

СУДОВЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ, СИСТЕМЫ И УСТРОЙСТВА

DOI: 10.21821/2309-5180-2017-9-4-786-794

SHIP ELECTRIC LIGHT SOURCES: STATE AND PROSPECTS OF DEVELOPMENT

S. Ye. Kuznetsov, Yu. V. Kudryavtsev

Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping,
St. Petersburg, Russian Federation

Based on the analysis of requirements of normative documents and technical literature considers the characteristics of the three types of light sources: incandescent, fluorescent and led. The prospects of led light sources according to the main technical characteristics: luminous efficiency and lifetime.

The main attention is paid to consideration of led lamps (DM), a typical scheme of power supply of SD. The issues associated with electromagnetic compatibility of SD. Noted that led light sources being non-linear loads distort the sine wave of the supply voltage and generate the network of higher harmonic (SH) components of a current that have a negative impact on supply mains, compromising the overall electromagnetic environment. To assess the possibility of functioning of the lighting systems of the courts on the basis of SD of the lamps were held the experimental research of power characteristics, which are listed in article a laboratory setting. The results of laboratory studies of SD showed the ability of electromagnetic compatibility of CD in marine power systems. It is indicated that for a number of SD lighting inrush current can reach ten values relative to the nominal that must be considered when selecting the switchgear and protective devices, especially in lighting systems with low power consumption. For ship characteristic network voltage fluctuation causes changes of luminous flux, which is negatively perceived by the person. Studies have shown that some SD lamps is constant luminous flux, regardless of the mains voltage and must be recommended for installation in networks of marine lighting.

The lack of existing regulations and sanitary regulations and methods of control for SD lighting. Conclusions about the absolute prospects as led light sources for ships.

Keywords: led light sources, electromagnetic compatibility.

For citation:

Kuznetsov, Sergey Ye., and Yurii V. Kudryavtsev. "Ship electric light sources: state and prospects of development." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admiral S.O. Makarova* 9.4 (2017): 786–794. DOI: 10.21821/2309-5180-2017-9-4-786-794.

УДК 621.3.048.004.58

СУДОВЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ИСТОЧНИКИ СВЕТА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

С. Е. Кузнецов, Ю. В. Кудрявцев

ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова»,
Санкт-Петербург, Российская Федерация

На основании анализа требований нормативных документов и технической литературы рассмотрены характеристики трёх типов источников света: ламп накаливания, люминесцентных и светодиодных. Показана перспективность светодиодных источников света по основным техническим характеристикам: светоотдаче и сроку службы.

Основное внимание уделено рассмотрению светодиодных (СД) ламп, приведена их типовая схема устройства питания. Рассмотрены вопросы, связанные с электромагнитной совместимостью СД. Отмечается, что светодиодные источники света, являясь нелинейной нагрузкой, искажают синусоиду пи-

тающего напряжения и генерируют в сеть высшие гармонические (ВГ) составляющие тока, которые оказывают негативное воздействие на питающую электрическую сеть, ухудшая общую электромагнитную обстановку. Для оценки возможности функционирования систем освещения судов на основе СД ламп были проведены экспериментальные исследования энергетических характеристик на приведённой в статье лабораторной установке. Приведены результаты лабораторных исследований СД, показавшие возможность электромагнитной совместимости СД в судовых электроэнергетических системах. Указано, что для ряда СД световых приборов пусковой ток включения может достигать пятнадцатикратного значения по отношению к номинальному, что следует учитывать при выборе коммутационно-защитных аппаратов, особенно в системах освещения с малой установленной мощностью. Для судовой сети характерны колебания напряжения, вызывающие изменения светового потока, негативно воспринимаемого человеком. Проведенные исследования показали, что ряд СД ламп характеризуется постоянством светового потока, вне зависимости от напряжения сети, и их надо рекомендовать для установки в сетях судового освещения. Отмечается отсутствие в действующих правилах и санитарных нормах требований и методов контроля для СД световых приборов. Сделаны выводы о безусловной перспективности СД источников света для судов.

Ключевые слова: светодиодные источники света, электромагнитная совместимость.

Для цитирования:

Кузнецов С. Е. Судовые электрические источники света: состояние и перспективы развития / С. Е. Кузнецов, Ю. В. Кудрявцев // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2017. — Т. 9. — № 4. — С. 786–794. DOI: 10.21821/2309-5180-2017-9-4-786-794.

Введение

В системах освещения морских судов в большинстве случаев используются лампы накаливания (ЛН) и газоразрядные люминесцентные лампы (ЛЛ), которые достигли технологического предела светоотдачи. Однако в последнее время осуществляется повсеместное внедрение надежных, экологичных и энергоэффективных светодиодных (СД) источников света, в том числе и на судах. В то же время СД источники света, являясь нелинейной нагрузкой, оказывают воздействие на питающую электрическую сеть, ухудшая общую электромагнитную обстановку.

Работа встроенного блока питания (драйвера) СД источников света и изменение величины напряжения в питающей электрической сети могут быть причинами понижения (колебания) светового потока, пульсаций освещенности и возникновения стробоскопического эффекта. Взаимосвязь данных факторов определяет уровень электромагнитной совместимости систем освещения, их способности при нормальной работе не оказывать недопустимых электромагнитных воздействий на питающую сеть, обеспечивая безопасное для человека оптическое излучение при наличии искажений питающего напряжения в электрической сети. В Правилах классификации и постройки морских судов Российского морского регистра судоходства (далее — Правила РМРС) [1] в настоящее время не определено применение СД источников света на судах морского флота, за исключением [1, табл. 6.7.1], содержащей требования к освещенности отдельных помещений и поверхностей морских судов. Нормы приводятся как для ЛН, так и для ЛЛ и СД ламп. В нормах искусственного освещения на судах морского флота установлены требования к минимальной освещенности только для ЛЛ и ЛН.

Таким образом, существующий комплекс нормативных документов по вопросам освещения морских судов не содержит однозначных требований для систем освещения на основе СД источников света, в результате чего представляет интерес рассмотрение вопросов, связанных с электромагнитной совместимостью эксплуатации СД освещения и СЭЭС.

Методы и материалы

Основным оценочным критерием энергоэффективности источника света является светоотдача, значения которой для разных ламп приведены в табл. 1. Как видно из табл. 1, наибольшей

светоотдачей обладают СД лампы, срок службы которых определён до 100 тыс. ч, однако следует иметь в виду, что надёжность СД источника света определяется в основном блоком питания. Одним из элементов схемы блока питания является двухполупериодный выпрямитель, срок службы которого может быть значительно ниже, чем собственно светодиода. Для питания СД ламп используются импульсные преобразователи постоянного тока (драйверы): нелинейная нагрузка, генерирующие токи высших гармоник (ВГ).

Таблица 1

Характеристики различных типов ламп

Источник света	Тип лампы	Достигнутая светоотдача, лм/Вт	Цветовая температура, К	Срок службы, тыс. ч	Наличие вредных веществ
Нить накаливания	Накаливания с инертным газом	15	2700	1	Нет
Электрический разряд в газе	Линейная ЛЛ	108	2700 – 6500	25	Содержат до 10 мг ртути (ядовитое вещество)
	Компактная ЛЛ	70	2700 – 6500	12	
Светодиод	СД лампа	102 (205)*	2700 – 6000	До 100	Нет

* Указана достигнутая светоотдача серийных изделий на основе СД с учетом эффективности драйвера и оптической системы (102 лм/Вт) и собственная светоотдача (205 лм/Вт) отдельного светодиода (передовые разработки).

Устройства питания СД ламп [2] – [4] выполняются в соответствии с электрической схемой, приведенной на рис. 1. Устройство содержит двухполупериодный выпрямитель на диодах $VD1 - VD4$, на который подается напряжение электрической сети через гасящий резистор $R1$. С выхода выпрямителя пульсирующее напряжение подается на конденсатор $C1$ и далее на параметрический стабилизатор тока светоизлучающих диодов (СИД) $VD5, \dots, VD8$ (см. рис. 1) либо на импульсный преобразователь в других устройствах [4]. Соотношение временных диаграмм напряжения электрической сети $U(t)$ и формы потребляемого тока $I(t)$ в типовой схеме устройств питания приведено на рис. 2.

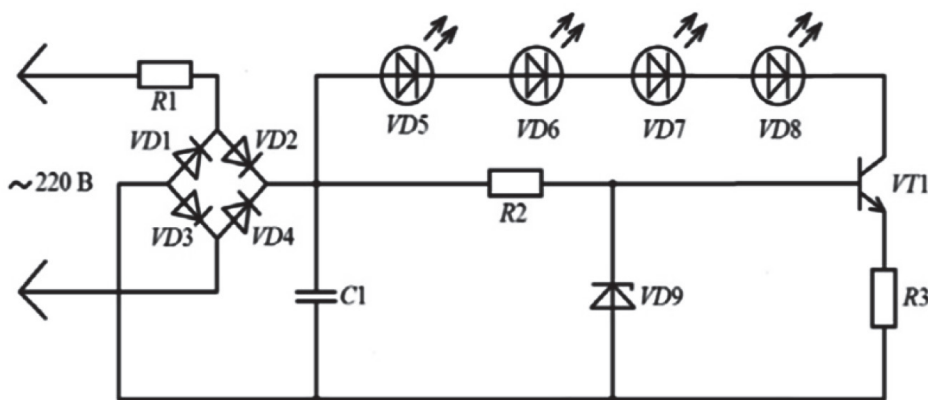


Рис. 1. Типовая электрическая схема устройств питания СД ламп

Потребление тока происходит короткими импульсами синхронно по времени с максимальными значениями напряжения питающей сети. Энергия импульса тока тратится на восстановление заряда конденсатора $C1$, израсходованного на питание светодиодной части за половину периода питающего переменного напряжения. Несоответствие формы потребляемого тока форме

питающего напряжения свидетельствует о нелинейном характере протекающих процессов и наличии эмиссии гармоник [5]. Предельные значения гармоник ограничены требованиями государственного стандарта [6].

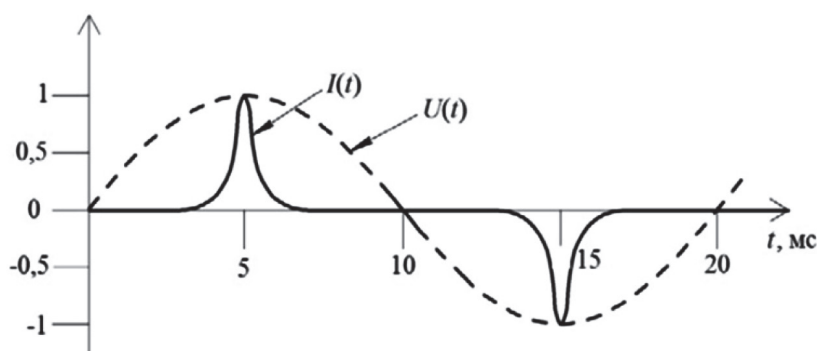


Рис. 2. Соотношение временных диаграмм напряжения электрической сети (пунктир) и формы потребляемого тока (сплошная линия) в типовой схеме устройств питания

Спектральный анализ ВГ тока может быть выполнен разложением аппроксимирующей временной зависимости тока, которая представлена на рис. 2, в ряд Фурье:

$$I(t) = I_0 + \sum_{k=1}^{\infty} a_k \cdot \cos k\omega t + \sum_{k=1}^{\infty} b_k \cdot \sin k\omega t, \quad (1)$$

где a_k , b_k — коэффициенты разложения в ряд Фурье; ω — круговая частота напряжения питающей сети.

Вследствие симметричности формы тока относительно горизонтальной оси нулевая составляющая и четные гармоники в выражении (1) имеют значения, равные нулю. Спектральные составляющие тока, потребляемого от сети в типовой схеме устройств питания, рассчитанные в соответствии с выражением (1) и нормированные относительно значения первой гармоники, приведены на рис. 3.

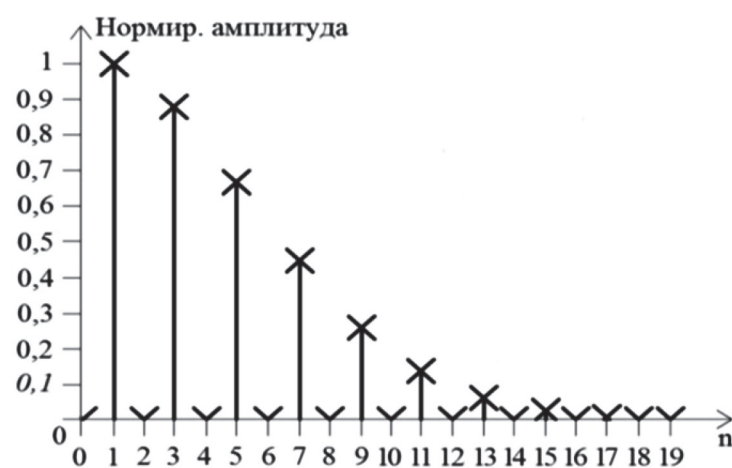


Рис. 3. Спектр тока, потребляемого от сети, в типовой схеме устройств питания (n — порядок гармоник тока)

В ходе экспериментальных исследований было выявлено, что в системах освещения судов без нулевого провода преобладающими ВГ тока являются составляющие пятого и седьмого порядка.

Системы освещения функционируют во взаимосвязи с судовыми электроэнергетическими системами (СЭЭС). Особенности процесса функционирования СЭЭС являются:

– провалы и всплески напряжения и частоты на шинах ГРЩ в результате пуска или остановки судовых электроприводов (СЭП);

– длительные установившиеся отклонения напряжения и частоты от номинального значения, определяемые работой систем автоматического регулирования напряжения (САРН) и частоты генераторных агрегатов;

– колебания напряжения и частоты при распределении нагрузки между ГА при включении их на параллельную работу (или отключении).

Эти особенности влияют, в том числе, на работу судового освещения.

Решение проблем использования СД ламп, получение недостающей информации возможно на основе проведения экспериментальных исследований [7]. Использование двухлучевого осциллографа (GDS-71042) совместно с анализатором ПКЭ (Fluke 434) и многофункционального прибора Эколайт-01 (люксметр, пульсметр и яркомер) — рис. 4 — позволяет получить достаточный объем данных для достоверного и полного определения характеристик СД ламп.

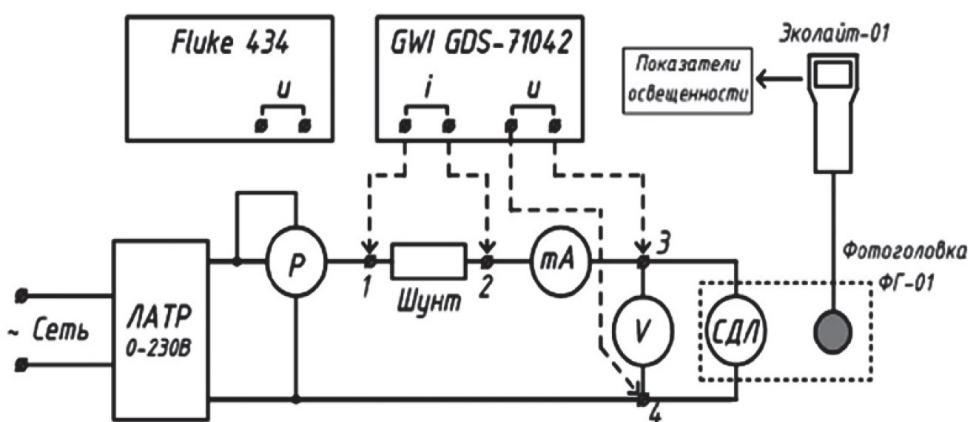


Рис. 4. Схема лабораторной установки для исследования СД ламп

Для исследования [7] был выбран ряд СД ламп, представленных на рынок производителями Xavax, Philips, Melitec (табл. 2). В технической документации для всех исследуемых изделий производителем указана величина потребляемого тока.

Таблица 2

Паспортные данные исследуемых ламп

Производитель	P , Вт	$U_{\text{ном}}$, В	$I_{\text{ном}}$, мА	Φ , лм	Срок службы, ч
Melitec	2,5	230	70	115	25 000
Xavax	3	230	41,6	100	20 000
Xavax	9	230	52	806	15 000
Philips	3,5	30	35	240	15 000
Philips	6	230	40	470	15 000

Для оценки возможности функционирования систем освещения судов на основе СД ламп были проведены экспериментальные исследования энергетических характеристик, в том числе коэффициента пульсаций освещенности $K_{\text{п}}$.

Результаты

Результаты экспериментальных исследований K_U и K_I СД ламп и их энергетические характеристики приведены в табл. 3 и 4 [8].

Таблица 3

Результаты экспериментальных исследований K_U и K_I СД ламп при напряжении 230 В

Производитель	P , Вт	K_U , %	K_I , %	Коэффициенты гармонических составляющих тока K_{In} , %					
				K_3	K_5	K_7	K_9	K_{11}	K_{13}
Melitech	2,5	1,6	13,6	9	6,1	7,6	3	3,7	0,7
Xavax	3	1,6	31,7	24,6	17,2	2,8	4,5	2,1	2,3
	9	1,6	35,7	28,5	17,5	5,7	9,8	2	3,2
Philips	3,5	1,6	56,7	45,2	14,2	18,3	13	17	11,5
	6	1,6	51,2	46,5	19,1	2,8	10,9	2,5	3,7

В табл. 3 K_U и K_I соответственно, обозначают коэффициенты искажения синусоидальности кривой напряжения и тока. Как видно из таблицы, значения показателя качества электроэнергии K_U составляют 1,6 %, не превышая норму 10 %, определённую Правилами РМРС. Значения K_I изменяются в широких пределах, однако они не регламентированы данными Правилами.

Таблица 4

Результаты экспериментальных исследований энергетических характеристик СД ламп

Марка	$P_{ном}$, Вт	$U_{ном}$, В	I , мА	Q , В·А _р	$\cos \varphi$	I_n , мА	K_{In}	$\Phi_{уд}$, лм/Вт	K_n , %
Ikea	6,3	230	32	4,4	0,86	88	2,75	63	18,4
ISY	3	230	26	4,9	0,99	399	15,35	67	20
Melitec	2,5	230	72	16,3	0,15	232	3,22	46	100
Osram	7	230	36	зд	0,93	78	2,17	67	20,1
Philips	3,5	230	32	6,6	0,51	90	2,81	69	58,9
Philips	6	230	35	5,6	0,82	97	2,77	78	19
Philips	11,5	230	83	15,2	0,97	691	8,33	92	4,6
Xavax	9	230	49	6,3	0,89	105	2,14	89	21,2

Эквивалентная реактивная мощность $Q_{экр}$ определена в соответствии с выражениями (2) и (3):

$$Q_{экр} = \sqrt{(UI)^2 - P^2}; \quad (2)$$

$$\cos \varphi = \frac{P}{UI}. \quad (3)$$

Обсуждение

Как видно из результатов анализа табл. 3 и 4, СД лампы генерируют ВГ тока, потребляя реактивную мощность. Для ряда СД световых приборов пусковой ток включения I_n может достигать пятнадцатикратного значения по отношению к номинальному, что следует учитывать при выборе коммутационно-защитных аппаратов, особенно в системах аварийного освещения с малой установленной мощностью.

Величина освещенности, создаваемой СД лампами, при допустимом для морских судов длительном отклонении напряжения на –10 % снижается на 3 %, а при допустимом кратковременном отклонении напряжения на –20 % снижается на 7 %. Для ламп накаливания данный показатель

характеризуется снижением освещенности на 40 % и 60 % соответственно. Таким образом, несмотря на низкую по сравнению с другими типами ламп чувствительность к изменениям напряжения, работа СД источников связана с потреблением реактивной мощности и генерацией в сеть ВГ составляющих тока. Токи ВГ, распространяясь от СД источников света по электрической сети, создают электромагнитные поля с частотами от 50 Гц до 40 кГц и более, которые оказывают негативное воздействие на организм человека. Колебания напряжения вызывают изменения светового потока, который негативно воспринимается человеком. Это восприятие называется *фликером*. Степень воздействия фликера характеризуется таким показателем качества электроэнергии, как доза фликера.

Существующие нормы качества электроэнергии, так называемая *кратковременная доза фликера* P_{st} , измеренная в течение 10 мин, не должна превышать 1,38, и длительная доза фликера P_{lf} , измеренная в течение двух часов, не должна превышать 1,0 в течение 100 % времени интервала в неделю (ГОСТ 32144-2013). Однако в Правилах РМРС требование к дозе фликера не рассмотрено.

Величина постоянного напряжения, подведенного к СД лампе, и уровень его колебаний определяются схемой драйвера. Пульсации выпрямленного напряжения приводят к колебаниям тока и светового потока, что определяет допустимую дозу фликера. Таким образом, доза фликера в помещении, где установлены СД источники света, не может быть объективно определена посредством приборов, измеряющих показатели качества электроэнергии, так как они оценивают дозу фликера по колебаниям напряжения в сети.

В работе [9] предложено дозу фликера определять на основе измерений светового потока, создаваемого СД лампой. Проведенные исследования показали, что ряд СД ламп характеризуется постоянством светового потока вне зависимости от напряжения сети. В настоящее время на рынке представлены СД лампы как со стабилизированным световым потоком, так и с возможностью его регулирования за счет изменения напряжения. Последний тип СД ламп является чувствительным к колебаниям напряжения с точки зрения дозы фликера, и для установки в системах судового освещения не подходит. Помимо величины освещенности, для предотвращения несчастных случаев необходимо принимать во внимание пульсации освещенности, обуславливающие возникновение *стробоскопического эффекта*. Правилами РМРС установлены единые требования к освещенности для СД ламп и ламп накаливания. Однако СД источники света могут иметь значительный коэффициент пульсаций освещенности (см. табл. 4) и быть причиной стробоскопического эффекта.

Согласно [10], возникновение стробоскопического эффекта возможно при коэффициенте пульсаций освещенности, превышающем 10 %. Частота пульсаций освещенности, при которой возникает стробоскопический эффект, определяется частотой вращения приводов и исполнительных механизмов. На морских судах в качестве приводов в большинстве случаев применяются асинхронные двигатели. Их вращение происходит с частотой, несколько отличающейся в меньшую сторону от синхронных частот 50, 25, 16,6 и 12,5 об/с. Проведенные экспериментальные исследования [8] показывают, что у всех рассмотренных образцов СД ламп пульсации освещенности происходят на частоте 100 Гц и более. Следовательно, возникновение стробоскопического эффекта в системах освещения на основе СД источников света с точки зрения совпадения частот вращения механизмов и пульсации освещенности для механизмов, приводимых во вращение непосредственно асинхронными двигателями, маловероятно.

Результаты исследований электромагнитной совместимости СД источников света в системах электроснабжения морских судов показал, что в исследуемой СЭЭС показатели качества электроэнергии удовлетворяют требованиям Правил РМРС и ГОСТ 32144-2013.

Показатели несинусоидальности напряжения для большинства ВГ составляющих увеличились незначительно, что обусловлено следующими факторами:

- уменьшением суммарной потребляемой СД светильниками мощности в сравнении с люминесцентными;

– высоким сопротивлением судовой сети для протекания преобладающих у СД светильников токов третьей гармоники.

Наибольшее увеличение несинусоидальности приходится на пятую и седьмую ВГ составляющие напряжения.

Замена существующих линейных люминесцентных ламп (светоотдача 47 лм/Вт) на СД аналоги со светоотдачей 94 лм/Вт обеспечивает уменьшение установленной мощности осветительных приборов судна. Это существенно повышает устойчивость функционирования судовых систем освещения, особенно в условиях, сопровождающихся ограничениями электроснабжения.

Выводы

На основании вышеизложенного можно сделать следующие основные выводы.

1. Экспериментальные исследования СД ламп выявили относительно высокий уровень потребления реактивной мощности и эмиссии высших гармонических составляющих тока в электрическую сеть.

2. СД лампы имеют значительную кратность пускового тока, поэтому для установки на судах необходимо выбирать (в особенности в системах аварийного освещения) изделия с наименьшей величиной пускового тока, а также учитывать величину пускового тока СД источников света при выборе защитных аппаратов.

3. Для поддержания требуемого уровня освещенности при понижениях напряжения следует применять СД лампы со стабилизированным световым потоком.

4. Несмотря на низкую по сравнению с другими типами ламп чувствительность к изменениям напряжения, функционирование СД ламп сопряжено с проявлением фликера. Отсутствие в Правилах РМРС требований к ограничению пульсаций светового потока и несовершенство используемых методик определения дозы фликера затрудняют обеспечение биоэлектромагнитной совместимости СД ламп.

5. Следует применять СД источники света с минимальным коэффициентом пульсаций для уменьшения влияния фликера на обслуживающий персонал и снижения вероятности возникновения стробоскопического эффекта.

6. СД лампы с учетом их характеристик надёжности, экологичности и энергоэффективности, а также стабильности светового потока при изменениях напряжения сети имеют несомненные преимущества перед ЛН и ЛЛ и, безусловно, перспективны для использования в судовых системах освещения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Правила классификации и постройки морских судов: В 2 ч. — СПб.: Изд-во РМРС, 2015. — Ч. 2. — 753 с.
2. Махлин А. О. Особенности проектирования блока питания для светодиодных ламп / А. О. Махлин // Полупроводниковая светотехника. — 2011. — Т. 1. — № 9. — С. 30–33.
3. Семёнов Б. Ю. Экономическое освещение для всех / Б. Ю. Семёнов. — М.: СОЛОН-ПРЕСС, 2010. — 224 с.
4. Гончарова Ю. С. Ускоренные испытания полупроводниковых источников света на долговечность / Ю. С. Гончарова, И. Ф. Гарипов, В. С. Солдаткин // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. — 2013. — № 2 (28). — С. 51–53.
5. Туев В. И. Микроволновые усилители с большим динамическим диапазоном / В. И. Туев, В. М. Коротчаев. — Томск: Изд-во Том. гос. ун-та систем управления и радиоэлектроники, 2013. — 175 с.
6. ГОСТ 30804.3.2–2013. Совместимость технических средств электромагнитная. Эмиссия гармонических составляющих тока техническими средствами с потребляемым током не более 16 А (в одной фазе). Нормы и методы испытаний. — М.: Стандартинформ, 2014. — 29 с.

7. Белей В. Ф. Светодиодные лампы в системах судового освещения: вопросы электромагнитной совместимости / В. Ф. Белей, М. С. Харитонов // Вестник Мурманского государственного технического университета. — 2016. — Т. 19. — № 4. — С. 687–696. DOI: 10.21443/1560-9278-2016-4-687-696.
8. Белей В. Ф. Результаты экспериментальных исследований светодиодных ламп сетевого напряжения / В. Ф. Белей, М. С. Харитонов // Промышленная энергетика. — 2012. — № 9. — С. 9–14.
9. Лисицкий К. Е. Совершенствование метода оценки фликера / К. Е. Лисицкий // Системные исследования в энергетике: труды молодых ученых ИСЭМ СО РАН. — Иркутск, 2014. — С. 50–55.
10. Справочная книга по светотехнике / под ред. Ю. Б. Айзенберга. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Энергоатомиздат, 1995. — 526 с.

REFERENCES

1. *Pravila klassifikatsii i postroiki morskikh sudov. Chast' 2*. SPb.: Izd-vo RMRS, 2015.
2. Makhlin, A. O. "Osobennosti proektirovaniya bloka pitaniya dlya svetodiodnykh lamp." *Poluprovodnikovaya svetotekhnika* 1.9 (2011): 30–33.
3. Semenov, B. Yu. *Ekonomicheskoe osveshchenie dlya vsekh*. M.: SOLON-PRESS, 2010.
4. Goncharova, Y. S., I. F. Garipov, and V. S. Soldatkin. "Accelerated testing of LED for durability." *Proceedings of TUSUR University* 2(28) (2013): 51–53.
5. Tuv, V. I., and V. M. Korotaev. *Mikrovolnovye usiliteli s bol'shim dinamicheskim diapazonom*. Tomsk: Izd-vo Tom. gos. un-ta sistem upr. i radioelektroniki, 2013.
6. Russian Federation. State Standart GOST 30804.3.2–2013. Electromagnetic compatibility of technical equipment. Harmonic current emissions (equipment input current ≤ 16 A per phase). Limits and test methods. M.: Standartinform, 2014.
7. Beley, V. F., and M. S. Kharitonov. "LED lamps in shipboard lighting systems: Aspects of electromagnetic compatibility." *Vestnik of MSTU* 19.4 (2016): 687–696. DOI: 10.21443/1560-9278-2016-4-687-696.
8. Belei, V. F., and M. S. Kharitonov. "Rezultaty eksperimental'nykh issledovaniy svetodiodnykh lamp setevogo napryazheniya." *Promyshlennaya energetika* 9 (2012): 9–14.
9. Lisitskii, K. E. "Sovershenstvovanie metoda otsenki flikera." *Sistemnye issledovaniya v energetike: trudy molodykh uchenykh ISEM SO RAN*. Irkutsk, 2014: 50–55.
10. Aizenberg, Yu. B., ed. *Spravochnaya kniga po svetotekhnike*. 2nd ed. M.: Energoatomizdat, 1995.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Кузнецов Сергей Емельянович —
доктор технических наук, профессор
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала
С. О. Макарова»
198035, Российская Федерация, г. Санкт-Петербург,
ул. Двинская, 5/7
e-mail: saees@mail.ru, kaf_saees@gumrf.ru

Кудрявцев Юрий Викторович —
кандидат технических наук, доцент
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала
С. О. Макарова»
198035, Российская Федерация, г. Санкт-Петербург,
ул. Двинская, 5/7
e-mail: uvk@rambler.ru, kaf_saees@gumrf.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Kuznetsov, Sergey Ye. —
Dr. of Technical Sciences, professor
Admiral Makarov State University of Maritime
and Inland Shipping
5/7 Dvinskaya Str., St. Petersburg, 198035,
Russian Federation
e-mail: saees@mail.ru, kaf_saees@gumrf.ru

Kudryavtsev, Yurii V. —
PhD, associate professor
Admiral Makarov State University of Maritime
and Inland Shipping
5/7 Dvinskaya Str., St. Petersburg, 198035,
Russian Federation
e-mail: uvk@rambler.ru, kaf_saees@gumrf.ru

Статья поступила в редакцию 17 июня 2017 г.
Received: June 17, 2017.