



РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ОСОБЕННОСТЕЙ ПРИМЕНЕНИЯ СВЕТОДИОДНОГО ОСВЕЩЕНИЯ НА ПРОМЫШЛЕННОМ ПРЕДПРИЯТИИ

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

Г.А. Решетников, студент,
gleb_reshetnikov95@mail.ru

ФГБОУ ВО «Калининградский государственный
технический университет»

Рассмотрены вопросы применения светодиодных светильников в системах освещения промышленных предприятий. На конкретном примере проанализирована структура системы освещения предприятия и номенклатура применяемых осветительных приборов. Рассмотрены вопросы электромагнитной совместимости систем освещения. Приведены результаты экспериментальных исследований несинусоидальности тока, потребляемого светильниками различных типов.

светодиодный светильник, промышленное предприятие, система освещения, качество электроэнергии, несинусоидальность

В наши дни системы освещения российских промышленных предприятий построены с применением различных искусственных источников света. Выбор определенного типа светотехнического изделия зависит от назначения конкретной системы освещения. В системах общего освещения цехов наибольшее распространение получили ртутные лампы высокого давления (РЛВД), для местного и общего освещения производственных, технических и административных помещений используются люминесцентные лампы (ЛЛ) и лампы накаливания (ЛН). В последние годы прослеживается тенденция к внедрению в системы освещения осветительных приборов на основе светодиодов (СД). Наиболее распространенными типами являются светодиодные прожекторы, светильники с линейными лампами и компактные лампы для прямой замены ламп накаливания. Тенденция к внедрению СД светильников обусловлена их высокими техническими характеристиками. В табл. 1 приведен сравнительный анализ характеристик различных типов светотехнических изделий, включая натриевые лампы высокого (ВД) и низкого (НД) давления [1].

Таблица 1 – Характеристики распространённых типов светотехнических изделий

Светотехническое изделие	Световая отдача, лм/Вт	Индекс цветопередачи	Срок службы, тыс. ч
Натриевые лампы НД	200	5	10–24
Светодиодные светильники	160	70–90	100
Натриевые лампы ВД	60–120	30	10–24
Металлгалогенные светильники	60–100	70–95	6–20
Светильники с ЛЛ	40–100	60–90	6–45
РЛВД	50	50	10
Светильники с ЛН	5–25	90–100	1

Характеристикой энергоэффективности источника света является его удельный световой поток (светоотдача, лм/Вт). Индекс цветопередачи характеризует соответствие светового излучения естественному дневному свету (по стобалльной шкале). Как следует из табл. 1, СД светильники (СДС) по совокупности светотехнических характеристик имеют явное преимущество перед наиболее эффективными натриевыми газоразрядными лампами.

Однако немаловажным аспектом любого электрооборудования источники света являются его электротехнические характеристики. Проведенные исследования [2] показывают, что эффективное внедрение СДС в системах освещения промышленных предприятий возможно только при обеспечении требований электромагнитной совместимости. Важным аспектом при этом являются требования к качеству электроэнергии (КЭ): уровень КЭ определяет условия работы СДС, а функционирование СДС оказывает влияние на КЭ. Перечень нормируемых показателей КЭ и допустимые отклонения приведены в ГОСТ 32144-2013 [4].

Системы освещения являются составной частью электроэнергетической системы (ЭЭС) предприятия. Рассмотрим особенности построения системы освещения на примере ЭЭС конкретного промышленного предприятия. На рис. 1 приведена структурная иерархическая схема электроснабжения систем освещения предприятия. Электроэнергия из энергосистемы на напряжении 110кВ поступает на шины центрального распределительного пункта (ЦРП) – отдельно стоящей комплектной ТП. В данном пункте осуществляется распределение энергии на ТП 10/0,4 кВ, расположенные в центрах нагрузок предприятия. Также ЦРП имеет два трансформатора 10/0,4 кВ для электроснабжения местной нагрузки. От ПС 10/0,4 кВ электроэнергия поступает на групповые щиты освещения (ГрЩО), к которым подключены светильники различных типов и назначений.

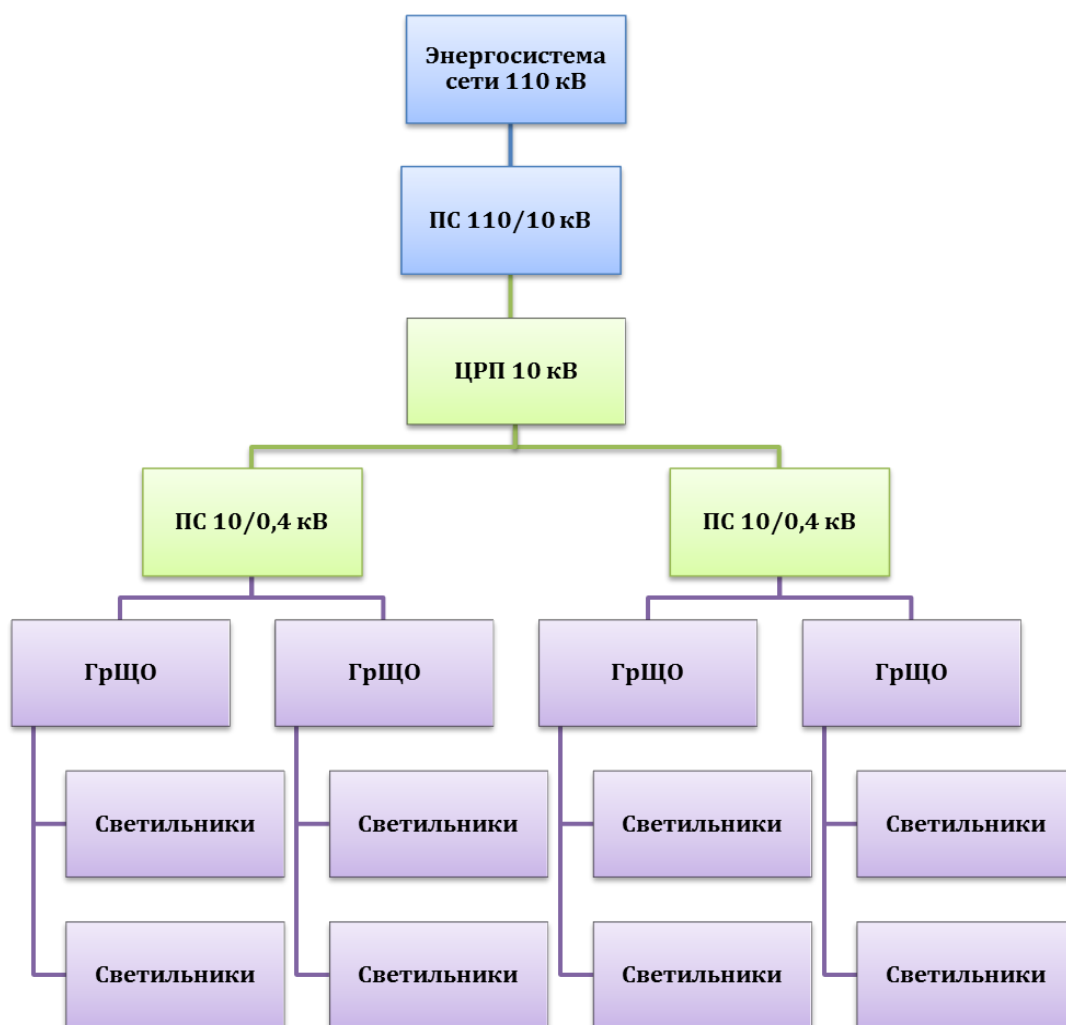


Рисунок 1 – Иерархическая структурная схема электроснабжения систем освещения

В системах освещения предприятия применяются различные типы ламп: ЛН, галогенные ЛН (ГЛН), линейные ЛЛ, РЛВД (ДРЛ), светодиодные, металлогалогенные лампы (МГЛ). Перечень и установленная мощность осветительного оборудования, а также данные по го-

довому энергопотреблению различных источников света в зависимости от коэффициента использования для некоторых объектов рассматриваемого комплекса приведены в табл. 2.

Таблица 2 – Номенклатура источников света по объектам предприятия

Источник света	Кол-во светильников, шт.	Общая установленная мощность, кВт	Коэффициент использования, доли	Годовой фонд рабочего времени, час	Годовой расход электроэнергии, кВт·ч
Заготовительный цех					
ЛН	20	1,2	0,5	3192	1915,2
ЛЛ	25	2,5	0,5	3192	3990
ДРЛ	100	50	0,5	3192	79800
<i>Всего</i>		53,7			85705,2
Молярный цех					
ЛН	7	0,4	0,5	6384	1276,8
ЛЛ	4	0,4	0,5	6384	1276,8
ДРЛ	32	22,4	0,8	6384	114401,3
СДЛ	6	0,54	0,9	6384	3102,624
<i>Всего</i>		23,74			120057,5
Механический цех					
ЛН	10	0,6	0,5	3192	957,6
ЛЛ	20	2	0,5	3192	3192
ДРЛ	40	28	0,5	6384	89376
ГЛН	6	3	0,5	3192	4788
<i>Всего</i>		33,6			98313,6
Сборочно-сварочные участки					
ЛН	4	0,3	0,5	3192	478,8
ЛЛ	2	0,2	0,5	3192	319,2
ДРЛ	33	23,1	0,5	3192	36867,6
<i>Всего</i>		23,6			37665,6
Покрасочно-сварочный цех					
ЛН	10	0,6	0,5	3192	957,6
ЛЛ	15	1,50	0,5	3192	2394
ДРЛ	46	32,2	0,5	3192	51391,2
ГЛН	3	3	0,5	3192	4788
<i>Всего</i>		37,3			59530,8
Заводоуправление					
ЛН	151	9	0,5	3192	14364
ЛЛ	104	11	0,5	3192	17556
ГЛН	46	3,6	0,5	3192	5745,6
<i>Всего</i>		23,6			37665,6
Столовая					
ЛН	23	13,8	0,5	3192	22024,8
ЛЛ	77	10,8	0,5	3192	17236,8
<i>Всего</i>		24,6			39261,6

Несмотря на наличие возможности для внедрения СДС, их доля в системах освещения в настоящее время весьма незначительна. Результаты анализа распределения энергопотребления системами освещения предприятия по различным типам источников света приведены на рис. 2.

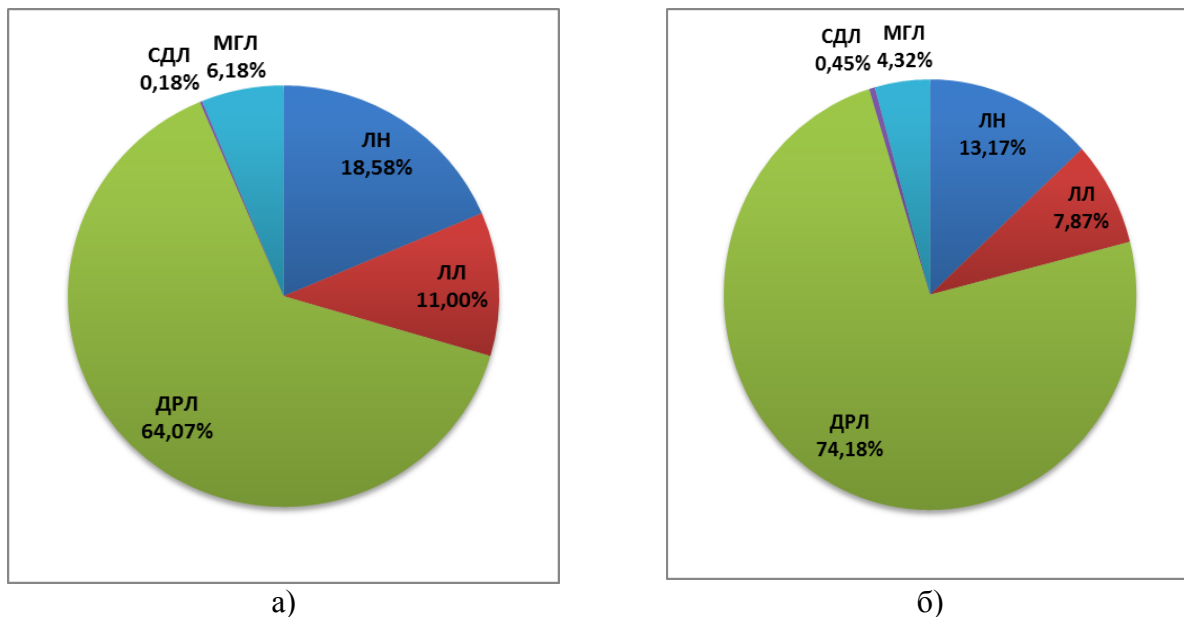


Рисунок 2 – Доля различных источников света в системе освещения предприятия: по установленной мощности (а) и по годовому энергопотреблению (б)

Проблема электромагнитной совместимости с точки зрения потребления несинусоидального тока характерна для всего электрооборудования, содержащего полупроводниковые преобразовательные устройства, в том числе для некоторых типов светотехнических изделий, включая СДС. Токи высших гармоник распространяются по электрической (рис. 3) сети, оказывая негативное влияние на КЭ [3].

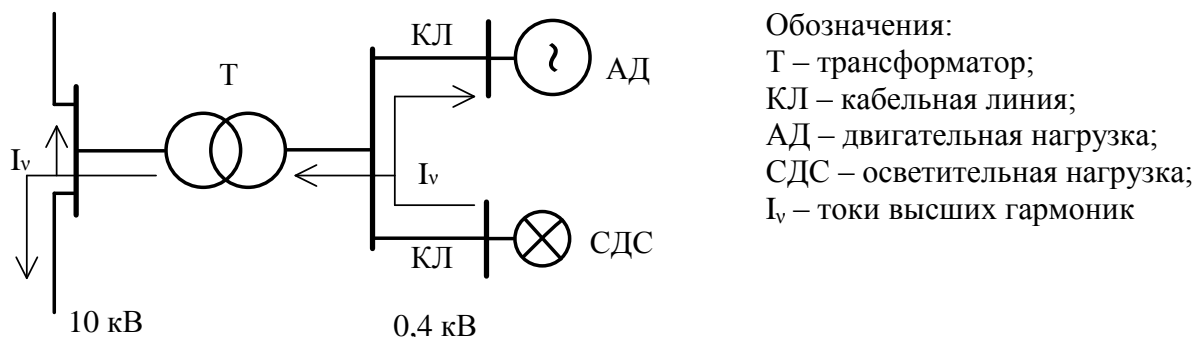


Рисунок 3 – Схема распространения эмиссируемых светильниками гармоник тока

Для оценки уровней высших гармоник тока было проведено экспериментальное исследование распространенных светильников различного типа: ЛЛ с электромагнитным (ЭмПРА) и электронным (ЭПРА) пускорегулирующими аппаратами и двух образцов СДС с линейными СД лампами. Энергетические характеристики приведены в табл. 3. Коэффициент мощности для каждого изделия определен двумя способами: $\cos \varphi$ – рассчитан для промышленной частоты, PF – с учетом высших гармоник тока и напряжения.

Таблица 3 – Результаты исследования энергетических характеристик светильников

Образец	$U_{ном}, В$	Лампы	$I, А$	$P, Вт$	$S, ВА$	$Q, вар$	$\cos \varphi$	PF
ЛЛ ЭмПРА	220	2×18 Вт	0,364	44,4	81,5	68,3	0,55	0,54
ЛЛ ЭПРА	220	2×36 Вт	0,296	65,3	66,6	13,3	0,99	0,98
СДС 1	220	2×14 Вт	0,254	30,1	57,1	48,5	0,95	0,54
СДС 2	220	1×14 Вт	0,118	14,3	26,5	22,2	0,95	0,54

Результаты исследования несинусоидальности потребляемого светильниками тока приведены в табл. 4: K_I – суммарный коэффициент гармонических составляющих тока, $K_{I(n)}$ – коэффициенты высших гармонических составляющих тока. Сравнительные гистограммы представлены на рис. 4.

Таблица 4 – Результаты исследования несинусоидальности потребляемого тока

Образец	K_I , %	$K_{I(3)}$, %	$K_{I(5)}$, %	$K_{I(7)}$, %	$K_{I(9)}$, %	$K_{I(11)}$, %	$K_{I(13)}$, %	$K_{I(15)}$, %
ЛЛ ЭМПРА	10,2	9,8	2,5	1,0	0,6	0,5	0,2	0,2
ЛЛ ЭПРА	17,0	15,1	2,7	4,5	2,7	1,9	2,2	0,4
СДС 1	117,7	77,4	51,2	40,2	37,0	27,3	16,3	13,0
СДС 2	141,7	84,3	36,1	46,4	41,1	39,5	34,1	26,5

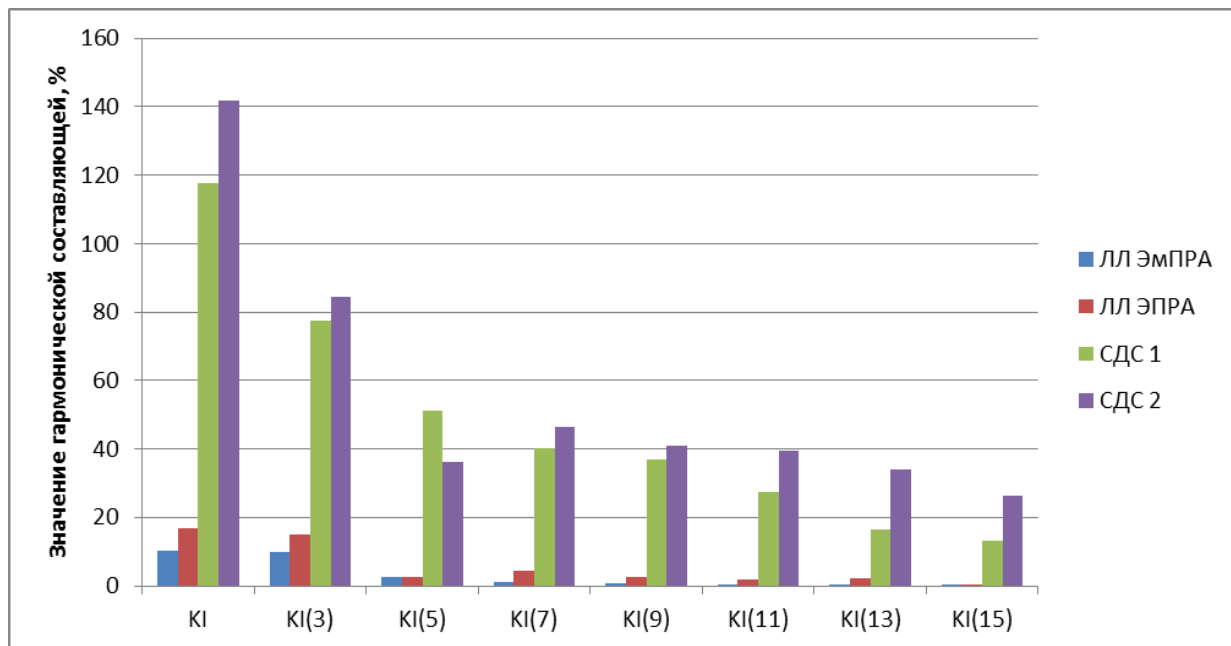


Рисунок 4 – Сравнительный анализ показателей несинусоидальности тока светильников

Из результатов исследования следует, что работа СДС характеризуется значительной несинусоидальностью потребляемого тока в сравнении с различными типами ЛЛ, включая компактные [5]. Если в случае ЛЛ преобладающей является третья гармоника, то у СДС различия между гармониками более высокого порядка уже не так значительны. Данные особенности СДС связаны с работой драйвера светильника и обуславливают необходимость оценки влияния высших гармоник на электрические сети предприятия.

В качестве примера рассмотрим КЭ в системе электроснабжения реального объекта, имеющего значительную осветительную нагрузку в виде светодиодных светильников, рассмотренных ранее под обозначением «СДС 1». Результаты измерения несинусоидальности в системе электроснабжения объекта приведены в табл. 5. Гистограмма коэффициентов гармонических составляющих сети в сравнении с показателями «СДС 1» приведена на рис. 5.

Таблица 5 – Результаты исследования высших гармоник в системе электроснабжения

Фаза	K_I , %	$K_{I(3)}$, %	$K_{I(5)}$, %	$K_{I(7)}$, %	$K_{I(9)}$, %	$K_{I(11)}$, %	$K_{I(13)}$, %	$K_{I(15)}$, %
L1	22	20,7	6	2,8	0,8	2	2	0,5
L2	34,1	32,1	10	3,6	2,3	2	2,6	0,9
L3	29,4	27,8	8,3	1,2	2,7	2,6	1,3	0,7
СДС 1	141,7	84,3	36,1	46,4	41,1	39,5	34,1	26,5

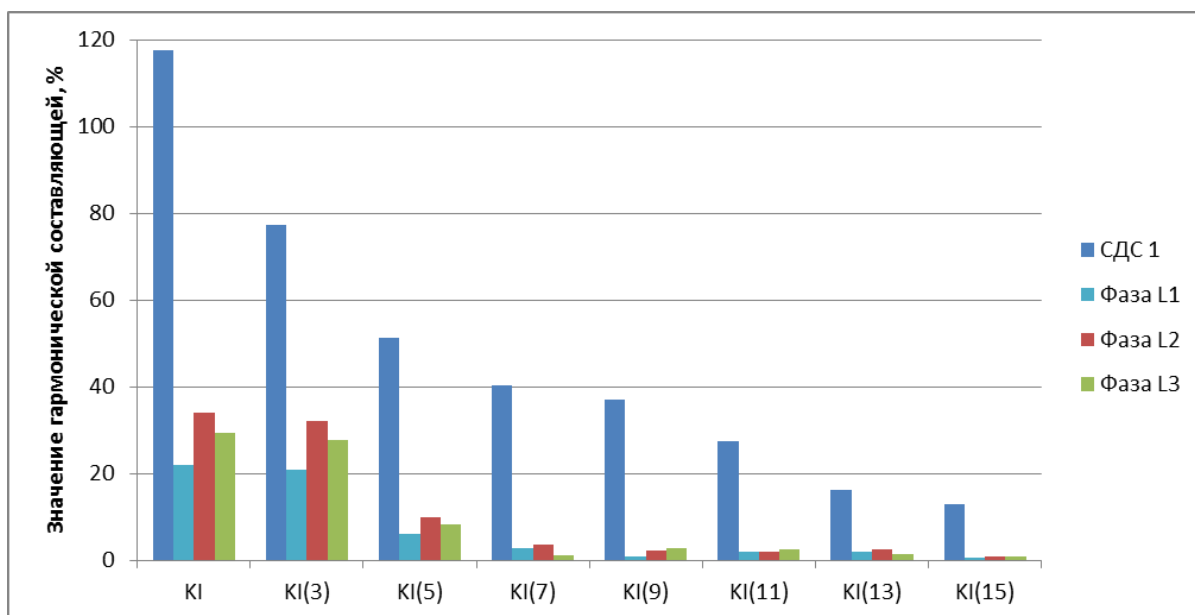


Рисунок 5 – Анализ показателей несинусоидальности в системе электроснабжения

Результаты исследований указывают на высокий уровень высших гармоник тока в системе электроснабжения объекта, обусловленных функционированием драйверов СДС. Данный аспект следует принимать во внимание как возможную причину снижения энергоэффективности (увеличения потерь электроэнергии) и ухудшения КЭ. Кроме того, общеизвестно, что токи гармоник, кратных трем, являясь токами нулевой последовательности, протекают по нулевым проводникам даже в случае симметричной нагрузки на фазы. Следовательно, в некоторых несимметричных режимах на подобных объектах существует возможность перегрузки нулевого проводника. Также следует отметить негативное влияние гармоник, кратных трем, на работу трансформаторов: «При схеме соединения обмоток трансформатора Y/Un наблюдается значительное искажение формы кривой фазных напряжений» [6, с. 39].

Из вышесказанного делаем вывод, что энергоэффективные светодиодные технологии в первую очередь следует внедрять в системы освещения с наибольшим коэффициентом использования для обеспечения максимально возможного энергосбережения. Кроме того, СДС целесообразно использовать в системах, в которых предъявляются повышенные требования к светотехническим характеристикам. При этом на стадии проектирования необходимо учитывать аспекты несинусоидальности потребляемого тока, а также величину потребляемой реактивной мощности, что позволит обосновать выбор сечения проводников, уставок средств релейной защиты, характеристики аварийных дизель-генераторов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Антин, И. Преимущества светодиодной технологии: за счет чего обеспечивается безопасность, превосходное освещение и сокращение расходов нефтехимических предприятий / И. Антин // Экспозиция Нефть Газ. – 2013. – № 4 (29). – С. 87–90.
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. Белей, В.Ф. Стандарты в области качества электроэнергии: проблемы и тенденции / В.Ф. Белей, М.С. Харитонов // Информационные ресурсы России. – 2016. – № 1. – С. 10–14.

5. Белей, В.Ф. Компактные люминесцентные лампы: электрические характеристики, проблемы электромагнитной совместимости / В.Ф. Белей // Электротехника. – 2002. – № 7. – С. 48–51.

6. Белей, В.Ф. Оценка роли трансформаторов в системах энергообеспечения с позиций энергосбережения и повышения качества электроэнергии / В.Ф. Белей // Промышленная энергетика. – 2012. – № 5. – С. 36–42.

ASPECTS OF APPLICATION OF LED LIGHTING ON INDUSTRIAL ENTERPRISES

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

G.A. Reshetnikov, student, Kaliningrad State Technical University
gleb_reshetnikov95@mail.ru

Analysis of aspects of the application of LED lighting in industrial lighting systems is given. As an example, the structure of the lighting system of the enterprise and nomenclature of installed lighting equipment is analyzed. The problems of electromagnetic compatibility of lighting systems are described. The results of experimental studies of non-sinusoidal current consumed by the lamps of various types are given.

industrial enterprise, LED lighting, lighting system, electrical power quality, nonsinusoidality