



ПРОБЛЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ  
В ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ  
В СУДОВЫХ СИСТЕМАХ ОСВЕЩЕНИЯ  
СВЕТОДИОДНЫХ СВЕТИЛЬНИКОВ  
И НЕКОТОРЫЕ ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ

М.С. Харитонов, ст. преп.,  
engineeringlifestyle@gmail.com

В.Ф. Белей, д-р тех. наук, профессор,  
vbeley@klgtu.ru

ФГБОУ ВО «Калининградский государственный  
технический университет»

Рассмотрены вопросы функционирования систем освещения судов на основе светодиодных источников света в условиях чрезвычайных ситуаций. Дан анализ энергетических характеристик светодиодных ламп с позиций надежного функционирования систем освещения.

*безопасность в чрезвычайных ситуациях, судовая электроэнергетическая система, светодиод, система освещения, освещенность, стробоскопический эффект*

Обеспечение безаварийного технологического процесса и безопасности в чрезвычайных ситуациях на судах флота рыбной промышленности (ФРП) осуществляется за счет ряда технических систем, в том числе систем освещения. Системы освещения судов ФРП в большинстве случаев выполнены на основе ламп накаливания (ЛН) и люминесцентных ламп (ЛЛ), которые достигли технологического предела светоотдачи и имеют ряд проблем с экологичностью и электромагнитной совместимостью [1]. Поэтому в настоящее время осуществляется повсеместное внедрение надежных, экологичных и энергоэффективных светодиодных (СД) источников света (ИС), в том числе и на объектах морской индустрии.

Однако СД ИС являются нелинейной нагрузкой и оказывают воздействие на питающую электрическую сеть [2, 3], что в ряде случаев приводит к ухудшению электромагнитной обстановки и снижению надежности работы систем в чрезвычайных ситуациях. В то же время работа встроенного блока питания (драйвера) СД ИС и изменение величины напряжения в питающей электрической сети могут быть причинами понижения (колебания) светового потока, пульсаций освещенности, возникновения стробоскопического эффекта.

Чрезвычайные ситуации с точки зрения функционирования судовой электроэнергетической системы (ЭЭС) могут сопровождаться нарушением нормальной работы электрооборудования: понижением величины напряжения, эмиссией электромагнитных помех, включением аварийных источников питания и систем аварийного освещения. Допустимая величина отклонения напряжения от номинального значения в ЭЭС морских судов установлена Правилами классификации и постройки морских судов [4] и составляет от минус 10 % до плюс 6 % для длительного отклонения и  $\pm 20$  % для кратковременного отклонения.

Системы освещения судов, как правило, выполнены на напряжении 220 В и получают питание от шин генераторного напряжения главного распределительного щита (ГРЩ) 380 В через трансформаторы. На рис. 1 в качестве примера приведена схема системы освещения промыслового судна ФРП БАТМ «Братья Стояновы». Помимо основных источников энергии, на судне имеется аварийный дизель-генератор, питающий шины аварийного распределительного щита (АРЩ).

Для оценки возможности функционирования систем освещения судов на основе СД ИС в условиях чрезвычайных ситуаций проведены экспериментальные исследования энергетических характеристик (в том числе коэффициента пульсаций освещенности  $K_{\text{П}}$ )

восемью СД ламп (таблица) в номинальном режиме работы и при изменении напряжения в диапазоне от 0 до 250 В.

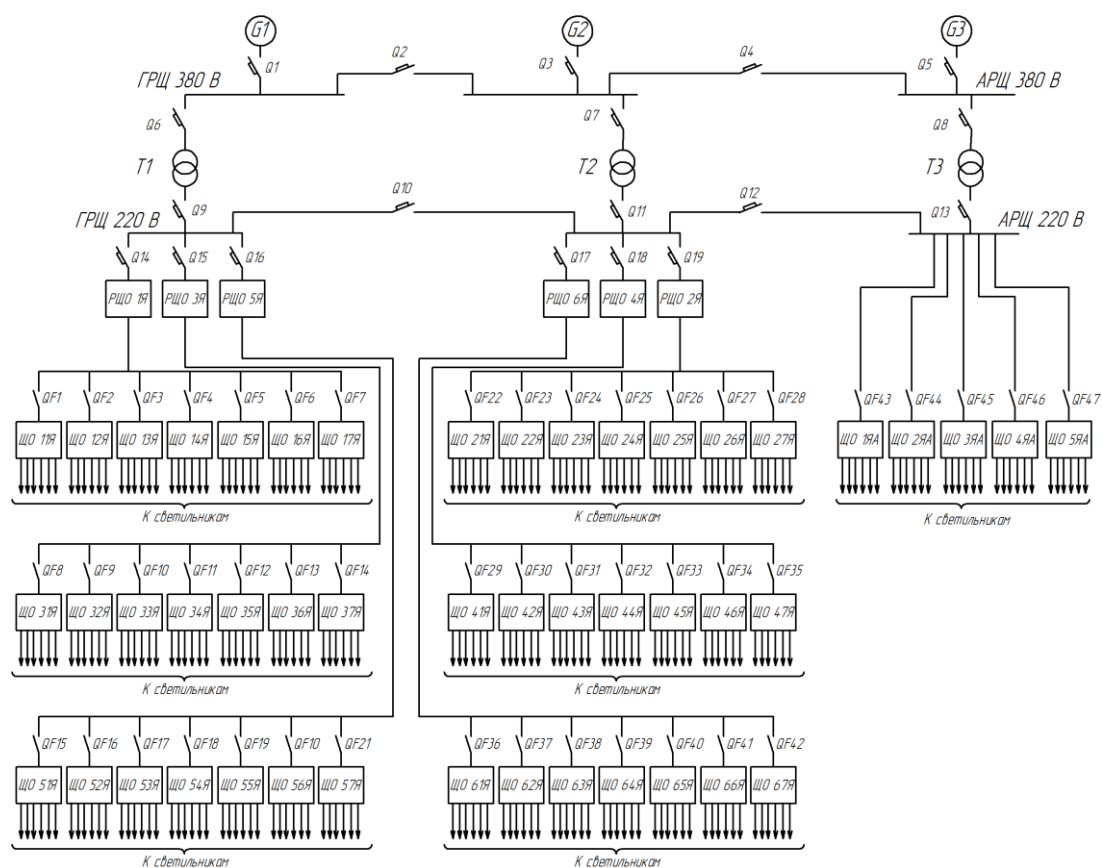


Рисунок 1 – Система освещения БАТМ «Братья Стояновы»

Таблица – Результаты экспериментальных исследований СД ламп

Марка	$P_{ном}$ , Вт	U, В	I, мА	Q, вар	cos φ	$I_{пуск}$ , мА	Кратн. $I_{пуск}$	Фуд, лм/Вт	$K_{п}$ , %
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	0,1
Melitec	2,5	230	72	16,3	0,15	232	3,22	46	100
Osram	7	230	36	3,1	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

Величина тока включения ( $I_{пуск}$ ) определена при помощи анализатора Fluke-434 как максимальное значение тока в серии включений/выключений СД ламп. На рис. 2 представлен пример регистрации величины тока включения для СД лампы Philips 11,5 Вт. Кратность тока включения составляет  $8,3 \times I_{ном}$  при скорости нарастания 2,8 А/с.

Установлено, что для ряда СД световых приборов ток включения может достигать пятнадцатикратного значения по отношению к номинальному. В системах аварийного освещения с малой установленной мощностью одновременное подключение световых приборов с большим током включения при высокой скорости его нарастания способно вызвать срабатывание защитных аппаратов, что может привести к неработоспособности системы аварийного освещения при возникновении чрезвычайной ситуации.

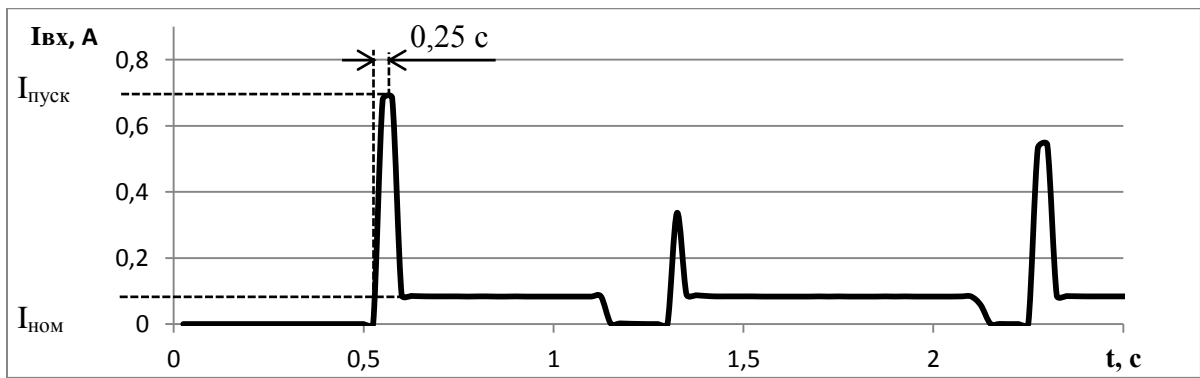


Рисунок 2 – Регистрация тока включения светодиодной лампы Philips 11,5 Вт

В соответствии с результатами экспериментальных исследований зависимости изменения светового потока от изменения напряжения рассматриваемые образцы разделены на СД лампы со стабилизированным (рис. 3) и регулируемым (рис. 4) световым потоком, что определяется конструкцией драйвера. Изделия с регулируемым потоком допускается использовать в системах освещения, оснащенных светорегуляторами.

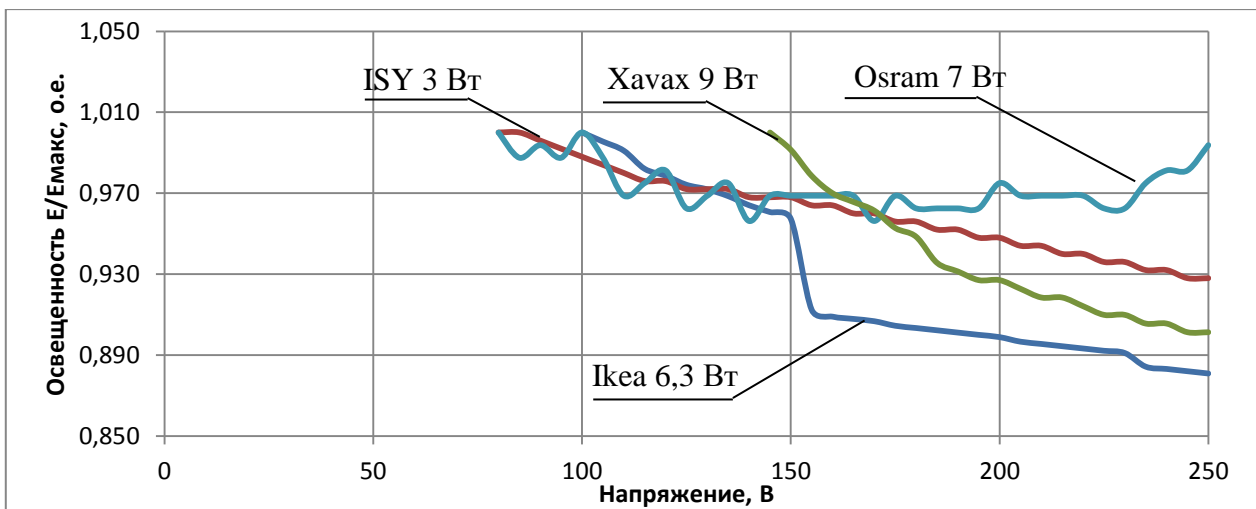


Рисунок 3 – Зависимость освещенности от напряжения сети для СД ламп со стабилизированным световым потоком

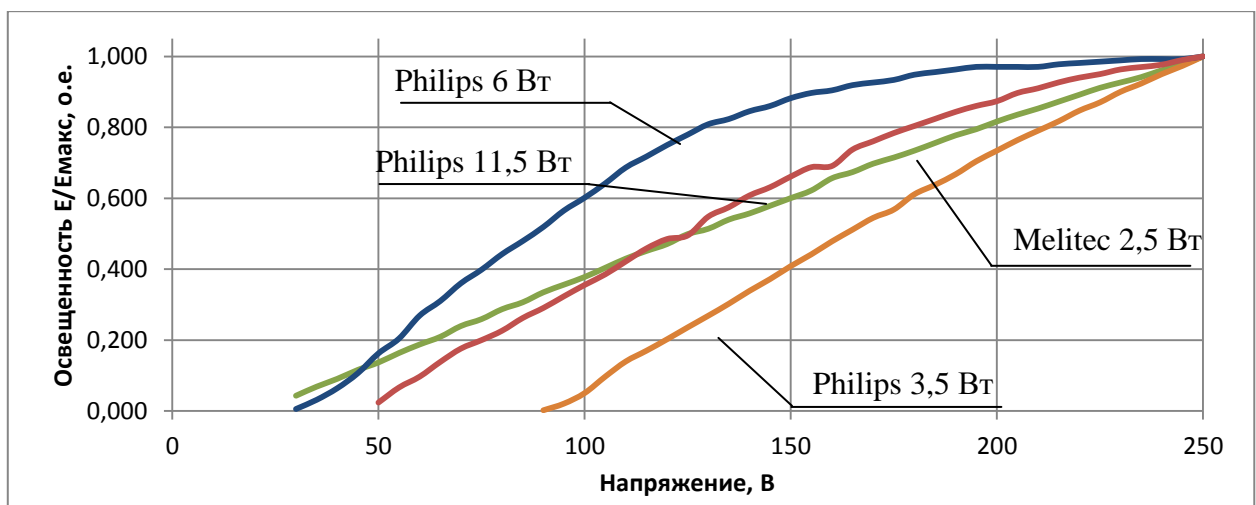


Рисунок 4 – Зависимость освещенности от напряжения сети для СД ламп с регулируемым световым потоком

Данные группы имеют принципиальные различия зависимостей  $E = f(U)$ . У исследованных СД ламп со стабилизированным потоком при изменении напряжения в рабочем диапазоне освещенность изменяется в пределах 10% от максимального значения. В случае использования ламп с регулируемым потоком освещенность плавно изменяется в пределах от 0 до максимального значения, что соответствует диапазону в 100%. При снижении напряжения в сети до значения 100 В освещенность от ламп со стабилизированным потоком не уменьшается относительно номинального значения, в то время как освещенность от ламп с регулируемым световым потоком снижается в среднем более чем на 50%.

С учетом проведенных исследований можно сделать вывод, что с точки зрения обеспечения безопасности в чрезвычайных ситуациях, сопряженных со снижением величины напряжения в судовых ЭЭС, СД ИС со стабилизированным световым потоком являются более предпочтительными, поскольку способны обеспечить постоянную величину освещенности при значительном отклонении напряжения от номинального значения.

Помимо величины освещенности, для обеспечения безопасности в чрезвычайных ситуациях и предотвращения несчастных случаев необходимо принимать во внимание пульсации освещенности, обуславливающие возникновение стробоскопического эффекта. Правилами Регистра установлены единые требования к освещенности для СД ламп и ламп накаливания. Однако СД ИС могут иметь значительный коэффициент пульсаций освещенности (таблица) и быть причиной стробоскопического эффекта.

В соответствии с ГОСТ ИСО 8995-2002 [5] под стробоскопическим эффектом понимается кажущаяся неподвижность объекта, освещенного светом периодически изменяющейся интенсивности с соответствующей частотой. Следовательно, с точки зрения стробоскопического эффекта определяющими факторами являются размах и частота пульсаций освещенности. Согласно [6] 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 показывают, что у всех рассмотренных СД ламп образцов пульсации освещенности происходят на частоте 100 Гц и более. Следовательно, возникновение стробоскопического эффекта в системах освещения на основе СД ИС с точки зрения совпадения частот вращения механизмов и пульсации освещенности для механизмов, приводимых во вращение непосредственно асинхронными двигателями, маловероятно (рис. 5).

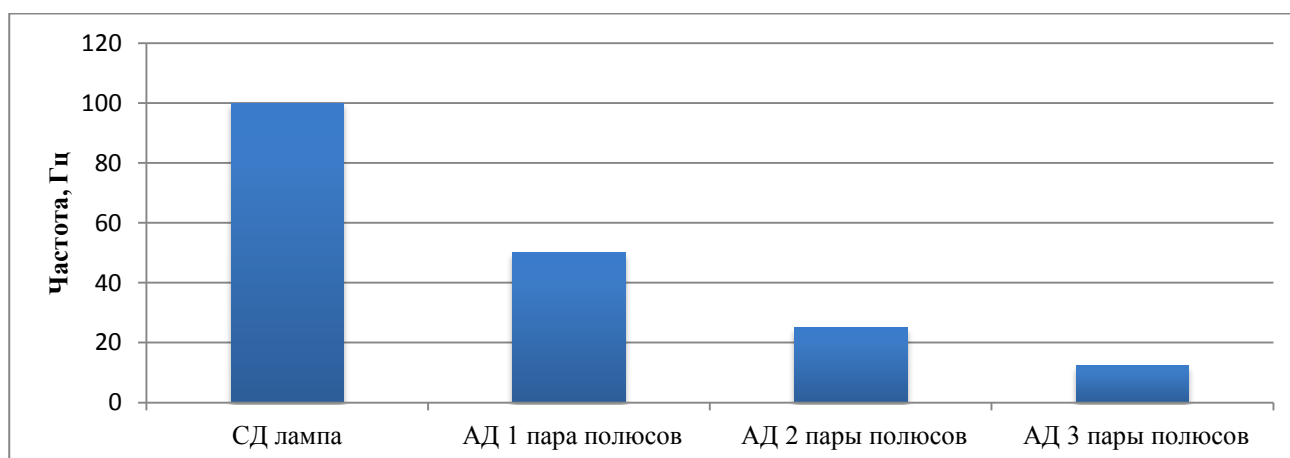


Рисунок 5 – Соотношение частоты пульсаций освещенности СД ламп и синхронных частот вращения асинхронных двигателей (АД)

На рис. 6 представлен сравнительный анализ коэффициентов пульсации освещенности для различных СД ламп. Как следует из рисунка, возникновение стробоскопического эффекта с точки зрения размахов пульсаций освещенности возможно в случае применения большинства исследованных СД ламп.

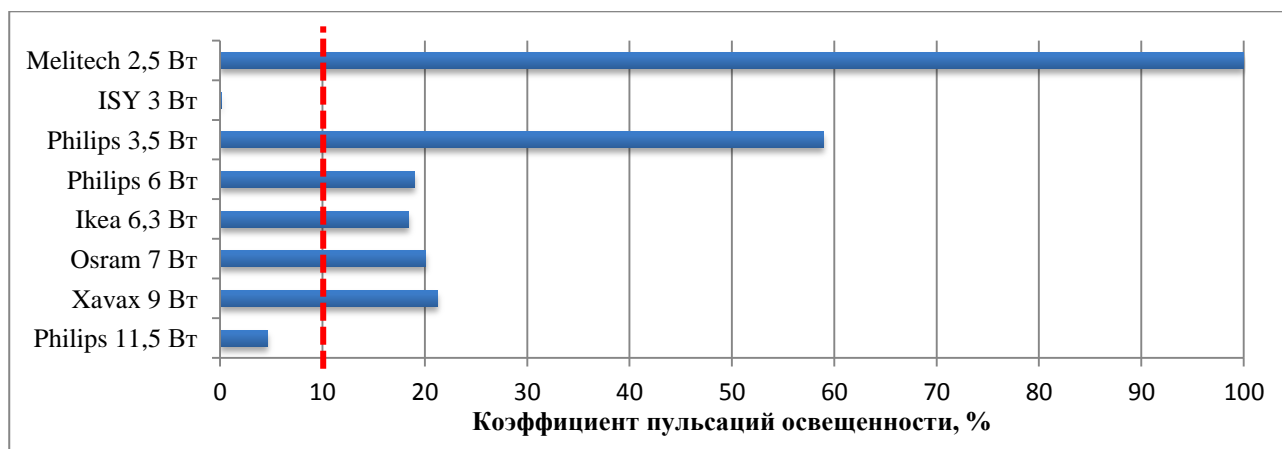


Рисунок 6 – Величина пульсаций освещенности СД ламп в сравнении с пороговым значением возникновения стробоскопического эффекта

Таким образом, для обеспечения безопасности в чрезвычайных ситуациях на судах с системами освещения на основе СД ИС необходимо: принимать к установке (в особенности в системах аварийного освещения) изделия с наименьшей величиной пускового тока, а также учитывать величину пускового тока СД ИС при выборе защитных аппаратов; принимать к установке изделия со стабилизированным световым потоком для поддержания требуемого уровня освещенности при понижениях напряжения; применять СД ИС с минимальным коэффициентом пульсаций. Следует учитывать, что данные рекомендации являются необходимым, но не достаточным условием для обеспечения безопасности в чрезвычайных ситуациях на судах, системы освещения которых построены на основе СД ИС.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Белей, В.Ф. Компактные люминесцентные лампы: электрические характеристики, проблемы электромагнитной совместимости / В.Ф. Белей // Электротехника. – 2002. – № 7. – С. 48–51.
2. Белей, В.Ф. Результаты экспериментальных исследований светодиодных ламп сетевого напряжения / В.Ф. Белей, М.С. Харитонов // Промышленная энергетика. – 2012. – № 9. С. 9–14.
3. Белей, В.Ф. Некоторые рекомендации для систем освещения на основе энергосберегающих ламп / В.Ф. Белей, М.С. Харитонов // Промышленная энергетика. – 2014. – № 6. – С. 41–47.
4. Российский Морской Регистр Судоходства. Правила классификации и постройки морских судов. Издание, утв. 15.09.2015 г.
5. ГОСТ ИСО 8995-2002 Принципы зрительной эргономики. Освещение рабочих систем внутри помещений.
6. Справочная книга по светотехнике / под ред. Ю.Б. Айзенберга. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва: Энергоатомиздат, 1995. – 526 с.

## SAFETY IN EMERGENCIES ON VESSELS WITH LED LIGHTING SYSTEMS AND WAYS PROVIDE IT

M. Kharitonov, Senior lecturer, Kaliningrad State Technical University,  
engineeringlifestyle@gmail.com

V. Beley, Dr. Sc., professor, Kaliningrad State Technical University  
vbeley@klgtu.ru

Problems of the operation of shipboard lighting systems based on LED light sources in emergencies are described. The analysis of energy characteristics of LED lamps from concerning reliable operation of lighting systems is given.

*safety in emergencies, shipboard power system, LED, lighting system, luminance, stroboscopic effect*