляев В. В., Нессемон К. Д. Расчет отвода тепла от основания светодиода при свободно конвективном теплообмене // Вестник Московского энергетического института. 2018. № 1. С. 86–90. DOI 10.24160/1993-6982-2018-1-86-90. EDN YOJILV.

4. Чернышов В. А., Новиков М. В. Обоснование целесообразности применения иммерсионной системы охлаждения в светодиодных светильниках агропромышленного назначения // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2017. № 3 (54). С. 88–93. DOI 10.17238/issn2071-2243.2017.3.88. EDN YKYONS.

5. Варфоломеев Л. П. О действительной энергоэффективности применения светодиодов в осветительных установках // Светотехника. 2012. № 6. С. 22–25. EDN PKIQQT.

6. Казаринов Л. С., Константинов В. И., Вставская Е. В., Барбасова Т. А. Проектирование светодиодных источников света по максимуму функционального резерва при ограничении на весогабаритные характеристики // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника. 2011. № 2 (219). С. 74–80. EDN OFALFJ.

7. Шириев Р. Р., Борисов А. Н., Валеев А. А. Об обеспечении теплового режима светодиодного источника света // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2022. Т. 24, № 3. С. 112–120. DOI 10.30724/1998-9903-2022-24-3-112-120. EDN ZIJECR.

8. Мальцев А., Мальцев И. Контроль качества и надежности светодиодов по тепловому сопротивлению p-n-переход–корпус // Полупроводниковая светотехника. 2010. Т. 2, № 4. С. 40–41. EDN MTCEJN.

9. Газалов В. С., Шабаев Е. А., Блягоз А. М. Анализ теплового режима мощных светодиодов // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2008. № 6. С. 36–38. EDN JULTTV.

10. Trinh V., Brückner S., Khanh T. Q. Accurate measurement of the pn-Junction Temperature of HP-LEDs – Methods and results // The 9th International Symposium on Automotive Lighting (ISAL). Darmstadt – Germany, 2011. P. 809–827. ISBN 978-3-8316-4291-5.

References

1. Narendran N., Gu Y., R. Hosseinzadeh Estimating junction temperature of high-flux white LEDs // Proceedings of SPIE – The International Society for Optical Engineering. 2004. P. 158–160. DOI 10.1117/12.537628.

2. Golusov A. I., Strakhov V. Yu. Jenergosberezhenie v osvetitel'nyh ustanovkakh // Gorinskie chtenija. Innovacionnye reshenija dlja APK : materialy Mezhdunarod. nauch. konf. (Majskij, 14–15 marta 2023 g.). Majskij : Belgorodskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet imeni V. Ja. Gorina, 2023. T. 4. S. 32. EDN VIZOAR.

3. Klejmenov E. P., Kuznetsov M. M., Belyaev V. V., Nessemon K. D. Raschet otvoda tepla ot osnovanija svetodiodnogo svetil'nika pri svobodno konvektivnom teploobmene // Vestnik Moskovskogo jenergeticheskogo instituta. 2018. № 1. S. 86–90. DOI 10.24160/1993-6982-2018-1-86-90. EDN YOJILV.

4. Chernyshov V. A., Novikov M. V. Obosnovanie celesoobraznosti primenenija immersionnoj sistemy ohlazhdenija v svetodiodnyh svetil'nikah agropromyshlennogo naznachenija // Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2017. № 3 (54). S. 88–93. DOI 10.17238/issn2071-2243.2017.3.88. EDN YKYONS.

5. Varfolomeev L. P. O dejstvitel'noj jenergojeffektivnosti primenenija svetodiodov v osvetitel'nyh ustanovkakh // Svetotehnika. 2012. № 6. S. 22–25. EDN PKIQQT.

6. Kazarinov L. S., Konstantinov V. I., Vstavskaya E. V., Barbasova T. A. Proektirovanie svetodiodnyh istochnikov sveta po maksimumu funkcional'nogo rezerva pri ogranichenii na vesogabaritnye harakteristiki // Vestnik Juzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Komp'juternye tehnologii, upravlenie, radioelektronika. 2011. № 2 (219). S. 74–80. EDN OFALFJ.

7. Shiriev R. R., Borisov A. N., Valeev A. A. Ob obespechenii teplovogo rezhima svetodiodnogo istochnika sveta // Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Problemy jenergetiki. 2022. T. 24, № 3. S. 112–120. DOI 10.30724/1998-9903-2022-24-3-112-120. EDN ZIJECR.

8. Mal'tsev A., Mal'tsev I. Kontrol' kachestva i nadezhnosti svetodiodov po teplovomu soprotivleniju p-n-perehod–korpus // Poluprovodnikovaja svetotehnika. 2010. T. 2, № 4. S. 40–41. EDN MTCEJN.

9. Gazalov V. S., Shabaev E. A., Blyagoz A. M. Analiz teplovogo rezhima moshnyh svetodiodov // Mehanizacija i jelektifikacija sel'skogo hozjajstva. 2008. № 6. S. 36–38. EDN JULTTV.

10. Trinh V., Brückner S., Khanh T. Q. Accurate measurement of the pn-Junction Temperature of HP-LEDs – Methods and results // The 9th International Symposium on Automotive Lighting (ISAL). Darmstadt – Germany, 2011. P. 809–827. ISBN 978-3-8316-4291-5.

Сведения об авторах

Владимир Юрьевич Страхов – кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры электрооборудования и электротехнологий в АПК, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Белгородский государственный аграрный университет имени В. Я. Горина», spn-код: 4362-2616.

Александр Павлович Ковтун – аспирант кафедры технической механики и конструирования машин, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Белгородский государственный аграрный университет имени В. Я. Горина».

Дмитрий Алексеевич Лукинов – студент кафедры электрооборудования и электротехнологий в АПК инженерного факультета, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Белгородский государственный аграрный университет имени В. Я. Горина», spn-код: 7372-8800.

Александр Николаевич Малахов – старший преподаватель кафедры электрооборудования и электротехнологий в АПК, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Белгородский государственный аграрный университет имени В. Я. Горина», spn-код: 8114-1175.

Information about the authors

Vladimir Yu. Strakhov – Candidate of Technical Sciences, senior lecturer of the Department of Electrical Equipment and Electrical Technologies in the Agro-industrial Complex, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Belgorod State Agrarian University named after V. Gorin", spin-code: 4362-2616.

Aleksandr P. Kovtun – postgraduate student of the Department of Technical Mechanics and Machine Design, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Belgorod State Agrarian University named after V. Gorin".

Dmitriy A. Lukinov – student of the Department of Electrical Equipment and Electrical Technologies in the Agroindustrial Complex of the Engineering Faculty, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Belgorod State Agrarian University named after V. Gorin", spin-code: 7372-8800.

Aleksandr N. Malakhov – senior lecturer of the Department of Electrical Equipment and Electrical Technologies in the Agro-industrial complex, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Belgorod State Agrarian University named after V. Gorin", spin-code: 8114-1175.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

