

УДК 629.5.06

В. Ф. Белей, М. С. Харитонов

## Светодиодные лампы в системах судового освещения: вопросы электромагнитной совместимости

Показаны тенденции развития различных типов источников света и приведены их энергетические характеристики. Дан анализ нормативных документов. Описаны результаты экспериментальных исследований ряда современных светодиодных ламп. Для исследования выбран ряд светодиодных ламп, представленных на рынок производителями Xavax, Philips, Melitec. Экспериментальные данные получены с использованием комплекса приборов: двухлучевого осциллографа (GDS-71042), анализатора качества электроэнергии (Fluke-434) и многофункционального прибора ЭкоЛайт-01 (люксметр, пульсметр и яркомер). Показано, что работа светодиодных ламп характеризуется высоким уровнем эмиссии высших гармоник тока и потребления реактивной мощности, что зависит от типа и конструкции драйвера лампы. Установлено, что величина освещенности, создаваемой светодиодными лампами, при допустимом (для морских судов) длительном отклонении напряжения  $-10\%$  снижается на  $3\%$ , а при допустимом кратковременном отклонении напряжения  $-20\%$  снижается на  $7\%$ . Для ламп накаливания данный показатель характеризуется снижением освещенности на  $40\%$  и  $60\%$  соответственно. Несмотря на низкую (в сравнении с другими типами ламп) чувствительность к изменениям напряжения, функционирование светодиодных ламп сопряжено с проявлением фликера. Отсутствие требований к ограничению колебаний светового потока в системах освещения судов и несовершенство используемых методик определения дозы фликера затрудняют обеспечение электромагнитной совместимости светодиодных ламп. По результатам проведенных исследований сделан вывод, что за счет надежности, экологичности, энергоэффективности и стабильности светового потока светодиодные лампы имеют перспективы для внедрения в системы освещения судов. Однако для обеспечения электромагнитной совместимости светодиодных систем освещения необходимо проведение подробных исследований энергетических характеристик светодиодных ламп и разработка соответствующих нормативных требований и технических решений.

**Ключевые слова:** светодиодная лампа, электромагнитная совместимость, качество электроэнергии, система освещения, судно, стандарт, регистр.

### Введение

Развитие светотехники продолжается более 150 лет и идет как по пути разработки новых источников света, так и по пути совершенствования существующих (рис. 1) [1]. На современном рынке светотехнических изделий наибольшую долю занимает сегмент ламп общего назначения, включающий лампы накаливания (ЛН), галогенные, линейные и компактные люминесцентные (КЛЛ) и светодиодные лампы (СДЛ) (табл. 1) [2; 3].

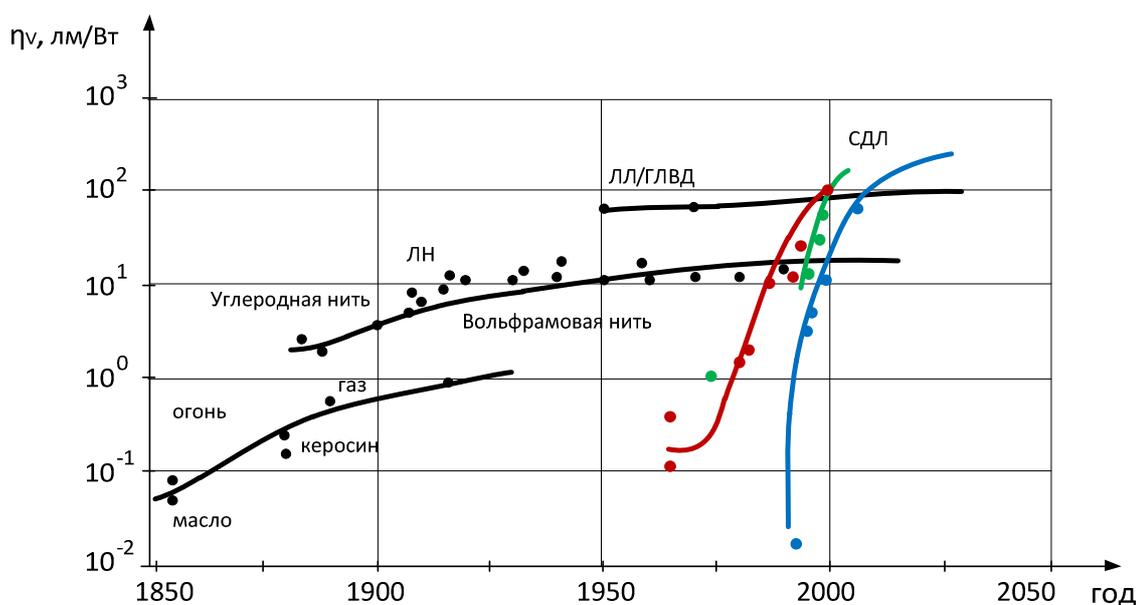


Рис. 1. Развитие световой отдачи источников света ( $\eta_v$ )  
Fig. 1. Development of the luminous output of light sources ( $\eta_v$ )

Таблица 1. Характеристики распространенных типов ламп  
Table 1. Characteristics of common types of lamps

Источник света	Нить накаливания	Люминофор		Светодиод
		Галогенная	Линейная ЛЛ	
Тип лампы	Галогенная	Линейная ЛЛ	КЛЛ	СДЛ
Теоретический предел светоотдачи, лм/Вт	53,5	100		более 300
Достигнутая светоотдача, лм/Вт	18	85	65	95
Цветовая температура, К	2 700–2 800	2 500–6 500	2 500–6 500	2 700–6 000
Срок службы, тыс. часов	до 4	до 20	до 20	до 100
Наличие ртути, мг/лампа	отсутствует	до 70	3–5	отсутствует

Критериями оценки эффективности источника света являются: удельная светоотдача (лм/Вт); срок службы; экологичность и утилизация; влияние на живые организмы и питающую сеть. С позиций удельной светоотдачи, срока службы и утилизации наибольшей эффективностью обладает СДЛ. Анализ рынка светотехнической продукции (рис. 2)<sup>1</sup> показывает рост доли светодиодных ламп на фоне явного сокращения доли ЛН.

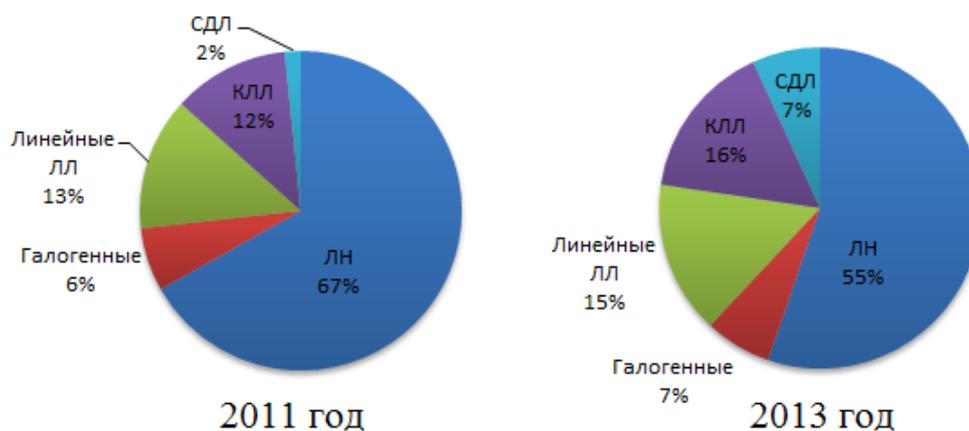


Рис. 2. Изменения в структуре рынка светотехнических изделий  
Fig. 2. Changes in the structure of the lighting products market

Светодиоды могут применяться как одиночные элементы, так и в составе групп, в конструкциях различных светотехнических изделий: от ламп с винтовым цоколем до прожекторов. Кроме того, прогноз специалистов<sup>2</sup> указывает на снижение стоимости светодиодных ламп в ближайшей перспективе, что в совокупности с высокой надежностью и энергоэффективностью создает предпосылки для широкого внедрения СДЛ, в том числе в системах судового освещения (рис. 3).

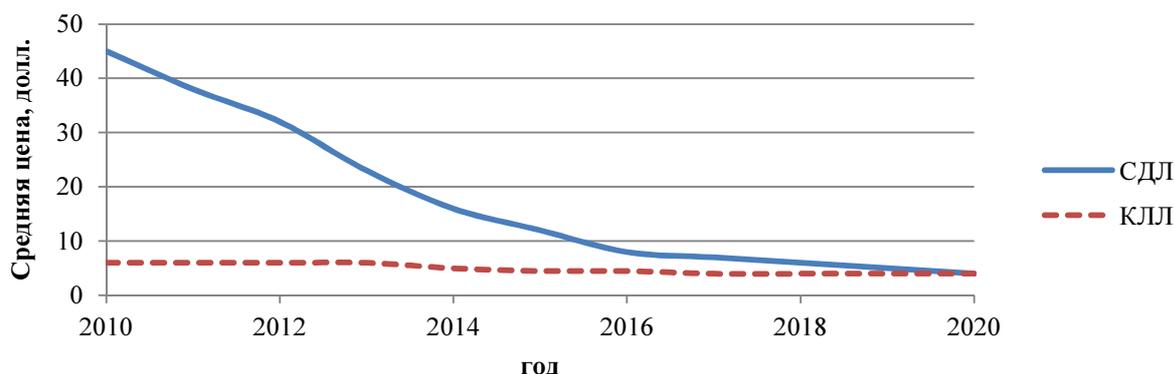


Рис. 3. Динамика и прогноз средней стоимости СДЛ и КЛЛ  
Fig. 3. Dynamics and forecast of the average cost of LED lamp and CFL

<sup>1</sup> Рынок ламп в России в 2011–2013 гг. / ООО "Лайтинг Бизнес Консалтинг". URL: [http://www.undp-light.ru/upload/%D0%9E%D1%82%D1%87%D0%B5%D1%82\\_2011-2013\\_public.pdf](http://www.undp-light.ru/upload/%D0%9E%D1%82%D1%87%D0%B5%D1%82_2011-2013_public.pdf).

<sup>2</sup> McHale J. Longer life-cycles & price pressure push LED manufacturers towards smart lighting control // Energy manager today : Electronic journal. URL: <http://www.energymanagertoday.com/longer-life-cycles-price-pressure-push-led-manufacturers-towards-smart-lighting-control-0101468/>.

## Материалы и методы

На судах, где применение освещения закрытых пространств является неизбежной необходимостью, возникают вопросы, связанные с обеспечением электромагнитной и биологической совместимости светотехнического оборудования и электрооборудования судовой электроэнергетической системы (СЭС). При этом важным условием является обеспечение требований к качеству электроэнергии (КЭ), которые изложены в ряде специализированных стандартов: европейском EN50160<sup>3</sup> и отечественном ГОСТ 32144–2013<sup>4</sup>. Для судостроительной отрасли требования по устройству электроустановок приводятся в Правилах классификации и постройки морских судов Российского морского регистра судоходства (КПМС РМРС)<sup>5</sup>. Часть XI "Электрическое оборудование" Правил содержит требования к судовым электроэнергетическим системам (СЭС), в том числе к электромагнитной совместимости (раздел 2.2) и системам судового освещения (раздел 6). С точки зрения обеспечения КЭ в системах освещения определяющее значение имеют показатели КЭ (ПКЭ): отклонение напряжения, доза фликера, несинусоидальность напряжения. Анализ нормативных документов показывает различия в требованиях по данным ПКЭ (табл. 2).

Таблица 2. Сравнительный анализ требований к ПКЭ нормативных документов с позиций эксплуатации светодиодных ламп в системах освещения

Table 2. Comparative analysis of requirements of normative documents for the power quality indicators from the point of LED lamps operation in lighting systems

Показатель	EN 50160:2010 (ЕС)	ГОСТ 32144–2013	Правила КПМС РМРС
Отклонение напряжения	В синхронных системах: $\pm 10\%$ В изолированных системах: $+10/-15\%$	Не более $\pm 10\%$	Длительное: $+6/-10\%$ Кратковременное: $\pm 20\%$ (1,5 с)
Суммарный коэффициент гармонических составляющих напряжения	не более $8\%$	не более $8\%$ ( $U_{\text{НОМ}} = 0,38$ кВ) не более $5\%$ ( $U_{\text{НОМ}} = 6-25$ кВ) не более $4\%$ ( $U_{\text{НОМ}} = 35$ кВ)	Не более $10\%$ Согласно п. 2.2.1.3, п. 12.2.1
Колебания напряжения (доза фликера)	длительная ( $P_{fl}$ ) не более 1 (95 % времени)	кратковременная ( $P_{st}$ ) не более 1,38 длительная ( $P_{fl}$ ) не более $1\%$	Требования отсутствуют

Согласно ГОСТ 32144–2013<sup>6</sup>, показателями отклонения напряжения являются отрицательное  $\delta U_{(-)}$  (1) и положительное  $\delta U_{(+)}$  (2) отклонения напряжения электропитания от номинального значения.

$$\delta U_{(-)} = [(U_0 - U_{m(-)}) / U_0] \cdot 100\%; \quad (1)$$

$$\delta U_{(+)} = [(U_{m(+)} - U_0) / U_0] \cdot 100\%; \quad (2)$$

где  $U_{m(-)}$ ,  $U_{m(+)}$  – значения напряжения электропитания, меньшие  $U_0$  и большие  $U_0$  соответственно;  $U_0$  – стандартное номинальное напряжение.

Несинусоидальность напряжения регламентируется двумя показателями:

– значения коэффициентов гармонических составляющих напряжения до 40-го порядка  $K_{U(n)}$  в процентах напряжения основной гармонической составляющей  $U_1$  (3);

– значение суммарного коэффициента гармонических составляющих напряжения  $K_U$ , % (4).

$$K_{U(n)} = \frac{U_{(n)}}{U_{(1)}} \cdot 100\%; \quad (3)$$

$$K_U = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{40} U_{(n)}^2}}{U_{(1)}} \cdot 100\%; \quad (4)$$

где  $U_{(n)}$  – значение амплитуды  $n$ -й гармоники напряжения;  $U_{(1)}$  – значение амплитуды 1-й гармоники напряжения.

<sup>3</sup> EN 50160:2010. Voltage characteristics of electricity supplied by public electricity networks / A. Klajn, M. Bątkiewicz-Pantula. URL: [http://www.leonardo-energy.org/sites/leonardo-energy/files/documents-and-links/Cu0147\\_AN\\_EN50160\\_v1\\_0.pdf](http://www.leonardo-energy.org/sites/leonardo-energy/files/documents-and-links/Cu0147_AN_EN50160_v1_0.pdf).

<sup>4</sup> ГОСТ 32144–2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. М., 2014. 16 с.

<sup>5</sup> Правила классификации и постройки морских судов : в 3 т. 18-е изд. // Российский морской регистр судоходства (РС) : офиц. сайт. URL: [http://www.rs-class.ru/ru/register/publications/list.php?SECTION\\_ID=93](http://www.rs-class.ru/ru/register/publications/list.php?SECTION_ID=93).

<sup>6</sup> ГОСТ 32144–2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. М., 2014. 16 с.

Анализ характеристик СДЛ, приведенных производителями в каталогах и другой документации, показал, что в некоторых случаях информация о характеристиках приводится не в полном объеме. Не все производители указывают величину потребляемого тока. Также отсутствует информация о колебаниях светового потока СДЛ и уровне электромагнитных помех (ЭМП), вносимых СДЛ в питающую сеть.

Решение проблем использования СДЛ, получение недостающей информации возможно на основе экспериментальных исследований СДЛ. 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 СДЛ.

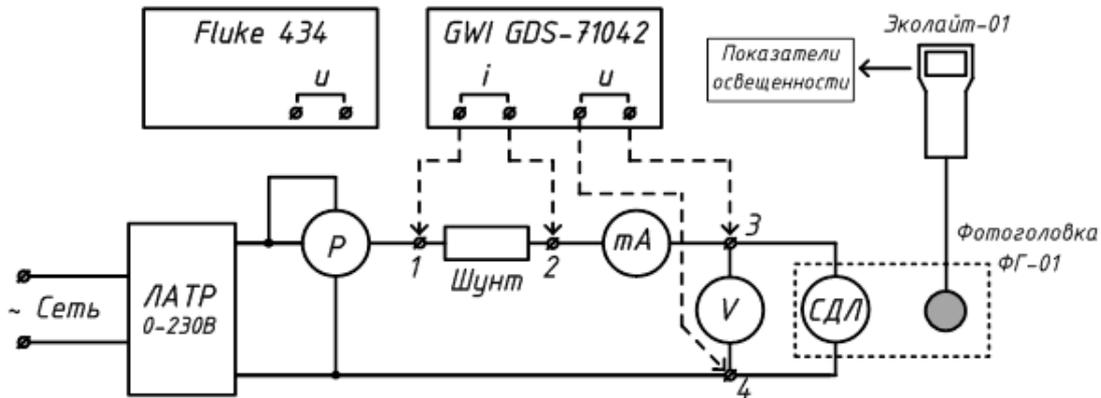


Рис. 4. Схема лабораторной установки для исследования СДЛ  
Fig. 4. Scheme of laboratory setup for investigation of LED lamps

Для исследования был выбран ряд СД ламп, представленных на рынок производителями Xavax, Philips, Melitec (табл. 3). В технической документации для всех исследуемых изделий производителем указана величина потребляемого тока.

Таблица 3. Паспортные данные исследуемых ламп  
Table 3. Passport characteristics of the investigated lamps

Производитель	P, Вт	U <sub>ном</sub> , В	I <sub>ном</sub> , мА	Ф, лм	Срок службы
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	230	35	240	15 000
Philips	6	230	40	470	15 000

### Результаты и обсуждение

Результаты измерения электротехнических характеристик приведены в табл. 4 [4; 5]. В таблице  $K_U$  и  $K_I$  соответственно обозначают коэффициенты искажения синусоидальности кривой тока и напряжения. Эквивалентная реактивная мощность  $Q_{\text{экв}}^p$  определена в соответствии с (5), (6).

Таблица 4. Результаты экспериментальных исследований СДЛ при напряжении 230В  
Table 4. The results of experimental studies of LED lamps at the voltage of 230V

Производитель	P, Вт	$K_U, \%$	$K_I, \%$	Коэффициенты гармонических составляющих тока $K_{I_n}, \%$						$I_{\text{изм}}, \text{мА}$	$Q_{\text{экв}}^p, \text{вар}$	$\cos \varphi_{\text{экв}}$
				$K_3$	$K_5$	$K_7$	$K_9$	$K_{11}$	$K_{13}$			
Melitech	2,5	1,6	13,6	9,0	6,1	7,6	3,0	3,7	0,7	62,9	14,2	0,17
Xavax	3	1,6	31,7	24,6	17,2	2,8	4,5	2,1	2,3	41,6	9,1	0,31
	9	1,6	35,7	28,5	17,5	5,7	9,8	2,0	3,2	50,6	7,3	0,77
Philips	3,5	1,6	56,7	45,2	14,2	18,3	13,0	17,0	11,5	28,8	5,6	0,53
	6	1,6	51,2	46,5	19,1	2,8	10,9	2,5	3,7	34	5,0	0,77

$$Q_{\text{экв}}^p = \sqrt{(UI)^2 - P^2}; \quad (5)$$

$$\cos \varphi_{\text{экв}} = \frac{P}{UI}. \quad (6)$$

СДЛ, как и КЛЛ [6], являются нелинейными нагрузками с несинусоидальной формой потребляемого тока, что свидетельствует об эмиссии высших гармонических составляющих тока со стороны СДЛ в электрическую сеть. ГОСТ 30804.3.2–2013<sup>7</sup> устанавливает нормы эмиссии гармонических составляющих тока техническими средствами (ТС) с потребляемым током не более 16 А. Стандарт относит все виды ламп, включая СДЛ, к световому оборудованию, что соответствует классу С применяемой в стандарте классификации. Класс С разделяется на две категории ТС: с потребляемой мощностью менее и более 25 Вт. Для СДЛ, имеющих мощность, не превышающую 25 Вт, установлены следующие требования: значения гармонических составляющих тока на 1 Вт мощности ТС не должны превышать норм гармонических составляющих тока, приведенных на рис. 5.

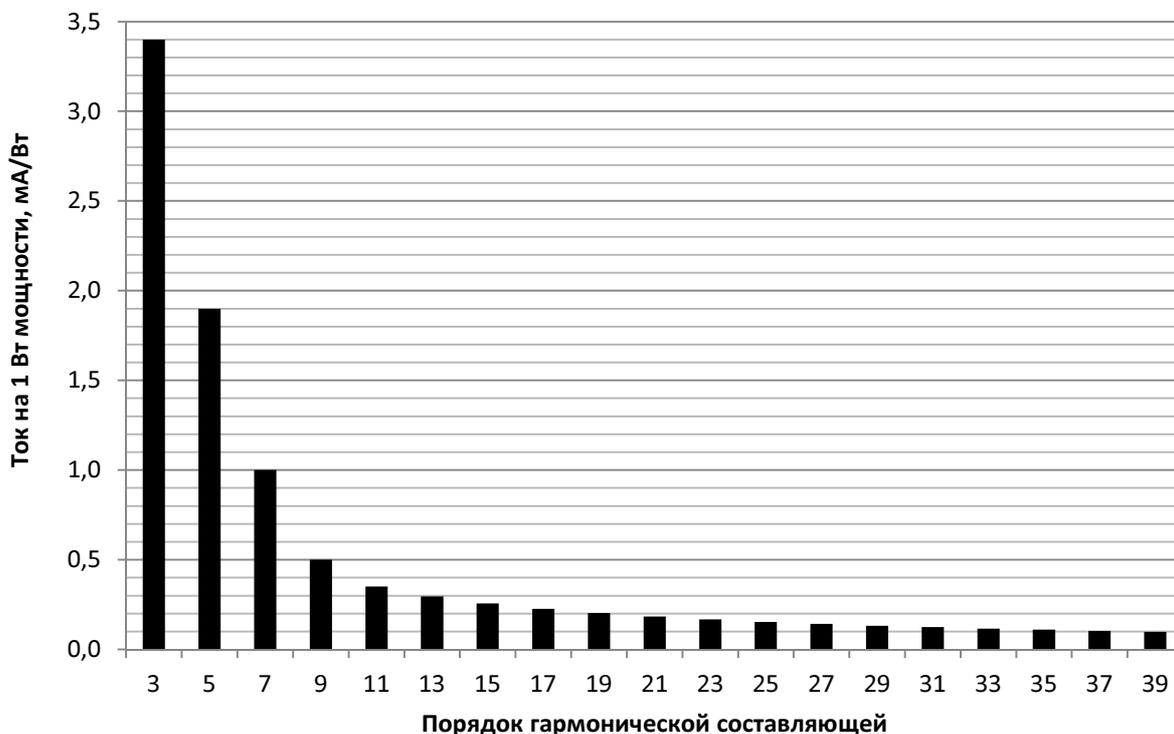


Рис. 5. Максимально допустимое значение гармонической составляющей тока на 1 Вт мощности светодиодной лампы, мА/Вт

Fig. 5. The maximum allowed value of the harmonic component of the current at 1W power for LED lamps, mA/W

Осциллограммы напряжения и потребляемого лампами тока приведены на рис. 6. Форма кривой тока искажена, что свидетельствует об эмиссии высших гармоник тока СДЛ в питающую сеть. Гармонические токи, протекающие в осветительных сетях, создают падения напряжений на полных сопротивлениях электрических сетей. Эмиссия высших гармоник тока обусловлена работой встроенного модуля питания (драйвера) СДЛ, который является нелинейным элементом для питающей электрической сети.

Следует отметить, что величина постоянного напряжения, подведенного к СД в лампе, и уровень его колебаний определяются схемой драйвера (рис. 7). На входе драйвера расположен выпрямитель. В идеальном случае этот модуль на выходе должен обеспечить заданное напряжение  $U_{3-4}$  с минимальным уровнем пульсаций [7]. Как известно, величина протекающего через СД тока определяет его световой поток. Пульсации напряжения  $U_{3-4}$  приводят к колебаниям тока, светового потока, что определяет дозу фликера (рис. 8). Таким образом, доза фликера в помещении, где установлены светодиодные источники света, не может быть объективно определена посредством приборов, измеряющих показатели качества электроэнергии, так как они оценивают дозу фликера по колебаниям напряжения в сети.

<sup>7</sup> 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., 2014. 31 с.

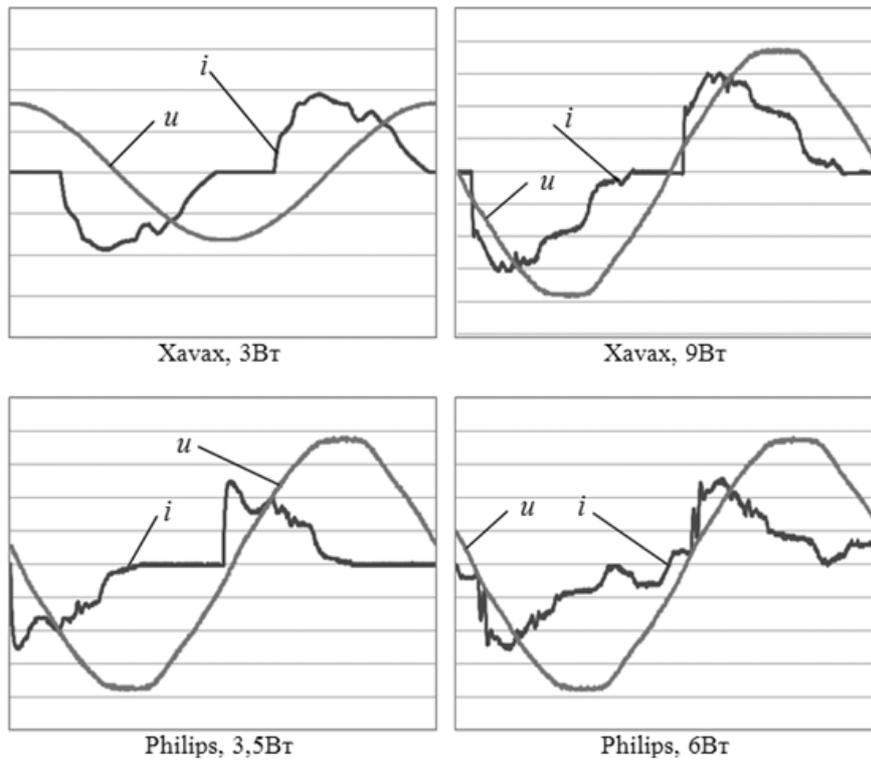


Рис. 6. Осциллограммы потребляемого тока и напряжения ( $U_n = 230\text{ В}$ ) исследуемых СДЛ  
 Fig. 6. Waveforms of the consumed current and voltage ( $U_n = 230\text{ V}$ ) for investigated LED lamps

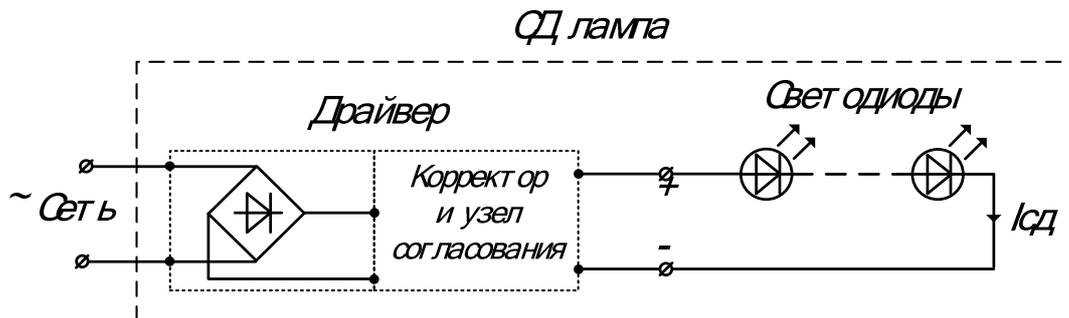


Рис. 7. Структурная схема светодиодной лампы  
 Fig. 7. Block diagram of the LED lamp

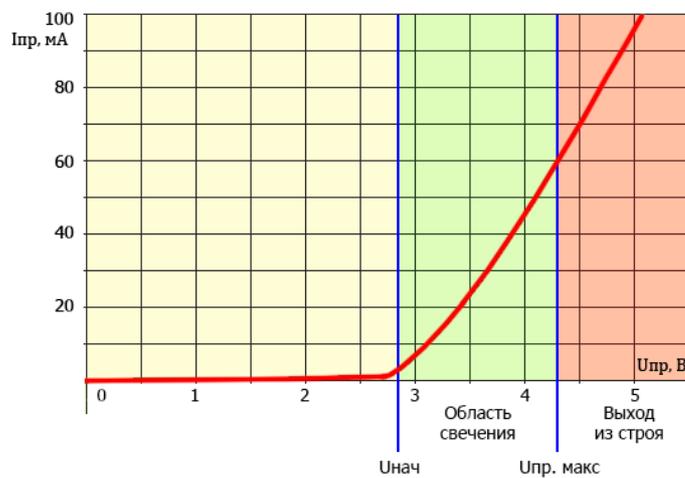


Рис. 8. Положительная ВАХ светодиода  
 Fig. 8. The positive current-voltage characteristic of the LED

Фликер является важнейшей характеристикой КЭ с точки зрения биологической совместимости. Фликер – субъективное восприятие человеком колебаний светового потока искусственных источников освещения, вызванных колебаниями напряжения в электрической сети, питающей эти источники. В стандартах EN 50160:2010 и ГОСТ 32144–2013 данная характеристика нормируется длительной  $P_{fl}$  и кратковременной  $P_{st}$  дозой фликера (7).

$$P_{st} = \sqrt{\left[ \sum (2,3(F \cdot d_{\max}))^{3,2} \right] / T_p}, \quad (7)$$

где  $F$  – коэффициент приведения, определяемый в зависимости от вида кривой изменения напряжения;  $d_{\max}$  – максимальное относительное изменение напряжения, которое выражается в процентах от номинального значения;  $T_p$  – период наблюдения.

В Правилах классификации и постройки морских судов Российского морского регистра судоходства, содержащей требования к освещенности отдельных судовых помещений и пространств, нормы приводятся как для ЛН, так и для ЛЛ и СДЛ. В то же время в рассматриваемой части Правил не приведено требований к стабильности светового потока источников света. Значительные проявления фликера негативно сказываются на персонале, приводят к повышенной утомляемости, при этом наиболее раздражающее действие фликера проявляется при частоте колебаний 8,8 Гц, что соответствует частоте колебаний клеток головного мозга человека. Особенно актуальной данная проблема является для помещений, освещаемых исключительно искусственными источниками света.

В работе [8] предложено дозу фликера определять на основе измерений светового потока, создаваемого СДЛ. Проведенные исследования показали, что ряд СДЛ характеризуется постоянством светового потока вне зависимости от напряжения сети. Однако на рынке представлены СДЛ как со стабилизированным световым потоком (СДЛ-С), так и с возможностью регулирования за счет изменения напряжения (СДЛ-Р). Последний тип СДЛ является чувствительным к колебаниям напряжения с точки зрения дозы фликера.

Для определения особенностей функционирования ламп при пониженном напряжении в питающей сети были проведены экспериментальные исследования ламп различных типов. Графические зависимости величины освещенности, отнесенной к своему максимальному значению, измеренному на интервале 0–230 В в функции напряжения, приведены на рис. 9. Как следует из рисунка, СДЛ-С (Xavax) со стабилизированным световым потоком начинает свечение при напряжении 145 В. СДЛ-Р (Philips) с регулируемым световым потоком способна функционировать при напряжении сети от 50 В, что соответствует началу слабого свечения КЛЛ. Однако полноценное зажигание КЛЛ происходит при напряжении 125 В. Таким образом, функционирование всех исследованных ламп обеспечивается при минимальном напряжении в 150 В, что эквивалентно понижению напряжения в сети более чем на 30 % от номинального значения 220 В. Однако при снижении напряжения до допустимого в Правилах значения 80 % освещенность от СДЛ снижается на 7 %, а освещенность от ЛН – на 60 %.

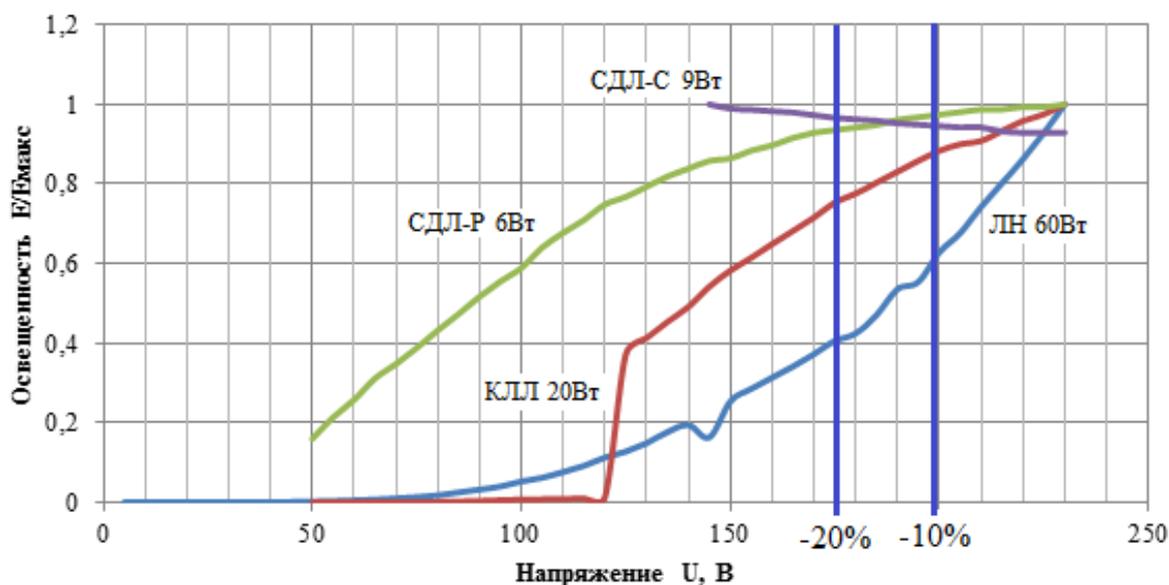


Рис. 9. Графические зависимости освещенности от величины напряжения  
 Fig. 9. Graphic relations for values of illuminance and voltage

## Заключение

На основании результатов проведенных теоретических и экспериментальных исследований возможно сделать следующие выводы:

1. Технические характеристики СДЛ, приведенные производителями, как правило, не содержат информацию о влиянии ламп на качество электроэнергии. В ряде случаев невозможность определения величины потребляемого тока с учетом реактивной составляющей не позволяет провести выбор сечения проводников и установок средств релейной защиты.

2. Экспериментальные исследования ряда СДЛ выявили высокий уровень потребления реактивной мощности и эмиссии высших гармонических составляющих тока в электрическую сеть.

3. Установлено, что величина освещенности, создаваемой СДЛ, при допустимом Правилами длительном отклонении напряжения  $-10\%$  снижается на  $3\%$ , а при допустимом кратковременном отклонении напряжения  $-20\%$  снижается на  $7\%$ . Для ламп накаливания данный показатель характеризуется снижением освещенности на  $40\%$  и  $60\%$  соответственно.

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

5. С учетом тенденции к снижению стоимости СДЛ, с позиций надежности, экологичности, энергоэффективности и стабильности светового потока при изменениях напряжения сети СДЛ имеют несомненные преимущества перед ЛН и КЛЛ, что особенно важно для судовых систем освещения.

## Библиографический список

1. Закгейм А. Л. Светодиодные системы освещения: энергоэффективность, зрительное восприятие, безопасность для здоровья (обзор) // Светотехника. 2012. № 6. С. 12–25.
2. Сандольская Д. В. Повышение энергетической эффективности. Энергосберегающие лампы // Academia. Архитектура и строительство. 2010. № 3. С. 486–490.
3. Simpson R. S. Lighting control: Technology and applications. Oxford : Focal Press, 2003. 564 p.
4. Белей В. Ф., Харитонов М. С. Результаты экспериментальных исследований светодиодных ламп сетевого напряжения // Промышленная энергетика. 2012. № 9. С. 9–14.
5. Белей В. Ф., Харитонов М. С. Некоторые рекомендации для систем освещения на основе энергосберегающих ламп // Промышленная энергетика. 2014. № 6. С. 41–47.
6. Белей В. Ф. Компактные люминесцентные лампы: электрические характеристики, проблемы электромагнитной совместимости // Электротехника. 2002. № 7. С. 48–51.
7. Миронов С. Режим питания нарушать нельзя: модули питания для осветительных светодиодов // Новости электротехники плюс светотехника. 2013. № 1. С. 20–29.
8. Лисицкий К. Е. Совершенствование метода оценки фликера / Системные исследования в энергетике : труды молодых ученых ИСЭМ СО РАН. Иркутск, 2014. С. 50–55.

## References

1. Zakgeym A. L. Svetodiodnye sistemy osvesheniya: energoeffektivnost, zritelnoe vospriyatie, bezopasnost dlya zdorovya (obzor) [LED lighting systems: energy efficiency, visual perception, health safety (Review)] // Svetotekhnika. 2012. N 6. P. 12–25.
2. Sandol'skaya D. V. Povyshenie energeticheskoy effektivnosti. Energoberegayushchie lampy [Improving energy efficiency. Energy-saving lamps] // Academia. Arhitektura i stroitelstvo. 2010. N 3. P. 486–490.
3. Simpson R. S. Lighting control: Technology and applications. Oxford : Focal Press, 2003. 564 p.
4. Beley V. F., Kharitonov M. S. Rezultaty eksperimentalnykh issledovaniy svetodiodnykh lamp setevogo napryazheniya [The results of experimental investigation of LED lamps for mains voltage] // Promyshlennaya energetika. 2012. N 9. P. 9–14.
5. Beley V. F., Kharitonov M. S. Nekotorye rekomendatsii dlya sistem osvesheniya na osnove energoberegayushchih lamp [Several recommendations for lighting systems based on energy-saving lamps] // Promyshlennaya energetika. 2014. N 6. P. 41–47.
6. Beley V. F. Kompaktnye lyuminestsentnye lampy: elektricheskie harakteristiki, problemy elektromagnitnoy sovmestimosti [Compact fluorescent lamps: electrical characteristics and problems of electromagnetic compatibility] // Elektrotehnika. 2002. N 7. P. 48–51.
7. Mironov S. Rezhim pitaniya narushat nelzya: moduli pitaniya dlya osvetitelnykh svetodiodov [Power supply mode should not be violated: power supply modules for LEDs] // Novosti elektrotehniki plus svetotekhnika. 2013. N 1. P. 20–29.
8. Lisitskiy K. E. Sovershenstvovanie metoda otsenki flikera [Improving the method of assessment of the flicker] / Sistemnye issledovaniya v energetike : trudy molodykh uchenykh ISEM SO RAN. Irkutsk, 2014. P. 50–55.

**Сведения об авторах**

**Белей Валерий Феодосиевич** – Советский пр., 1, г. Калининград, Россия, 236022; Калининградский государственный технический университет, д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой;  
e-mail: vbeley@klgtu.ru

**Beley V. F.** – 1, Sovetsky Avenue, Kaliningrad, Russia, 236022; Kaliningrad State Technical University, Dr of Tech. Sci., Professor, Head of Department; e-mail: vbeley@klgtu.ru

**Харитонов Максим Сергеевич** – Советский пр., 1, г. Калининград, Россия, 236022; Калининградский государственный технический университет, ст. преподаватель; e-mail: engineeringlifestyle@gmail.com

**Kharitonov M. S.** – 1, Sovetsky Avenue, Kaliningrad, Russia, 236022; Kaliningrad State Technical University, Senior Lecturer; e-mail: engineeringlifestyle@gmail.com

V. F. Beley, M. S. Kharitonov

## **LED lamps in shipboard lighting systems: Aspects of electromagnetic compatibility**

Trends in the development of different types of light sources and their energy characteristics have been described in the paper. Analysis of regulatory documents has been given. The results of experimental studies of a number of modern LED lamps have been described. Investigation has been made for a number of LED lamps produced by Philips, Xavax and Melitec. The experimental data have been obtained with the complex of devices: the dual-channel oscilloscope (GDS-71042), the power quality analyzer (Fluke-434) and the multi-function device EcoLight-01 (light-, pulse- and luminance meter). It has been shown that operation of LED lamps is characterized by emission of higher current harmonics and reactive power consumption, which depends on the type and design of the lamp driver. It has been found that the value of luminance created by LED lamps in case of acceptable (for ships) prolonged deviation of voltage (–10 %) is reduced by 3 %; in case of permissible short-term voltage deviation (–20 %) luminance is reduced by 7 %. For incandescent lamps this indicator is characterized by a decrease in luminance by 40 % and 60 %, respectively. Despite the low sensitivity to voltage changes (in comparison with other types of lamps), the operation of LED lamps is also associated with the appearance of flicker. Absence of limitations for fluctuations of the light flux in shipboard lighting systems and imperfection of methods for determining the flicker make it difficult to ensure electromagnetic compatibility of LED lamps. Therefore due to reliability, environmental friendliness, energy efficiency and lumen maintenance LED lamps have prospects for introduction into shipboard lighting systems. However, to ensure electromagnetic compatibility of LED lighting systems it is necessary to conduct a detailed study of energy characteristics of LED lamps and to develop appropriate regulatory requirements and technical solutions.

**Key words:** LED lamp, electromagnetic compatibility, power quality, lighting system, vessel, standard, register.