



УДК 621.311.1

НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ В ОСВЕТИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКЕ

А.А. Наумов, М.Ф. Садыков

Казанский государственный энергетический университет, Казань, Россия

Резюме: Рассмотрены особенности осветительных ламп, используемых в России и Европейском Союзе, их влияние на качество электрической энергии. Обосновывается необходимость проведения анализа последствий административных запретов по выпуску и использованию ламп накаливания, повсеместной их замене на энергосберегающие. Предложено продолжить работы по совершенствованию ламп накаливания и энергосберегающих светодиодных ламп.

Ключевые слова: энергосбережение, лампа накаливания, светодиодная лампа, качество электрической энергии.

SOME ASPECTS OF ENERGY SAVING IN LIGHTING TECHNOLOGY

A.A. Naumov, M.F. Sadykov

StatePower-EngineeringUniversity, Kazan, Russia

Abstract: Lamps features used in Russia and Euro Union have been studied, as well as their influence on the electric energy quality. The authors substantiate the necessity for conducting analysis of administrative prohibition consequences regarding the production and use of incandescent lamps, their general substitution for the energy saving ones. It has been offered to improve both the incandescent and the energy saving light-emitting-diode lamps.

Keywords: energy saving, incandescent lamp, light-emitting-diode lamp, electric energy quality.

Введение

Энергосбережение является важным направлением деятельности любого хозяйствующего объекта, находящегося как на государственном финансировании, так и на самофинансировании. Не менее актуально оно и для населения. Известны разнообразные способы экономии электрической энергии: уменьшение потерь при ее передаче, эксплуатация электроустановок оптимальной мощности, использование устройств автоматического отключения электроприемников при отсутствии потребности в их работе, уменьшение мощности источников освещения при сохранении их световых потоков и т.д. Последнее достигается использованием компактных люминесцентных, галогеновых, светодиодных и индукционных ламп.

Согласно директиве Европейского союза (*EcodesignDirective* 2009/125/EC) [1] с сентября 2009 года на территории единой Европы прекращен выпуск и введен поэтапный запрет на импорт ламп накаливания мощностью 100, 75 и 60 Вт соответственно.

Обусловлено это, в первую очередь, стремлением к обеспечению снижения потребления электроэнергии и, как следствие, снижению растущей энергодефицитности в целом.

В Российской Федерации 23 ноября 2009 г. был принят Закон №261-ФЗ "Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации" [2], согласно которому предписано начать постепенное сокращение оборота ламп накаливания на территории России. С 2011 года прекращены производство и продажа ламп мощностью 100 и более Вт и предполагался постепенный отказ от ламп меньшей мощности.

Несмотря на сообщения о преимуществах отказа от ламп накаливания и переходе к энергосберегающим лампам, не все в данном вопросе так однозначно. Именно этому вопросу посвящена настоящая статья.

Основная часть

Лампа накаливания ЛН [3–6] – это электрический прибор, работающий как источник света, в котором нить накала (тугоплавкий проводник, чаще всего спираль из сплавов на основе вольфрама), помещенная в стеклянный сосуд с вакуумом или заполненная инертным газом, нагревается до высокой температуры (температуры светимости) за счет протекания через эту нить электрического тока. В результате излучается свет с широким непрерывным спектром. Световая отдача ламп накаливания в диапазоне от 25 до 1000 Вт составляет примерно от 9 до 19 лм/Вт для ламп со средним сроком службы 1000 ч.

Достоинствами ЛН являются:

- высокий индекс цветопередачи, налаженное массовое производство, низкая цена, отсутствие необходимости в дополнительной пускорегулирующей аппаратуре, чисто активное электрическое сопротивление, выход на рабочий режим непосредственно после включения, отсутствие вредных компонентов, простота и дешевизна утилизации, возможность работы как на переменном, так и на постоянном токе, на пониженном напряжении, нечувствительность к полярности напряжения питания, отсутствие санитарных ограничений по минимально допустимым расстояниям от источника света до человека, слабая зависимость от условий окружающей среды, в том числе от температуры, незначительное (около 15 %) снижение светового потока к концу срока службы.

Для ЛН налажен выпуск специальных схем управления световым потоком – диммеров. Эти элементы управления встраиваются в корпус осветительных приборов и совмещают функции управления и выключения. Использование диммеров позволяет осуществлять плавный старт лампы, что приводит к существенному увеличению ее срока службы, и плавное управление светимостью ламп, что позволяет снижать потребляемую энергию.

К недостаткам ЛН можно отнести низкую световую отдачу, относительно малый срок службы, чувствительность к ударам и вибрациям, зависимость характеристик ЛН от колебаний напряжения (фликер), высокую температуру наружной поверхности (через 30 минут после включения ЛН достигает, в зависимости от мощности, 100°C – 25 Вт, 145°C – 40 Вт, 250°C – 75 Вт, 290°C – 100 Вт, 330°C – 200 Вт). Пусковой бросок тока при включении в десять раз больше номинального тока лампы. При повышении напряжения возрастает температура нити накала, свет становится более ярким, возрастает световой поток, но срок службы лампы уменьшается.

Световой коэффициент полезного действия ламп накаливания, определяемый как отношение мощности лучей видимого спектра к мощности, потребляемой от электрической сети, составляет около 4 %, остальная энергия тратится на выделение тепла.

Разновидностью ЛН являются галогенные лампы (ГЛ) – ЛН, изготовленные из специальных сортов кварцевого стекла с добавлением галогенидов (бром, йод) в колбу лампы. Преимуществами ГЛ перед обычными ЛН являются: неизменно яркий свет в течение всего срока службы, компактность, высокая световая отдача (до 80 лм/Вт),

повышенная экономичность, увеличенный срок службы (в два раза больший, чем у стандартных ламп накаливания). ГЛ, благодаря их компактности и яркости свечения, нашли широкое распространение не только для освещения жилых и служебных помещений, но и для художественной, дизайнерской подсветки.

К энергосберегающим лампам относятся компактные люминесцентные лампы – КЛЛ (*CompactFluorescentBallastIntegrated «EnergySaving» Lamp*) и светодиодные лампы – СДЛ (*LED – lightemittingdiode*).

КЛЛ представляет собой цилиндрическую трубку с электродами, свернутую в спираль, змейку, U-образную, в которую закачаны пары ртути. Лампа имеет стандартный резьбовой цоколь, подходящий к патрону ламп накаливания, в котором размещены компоненты пускорегулирующего устройства. Свечение наблюдается при создании электрического разряда в парах ртути, при этом создается ультрафиолетовое излучение, которое с помощью люминофора, нанесенного на стенки трубок, преобразуется в видимый свет. Основным достоинством КЛЛ является повышенная световая отдача, превышающая в 4–5 раз световую отдачу ЛН аналогичной мощности (удельный поток КЛЛ 60–80 лм/Вт). Заявленный срок службы КЛЛ около 5 лет при условии ограничения числа включений (до 2000), то есть не больше 5 включений в день в течение гарантийного срока 2 года.

Различают два типа КЛЛ: с холодным запуском, загорающиеся непосредственно после включения, и с горячим запуском, загорающиеся плавно в течение 1–3 секунд. КЛЛ с холодным запуском часто преждевременно выходят из строя, что связано с перегоранием еще непрогретых нитей накала катода при протекании импульсов тока, так как холодная нить накала имеет большее сопротивление, чем разогретая. Этот эффект характерен для ЛН, перегорающих, как правило, в момент их включения. Для обеспечения большего срока службы предпочтителен горячий запуск с помощью позистора, обеспечивающего разогрев нитей накала. Но при этом эксплуатационные характеристики ухудшаются, особенно при кратковременном использовании освещаемых территорий.

Недостатки КЛЛ:

– декларируемый производителями КЛЛ ресурс работы ламп; в несколько раз больший, чем у ЛН, вызывает сомнение, основанное на существующем опыте использования энергосберегающих ламп. Одна из причин – лампы с невысокой ценой имеют высокий процент бракованных изделий и невысокое качество изготовления. Замечено, что уже через 2 тысячи часов работы КЛЛ изменяется спектр, свечение происходит с желтым оттенком. После 1000–2000 ч работы светоотдача может упасть в 2–3 раза. Катоды быстро теряют свои эмиссионные свойства, что приводит к увеличению напряжения поджига и перегрузкам электронного балласта. Как следствие – обрыв катодов либо выход из строя электронного балласта. Практика показывает, что причиной выхода из строя ламп служит в основном: – неисправность электронной части (преобразователя), связанная с низкой надежностью элементов схемы;

– существенно более узкий спектр излучения, чем у ЛН;

– невозможность плавного регулирования яркости свечения путем использования диммеров;

– присутствие в спектре вредного ультрафиолетового излучения. При длительном нахождении близко к включенной люминесцентной лампе возможно раздражение кожи, чувствительной к ультрафиолету. По данным Британской ассоциации дерматологов излучение люминесцентных ламп может обострить некоторые заболевания у людей с повышенной чувствительностью кожи. Рекомендуется находиться не ближе 30 сантиметров к КЛЛ и, по возможности, использовать дополнительное защитное стекло. Большое количество людей отмечают, что излучение более комфортно у ЛН, чем у энергосберегающих ламп;

– чувствительность к температуре окружающего воздуха КЛЛ (при температуре ниже +10 °С лампа может не зажечься), наличие стробоскопического эффекта, который вызывается частыми, неуловимыми для зрения миганиями ЛЛ в такт колебаниям переменного тока в электрической цепи, необходимость в специальном пускорегулирующем устройстве;

– серьезная проблема – утилизация ртутных ламп. В КЛЛ присутствует от 2 до 6 мг ртути. Согласно санитарным нормам максимально допустимая концентрация ртути в населенных пунктах и жилых помещениях – порядка 0,3 мкг/м³ [7]. Следовательно, разбитая в закрытом помещении лампа создаст недопустимую концентрацию ртути. Использование амальгамы, когда вместо жидкой ртути в колбе присутствует металлический сплав, позволяет упростить проблему сбора осколков лампы, но использование амальгамной технологии приводит к увеличению до 2–3 минут времени разгорания лампы.

Светодиодные лампы (СДЛ), или светоизлучающие диоды (*LED – lightemittingdiode*), – полупроводниковые приборы, излучающие некогерентный свет при пропускании через них электрического тока. Работа СДЛ основана на физическом явлении возникновения светового излучения при прохождении электрического тока через *p-n*-переход. Цвет свечения (длина волны максимума спектра излучения) определяется типом используемых полупроводниковых материалов, образующих *p-n*-переход. Светодиод состоит из полупроводникового кристалла на подложке, корпуса с контактными выводами и оптической системы. СДЛ свободны от большинства ранее указанных недостатков рассмотренных ламп, они наиболее перспективны для использования в качестве энергосберегающих источников света. Но и они не свободны от недостатков:

– в лампах первого поколения световой поток неравномерен по различным направлениям, так как светодиоды дают направленный свет. Линза на кристалле обеспечивает угол раскрытия 60°, с помощью колбы лампы можно расширить его до 120°–180°. Известны лампы с углом 220°–270°, по светораспределению они приближаются к ЛН. Но дополнительный рассеиватель поглощает до 30 % света. Таким образом, светодиодный аналог ЛН экономичнее ее «всего» в пять раз;

– зависимость яркости свечения светодиодов от температуры окружающей среды;

– как и для любого полупроводника, для светодиода недопустим нагрев выше максимально допустимой температуры активного слоя *p-n*-перехода, превышение которой приводит к ускоренному старению приборов и выходу их из строя. С возрастанием температуры активного слоя светодиода его световая эмиссия понижается. Прямой ток должен ограничиваться при повышении температуры окружающей среды, чтобы температура активного слоя оставалась ниже критического значения. Использование радиаторов охлаждения проблема отчасти решается, но при этом ограничивается угол излучения. В СДЛ второго поколения со светодиодными нитями возможен отказ от радиаторов, но уменьшается способность выдерживать ударную нагрузку;

– проблема временной деградации люминофора. Отдача светодиодов падает после нескольких сот часов наработки и в дальнейшем неуклонно снижается. Через 3–5 тысяч часов (это 2–3 года эксплуатации) лампа тускнеет на 10–20 %.

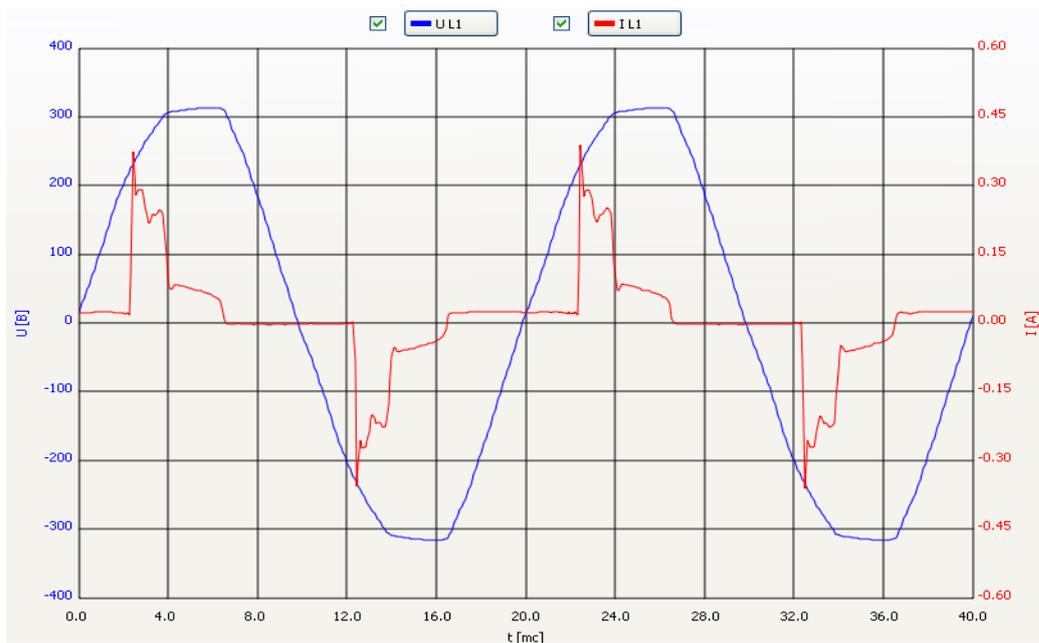
Таким образом, каждый из рассмотренных источников света обладает определенными достоинствами и недостатками, но их обсуждение не совсем корректно без учета важной проблемы – влияния ламп на качество электрической энергии.

В настоящее время электрическая сеть всех индустриально развитых стран заражена гармониками, отличными от первой, а также интергармониками [8]. Это связано со все большим использованием нелинейных нагрузок (систем плавного пуска асинхронных двигателей, блоков питания постоянного тока, источников питания вычислительной техники, устройств бесперебойного питания, энергосберегающих ламп). Причем во всех развитых странах показатели несинусоидальности возрастают.

Последствия несинусоидальности весьма значительны – рецепторами кондуктивных помех по данному показателю являются электронные устройства релейной защиты и автоматики, компьютерные системы, электротехнические устройства, в которых протекающие токи повышенных частот создают электротехнические, технологические и экономические потери – нарушение технологических процессов, нагрев проводников и магнитопроводов, уменьшение ресурса электрооборудования, аварии, взрывы конденсаторных установок и т.д.

На рис. 1 показаны осциллограммы напряжений и токов КЛЛ и СДЛ. Видно, что напряжение имеет «сплюснутую» форму, что означает наличие в спектре гармоник, отличных от основной. Токи энергосберегающих ламп имеют значительное отличие от формы питающих напряжений. Ток протекает короткими импульсами, т.е. потребляется лишь незначительная часть периода питающего напряжения. Это связано с тем, что питание ламп осуществляется постоянным током от выпрямителя со сглаживающим конденсатором, который потребляет ток лишь в момент превышения входного напряжения величины напряжения на конденсаторе. Использование импульсных источников тока, не содержащих конденсатор, приводит к пульсациям светового потока, т.е. к недопустимому фликеру. Импульсная форма токов, протекающих лишь в доли периода напряжения, приводит к значительному уменьшению коэффициента мощности и, следовательно, к уменьшению пропускной способности сетей. Т.е. в общем токе, протекающем по проводам, доля токов, совершающих полезную работу, уменьшается по сравнению с долей токов ЛН. Скомпенсировать низкий КПД установкой компенсирующих устройств, применяемых для регулирования угла сдвига фаз токов и напряжений, невозможно.

Несоответствие формы потребляемого тока форме питающего напряжения свидетельствует о нелинейном характере протекающих процессов и наличии эмиссии гармоник. Предельные значения гармоник тока в Российской Федерации устанавливаются межгосударственным стандартом ГОСТ 30804.3.2–2013 [9], разработанным на основе международного стандарта IEC 61000-3-2:2009 [10].



а)

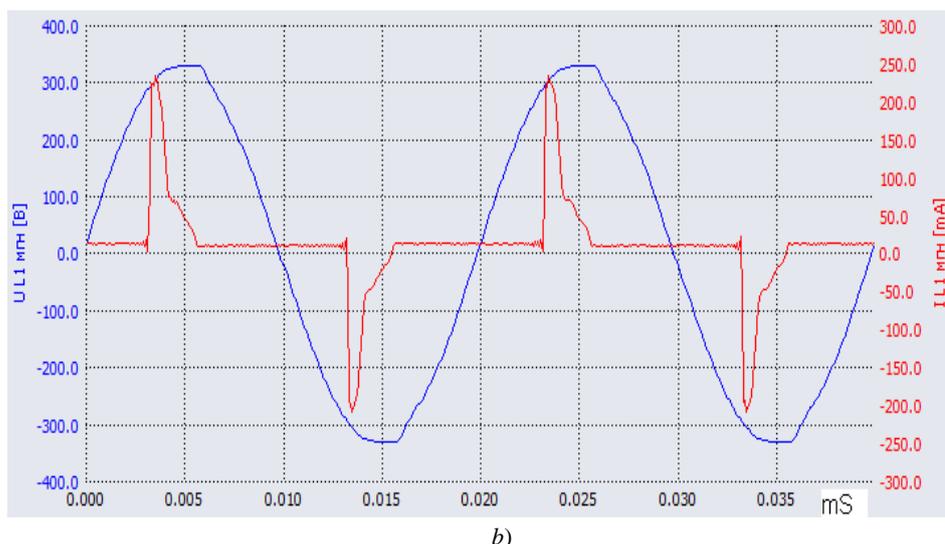


Рис. 1. Формы кривых токов и напряжений:
 а – компактная люминесцентная лампа; б – светодиодная лампа

Осветительное оборудование выделено в отдельную группу (класс С), для которой установлены нормы на относительную величину гармоник входного тока. В соответствии со стандартом вторая гармоника входного тока при активной потребляемой мощности, превышающей 25 Вт, должна быть не более 2 % от величины первой гармоники, третья – не более $(30 \cdot \lambda) \%$, где λ – коэффициент мощности цепи, пятая – 10 %, седьмая – 7 %, девятая – 5 %. Нормы на величину нечетных гармоник с 11 по 39 включительно установлены на уровне 3 % от величины первой гармоники.

На рис. 2 показаны значения гармоник тока, полученные нами для СДЛ *Geniled* мощностью 7 Вт. Видно, что в спектре имеются существенные значения нечетных гармоник тока вплоть до 49. Наиболее значительными дополнительными гармониками являются 3, 5, 7, по величине превышающие 50 % от первой. В случае значительных относительных мощностей нагрузок с нелинейными вольтамперными характеристиками несинусоидальность тока проявится в виде несинусоидальности напряжения.

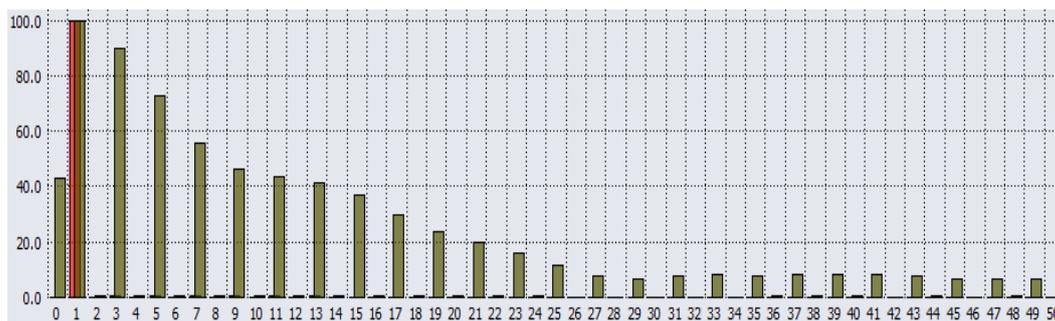


Рис. 2. Гармонические составляющие токов СДЛ

Предельные значения гармонических составляющих напряжения в РФ ограничены требованиями стандарта ГОСТ 32144-2013 [11], в Европейском Союзе – требованиями регионального стандарта EN 50160:2010 [12].

Чтобы соответствовать требованиям стандарта, при импульсном потреблении тока, а также при ярко выраженном нелинейном или реактивном характере нагрузки необходимо

применение корректоров коэффициента мощности (ККМ). Наилучший эффект в настоящее время достигается при использовании в качестве ККМ активных фильтров. Но активные фильтры – это дорогостоящие и относительно габаритные устройства, которые практически невозможно уместить в цоколе от лампы накаливания. Следовательно, требуется установка активных фильтров на группы искажающих потребителей. Это не всегда реально реализуемо, особенно для частных потребителей, которые не желают иметь дополнительные финансовые затраты на мероприятия, эффект от которых они не наблюдают непосредственно после установки технических устройств.

Следствием замен ЛН на энергосберегающие лампы, таким образом, является уменьшение пропускной способности сетей, возможность резонансных явлений, нагрев проводов из-за гармоник обратной последовательности, увеличенный ток в нулевом проводе из-за гармоник кратных третей. От сетевых организаций требуются дополнительные организационно-технические мероприятия, направленные на внедрение устройств компенсации гармоник, элементов релейной защиты и автоматики, более устойчивых к негативным воздействиям некачественной электрической энергии, другие дорогостоящие работы, направленные на уменьшение токовой нагрузки на сеть. Это неизбежно приводит к необходимости увеличения тарифов на электрическую энергию. Для потребителей это означает, что расчет на окупаемость дополнительных затрат на более дорогие энергосберегающие лампы вряд ли оправдается.

Вместе с тем, как показывают результаты исследований, имеются определенные перспективы создания более совершенных ЛН. Так, новым направлением развития галогенных ламп являются так называемые *IRC*-галогенные лампы (*IRC* обозначает «инфракрасное покрытие»). На колбы таких ламп наносится специальное покрытие, которое пропускает видимый свет, но задерживает инфракрасное (тепловое) излучение и отражает его назад, к спирали. За счет этого уменьшаются потери тепла и, как следствие, увеличивается эффективность лампы. По данным фирмы *OSRAM*, потребление энергии снижается на 45 %, а время жизни удваивается (по сравнению с обычной галогенной лампой)[13].

Заключение

1. С отказом от выпуска и реализации ламп накаливания не согласуется принцип рыночной экономики. Понятно, когда в условиях дефицита генерирующих мощностей директивно ограничивается величина мощностей электроприемников потребителя. Но при отсутствии дефицита и при условии согласия потребителя в полной мере оплачивать потребленную электрическую энергию нет необходимости принуждать его переходить на другие типы электроприемников, при этом ухудшающих качество электрической энергии. Логичнее предлагать альтернативные варианты, оставляя выбор за потребителем.

2. Один из важных вопросов – стоимость. Цена энергосберегающих ламп в магазинах существенно превышает цену ЛН с теми же световыми потоками, соотношение “цена/срок службы” у новых приборов практически равно такому же соотношению у ЛН. Полный запрет не позволяет использовать более комфортные для чтения лампы накаливания в настольных лампах, торшерах и т.д.

3. Одна из основных декларируемых целей – снижение платежей потребителей за освещение – может быть достигнута в течение незначительного промежутка времени после замены ЛН. Однако массовый переход на энергосберегающие лампы неизбежно ухудшит качество электрической энергии и вынудит энергоснабжающие организации и потребителей нести дополнительные финансовые затраты для борьбы с последствиями несинусоидальности напряжений. Это означает увеличение стоимости эксплуатации электротехнического оборудования и, соответственно, возрастание тарифов.

4. Несмотря на принятые ограничительные меры, имеется спрос на ЛН, что привело к тому, что ЛН лукаво стали присваивать номинальную мощность 99 или 95 Вт вместо

100 Вт либо менять назначение этих ламп – для обогрева и тем самым обходить запрет на выпуск и реализацию ламп накаливания.

В настоящее время в России в свободной продаже имеются ЛН мощностью 75 Вт и ниже. В Германии также имеется возможность приобретения ЛН, в частности, мощностью 100 Вт (рис. 3) [14]. Это доказывает, что в некоторых случаях ЛН являются более комфортными и их использование более привлекательно, чем энергосберегающих ламп.



Рис. 3. Реклама продажи ламп различных типов в Германии

5. Как справедливо было отмечено Профессиональной ассоциацией дизайнеров света (PLDA), при работе внутри помещений лампа накаливания – нагревательный элемент, что является ее достоинством. В теплое время года длительность использования осветительных приборов уменьшается пропорционально увеличению светового дня. С переходом на экономные источники света с большим КПД, преобразующие электричество в свет без потерь на нагрев, возрастает и потребность в увеличении объема отопительных материалов, чтобы восполнить тепло, эквивалентное ранее «потраченному лампой накаливания впусую» [15].

6. Практика показывает, что одна из основных проблем КЛЛ – их утилизация – является значительным препятствием к их дальнейшему производству и использованию. Наиболее перспективными представителями энергосберегающих ламп являются светодиодные, которые, впрочем, не свободны от ряда недостатков, ограничивающих их повсеместное использование.

7. Считаю, что следует продолжить работу по улучшению характеристик ЛН. Один из путей их усовершенствования может быть связан с выпуском ЛН, работающих на пониженном напряжении питания, что позволяет значительно увеличить срок службы при сохранении их достоинств.

8. Предлагаю провести анализ последствий административных запретов по выпуску и использованию ламп накаливания с учетом влияния энергосберегающих ламп на качество электрической энергии.

Литература

1. Directive 2009/125/ec of the european parliament and of the council of 21 October 2009. OfficialJournaloftheEuropeanUnion 31.10.2009.

2. Федеральный закон от 23 ноября 2009 г. № 261-ФЗ "Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации". Российская газета - Федеральный выпуск №5050 (226) 27.11.2009.
3. Шашлов А.Б. Основы светотехники [Электронный ресурс]: учебник для вузов / А.Б. Шашлов. М.: Логос, 2011. 256 с
4. Майорова О.В. Светотехника. [Электронный ресурс] / О.В. Майорова, Е.Е. Майоров, Б.А. Туркбоев. СПб. : НИУ ИТМО, 2005. 83 с.
5. Юшков Д.Д.Современные искусственные источники света // Энергосбережение. 2015. № 2. С.40–42.
6. Прикупец Л.Б. Энергосбережение и энергоэффективность в светотехнике // Энергосбережение. 2014. № 3. С.38–42.
7. ГН 2.1.6.1338-03. Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест. М.: Нефтяник, 2003.
8. Наумов А.А. Работа в условиях перехода на новый ГОСТ по качеству электрической энергии // Энергетика Татарстана. 2014. №2(34). С. 76–78.
9. 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.: ГосстандартРоссии, 2013.
10. IEC 61000-3-2:2009 Electromagnetic compatibility – Part 3-2: Limits for harmonic current emissions (equipment input current ≤ 16 A per phase).
11. ГОСТ 32144-2013 Электрическая энергия. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. М.: Стандартинформ, 2014.
12. EN 50160:2010 Voltage characteristics of electricity supplied by public distribution networks.
13. <http://www.marsiada.ru/357/465/728/2997>.
14. Jaw. Soltau. 05./08. Februar 2017 – Code Seite 05.
15. <http://www.magazine-svet.ru/review/22800>.

Авторы публикации

Анатолий Алексеевич Наумов – докт. физ.-мат.наук, профессор кафедры «Теоретические основы электротехники» (ТОЭ) Казанского государственного энергетического университета (КГЭУ). E-mail: naumov1234@gmail.ru.

Марат Фердинантович Садыков – канд. физ.-мат.наук, доцент, заведующий кафедрой «Теоретические основы электротехники» (ТОЭ) Казанского государственного энергетического университета (КГЭУ).

References

1. Directive 2009/125/ec of the European parliament and of the council of 21 October 2009. Official Journal of the European Union 31.10.2009
2. Federal Law of November 23, 2009. N 261-ФЗ "On energy saving, power engineering efficiency increase and alterations introduction into the separate legislative acts of the Russian Federation". RossiyskayaGazeta – Federal issue №5050 (226) 27.11.2009.
3. ShashlovA.B. Lighting Technology Basics [Electronic resource]: textbook for the higher higher educational institutions /A. B. Shashlov. – M.: Logos, 2011. 256 p.
4. MayorovaO.V. Lighting technology. [Electronic resource] / O.V. Mayorova, E.E. Mayorov, B.A. Turkbojev. – St.Pb.: SRU ITMO, 2005. 83p.
5. YushkovD.D..Modern artificial light sources / “Energy saving” 2015 № 2. P.40-42.
6. Prikupets L.B. Energy saving and energy efficiency in lighting technology / / “Energy saving” 2014 № 3. P.38-42.

7. GN 2.1.6.1338-03. Maximum allowable concentration (MAC) of polluting substances in atmospheric air of residential units. M.: Neftyanik, 2003.

8. Naumov A.A. Work in conditions of transfer to new GOST in electrical energy quality/ "Energetika Tatarstana" 2014 №2(34). P. 76-78.

9. GOST 30804.3.2–2013. Technical means electromagnetic compatibility. Harmonic components of the current emission by technological means, with consumed current not exceeding 16A (per one phase). Norms and methods of testing. – M.: Gosstandart of Russia, 2013.

10. IEC 61000-3-2:2009 Electromagnetic compatibility – Part 3-2: Limits for harmonic current emissions (equipment input current ≤ 16 A per phase).

11. GOST 32144-2013 Electrical energy. Norms of electrical energy quality in power supply systems of general purpose. M.: Standartinform, 2014.

12. EN 50160:2010 Voltage characteristics of electricity supplied by public distribution networks.

13. <http://www.marsiada.ru/357/465/728/2997>.

14. *Jaw. Soltau*. 05./08. February, 2017 – Code page 05.

15. <http://www.magazine-svet.ru/review/22800>.

Authors of the publication

Anatolii.A. Naumov – doctor of physical and sciences, professor State Power-Engineering University, Kazan, Russia

Marat.F. Sadykov – candidate of physical and sciences, associate professor, head of department State Power-Engineering University, Kazan, Russia

Поступила в редакцию

20 апреля 2017 г.