

УДК 338.46:621.31

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЗАМЕНЫ СВЕТИЛЬНИКОВ И ЛАМП НА ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ

Тульчинская Я.И.

*Национальный исследовательский университет
«Московский Энергетический Институт», г. Москва
e-mail: yanka_t@hotmail.com*

Аннотация. В настоящее время в организациях и в быту, в основном, в системах освещения используют низкоэффективные и технически устаревшие светильники и лампы, которые потребляют большое количество электрической энергии. Это вызывает не только высокие расходы на потребляемую электроэнергию, но и неблагоприятное воздействие на качество работы персонала вследствие низкого качества освещения.

Замена ламп накаливания и прочих низкоэффективных светильников является базовым энергосберегающим мероприятием. Но низкая энергетическая эффективность систем освещения обусловлена также нерациональным использованием светильников. В статье представлена разработанная автором комплексная интегрированная методика, способная обеспечить качественную оценку эффективности проведения энергосберегающих мероприятий для систем внутреннего и наружного освещения.

Ключевые слова: энергосберегающие лампы, энергоэффективность, энергопотребление, энергетический эффект, системы освещения

Техническим комитетом «Энергетический менеджмент» международного комитета по стандартизации (ISO) в июле 2011 года был принят в качестве международного стандарта (МС) важный документ – ISO 50001:2011 «Системы энергетического менеджмента. Требования и руководство по использованию» [1]. Этот стандарт интегрировал международный опыт построения систем энергетического менеджмента и рекомендации по созданию систем и процессов, необходимых для совершенствования энергетической эффективности (и последующего сокращения финансовых затрат) и снижения негативного влияния на окружающую среду путем систематического управления энергией на основе принципа PDCA: Планирование - Действие - Проверка - Воздействие.

В соответствии с требованиями МС ISO 50001:2011 каждая организация должна провести системный анализ потребляемых энергетических ресурсов на предмет их эффективного использования. В результате такого анализа должны быть выявлены наименее энергоэффективные системы и процессы организации, для которых, в первую очередь, должны быть разработаны соответствующие организационно-управленческие решения, которые затем должны быть реализованы.

Федеральным законом от 23 ноября 2009 года №261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности...» [2] в РФ введены новые правила, направленные на снижение энергопотребления и энергосбережение.

Энергосбережение подразумевает комплекс мероприятий, направленных на уменьшение объема используемых энергетических ресурсов при сохранении соответствующего полезного эффекта от их использования. Статья 16 №261-ФЗ определяет критерии, согласно которым устанавливается список организаций, которые должны провести первое обязательное комплексное энергетическое обследование (энергоаудит) до 31 декабря 2012 года.

Энергоаудит является высокоэффективным инструментом по получению объективных данных об используемых энергоресурсах, а также по определению показателей энергоэффективности и определения потенциала энергосбережения и повышения энергетической эффективности на предприятии. Его результаты, демонстрируют, что для ряда организаций (коммунальные службы, управляющие компании и т.д.) одной из низкоэффективных систем является система освещения, как правило, реализованная с использованием традиционных ламп накаливания.

Статистические данные по расходу электроэнергии на освещение следующие. В жилом секторе – около 10% от всей используемой электроэнергии [3], в среднем гипермаркете – около 2 000 000 кВт·ч в год, при этом расходы на освещение составляют 38% от общей платы за потребленную электроэнергию [4]. Приведенные данные свидетельствуют о высоком потенциале энергосбережения эксплуатируемых систем освещения.

Существует много довольно простых способов, которые без больших капиталовложений способны повысить качество освещения и снизить энергопотребление:

- протирание лампочки от пыли (увеличение яркости на 10 - 15%);
- покраска стен в белый цвет (белая стена отражает 80% лучей, что значительно экономит электроэнергию);
- создание условий для использования естественного освещения;
- оборудование помещения недорогим светорегулятором.

Но данные методы легко осуществимы только в жилых домах и небольших помещениях, которые имеют малое количество ламп (без проблем доступных к осмотру), чего нельзя сказать о крупных предприятиях.

В настоящее время существует большое количество разнообразных систем освещения, отличающихся друг от друга, принципом функционирования, назначением, техническими характеристиками и эффективностью. Ниже приведено краткое описание наиболее распространенных используемых систем освещения.

Лампы накаливания.

В лампах накаливания (ЛН) используется эффект нагревания проводника (тела накаливания) при протекании через него электрического тока (тепловое действие тока). Температура тела накала резко возрастает после включения тока.

Тело накала излучает электромагнитное тепловое излучение в соответствии с законом Планка. Функция Планка имеет максимум, положение которого на шкале длин волн зависит от температуры. Этот максимум сдвигается с повышением температуры в сторону меньших длин волн (закон смещения Вина). Для получения видимого излучения необходимо, чтобы температура была порядка нескольких тысяч градусов. Чем меньше температура, тем меньше доля видимого света и тем более красным кажется излучение. Стеклоянная колба, заполненная инертным газом, предотвращает быстрое разрушение тела накаливания вследствие окисления кислородом воздуха [5].

В своем большинстве ЛН предназначены для целей общего, местного и декоративного освещения. Область применения различных ЛН представлена в табл. 1.

Таблица 1. Область применения различных ЛН

Тип ЛН	Назначение
Местного освещения	Ручные (переносные) светильники, а также светильники местного освещения в производственных помещениях
Иллюминационные	Иллюминационные установки различных типов
Зеркальные	Локализованное местное освещение
Сигнальные	Лампы малой мощности, рассчитанные на длительный срок службы, для различных светосигнальных приборов (средствах визуального отображения информации)
Транспортные	Различные транспортные средства (автомобили, мотоциклы и трактора, самолёты и вертолёты, локомотивы и вагоны железных дорог и метрополитенов, речные и морские суда)
Прожекторные	Имеют большую мощность (до 10 кВт, ранее выпускались лампы до 50 кВт) и высокую световую отдачу. Используются в световых приборах различного назначения (осветительных и светосигнальных)
Для оптических приборов	Используются в различных приборах (измерительные приборы, медицинская техника и т. п.)

Коэффициент полезного действия (КПД) ламп накаливания зависит от температуры нагрева спирали и варьируется, как правило, в пределах 5 - 15%. С ростом температуры увеличивается КПД ламп, но при этом в значительной степени снижается её долговечность. При увеличении напряжения возрастает яркость, но одновременно с этим время жизни лампы уменьшается на 95% [6].

Основные преимущества ЛН:

- низкая стоимость (см. табл. 3);
- небольшие размеры;
- налаженность в массовом производстве для широкого диапазона напряжений;
- возможность работы на любом роде тока;
- чисто активное электрическое сопротивление, коэффициент мощности $\cos \varphi = 1$;
- быстрый выход на рабочий режим, доли секунды;
- отсутствие пускорегулирующей аппаратуры;
- отсутствие токсичных компонентов и, как следствие, отсутствие необходимости в инфраструктуре по сбору и утилизации;
- отсутствие мерцания при работе на переменном токе;
- отсутствие гудения при работе на переменном токе;
- приятный и привычный в быту непрерывный спектр излучения;
- устойчивость к низкой и повышенной температуре окружающей среды и конденсату.

Основные недостатки ЛН:

- низкий КПД (5 - 15 %);
- низкая световая отдача (см. табл. 2);
- малый срок службы (см. табл. 2);
- хрупкость, чувствительность к удару и вибрации;
- снижение световой отдачи и срока службы при повышенных напряжениях питания;
- ЛН представляют пожарную опасность и требуют термостойкой арматуры светильников (через 30 минут после включения температура наружной поверхности ЛН достигает следующих величин (в зависимости от мощности): 25 Вт – 100 °С, 40 Вт – 145 °С, 75 Вт – 250 °С, 100 Вт – 290 °С, 200 Вт – 330 °С. Солома, касающаяся поверхности лампы мощностью 60 Вт, вспыхивает примерно через 67 минут [7]).

Газоразрядные лампы

Данные лампы характеризуются длительным сроком службы и высокой номинальной эффективностью и необходимостью в дополнительных электронных устройствах для их стабилизации при работе.

Газ, заполняющий газоразрядную лампу, должен быть ионизирован под действием электрического напряжения, чтобы приобрести необходимую электропроводность. Как правило, для запуска газоразрядной лампы требуется более высокое напряжение, чем для поддержания разряда. Для этого используется специальные стартеры или другие зажигающие устройства. Кроме того, для нормаль-

ной работы лампы необходима балластная нагрузка, обеспечивающая стабильность электрических характеристик лампы. Стартер в сочетании с балластом образуют пускорегулирующий аппарат. Температура разряда может достигать свыше тысячи градусов Кельвина (800 - 900 °С).

Конкретные виды газоразрядных ламп часто называют по используемому в них газу – неоновые, аргоновые, ксеноновые, криптоновые, натриевые, ртутные и металлогалогенные. Наиболее часто встречающиеся разновидности газоразрядных ламп:

- люминесцентные лампы;
- металлогалогенные лампы;
- натриевые лампы высокого давления;
- натриевые лампы низкого давления.

Для общего прожекторного освещения открытых пространств с низким уровнем освещенности наиболее эффективными источниками света являются металлогалогенные и натриевые лампы высокого давления. Они являются одними из самых экономичных источников света систем наружного освещения и находят применение в освещении улиц, площадей, автостоянок, туннелей и высоких производственных помещений.

Широкое применение в наружном освещении общественных зданий, в местном освещении рабочих мест, в световой рекламе и подсветке фасадов зданий нашли эффективные компактные люминесцентные лампы (КЛЛ).

Основные преимущества КЛЛ:

- высокая светоотдача (световой КПД): при равной потребляемой из сети мощности световой поток КЛЛ в 4-6 раз выше, чем у ЛН, что даёт экономию электроэнергии 75 - 85 %;
- длительный срок службы (см. табл. 2);
- низкая температура нагрева лампы по сравнению с другими газоразрядными лампами;
- холодный пуск (мгновенное включение без мерцания) и ровное свечение без мерцания;
- равномерное распределение света по колбе;
- высокий индекс цветовой передачи (согласно определению Международной комиссии по освещению (СIE) – параметр, характеризующий уровень соответствия естественного цвета тела видимому (кажущемуся) цвету этого тела при освещении его данным источником света, см. табл. 2);

Основные недостатки КЛЛ:

- высокая удельная стоимость (см. табл. 3);
- необходимость дополнительных электронных устройств для их стабильной работы;

- интервал между включениями, устанавливаемый гарантийными условиями для достижения положенной наработки, может быть больше двух минут;
- КЛЛ, включающаяся мгновенно (без предварительного прогрева катодов), теряет при каждом включении значительную часть срока службы [8]. Следствие – КЛЛ не рекомендуется использовать в системах с большим числом включений;
- зажигание бытовых КЛЛ не гарантировано при отрицательных температурах окружающей среды и понижении напряжения питания более чем на 10 %;
- повышенная влажность и выпадение конденсата приводят к пробоям в схеме электронного пускорегулирующего аппарата, где в момент зажигания действуют напряжения порядка 1000 вольт [9].
- в колбе КЛЛ содержатся пары ртути, что даже при налаженной системе утилизации отслуживших ламп представляет опасность при повреждении такой лампы в быту [8];
- необходимость утилизации из-за содержания ядовитых паров ртути (3 - 5 мг) [10];
- большинство КЛЛ, имеют низкое качество энергопотребления, которое характеризуется коэффициентом мощности около 50 % [8];
- искажение формы напряжения в сети, что приводит к дополнительным потерям при передаче электроэнергии [8].

Серные лампы

Серная лампа представляет собой высокоэффективное осветительное устройство полного спектра без электродов, в котором источником света служит плазма серы, нагреваемая микроволновым излучением в атмосфере инертного газа. Плазма серы излучает мощный свет в спектре, близком к солнечному свету, почти без ультрафиолета.

Использование безэлектродного разряда предполагает наличие таких обязательных элементов как: лампа с колбой, СВЧ-генератор и электродинамическая система (для транспортировки СВЧ-энергии к лампе и формирования в зоне локализации лампы определенную стационарную или динамически изменяющуюся топографию СВЧ-электромагнитного поля) и формирователь диаграммы направленности полученного оптического излучения.

Серные лампы используются для освещения больших площадей, интерьеров надземных и подземных вокзалов и сооружений, военных, медицинских, железнодорожных и сельскохозяйственных объектов, северных и южных территорий, где имеется ограничение в дневном интервале суток [11].

Основные преимущества серных ламп:

- высокая долговечность лампы (см. табл. 2);
- повышенная световая отдача (см. табл. 2);

- время разогрева серной лампы значительно меньше, чем у большинства типов газоразрядных ламп;
 - отсутствие мерцания источника света;
 - малогабаритность и равномерность светящего тела, облегчающая оптимизацию оптических систем;
 - экологическая чистота материалов наполнения лампы: серы и аргона.
 - возможность регулировки силы света.
- Основные недостатки серных ламп:
- сложность конструкции;
 - высокая стоимость (см. табл. 3);
 - световой поток серной лампы достигает 80 % максимальной величины в течение 20 с после включения; лампа может быть перезапущена примерно через пять минут после отключения электроэнергии;
 - высокая температура колбы горелки, отсюда необходимость использования высококачественного кварцевого стекла и защиты от пыли.

Светодиодные лампы

Светодиодная лампа представляет собой полупроводниковый прибор с электронно-дырочным переходом или контактом металл-полупроводник, создающий оптическое излучение при пропускании через него электрического тока.

Светодиодные технологии освещения благодаря эффективному расходу электроэнергии и простоте конструкции нашли широкое применение в светильниках, прожекторах, светодиодных лентах, декоративной светотехнике и особенно в компактных осветительных приборах (например, ручных фонариках). Светодиодные осветительные приборы подразделяются на уличные и интерьерные. В настоящее время их применяют для подсветки зданий, автомобилей, улиц и рекламных конструкций, фонтанов, тоннелей и мостов. Данное освещение используют для подсветки производственных и офисных помещений, домашнего интерьера и мебели.

Основные преимущества светодиодных ламп:

- высокий КПД;
- малые размеры;
- длительный срок службы (см. табл. 2);
- высокая механическая прочность и вибростойкость;
- безопасность использования (высокая электрическая и пожарная безопасность);
- нечувствительность к низким температурам;
- возможность получать различные спектральные характеристики без применения светофильтров (как в случае ЛН);
- незначительное ультрафиолетовое и инфракрасное излучение;

- незначительное тепловыделение (для маломощных устройств);
- отсутствие ядовитых составляющих, что исключает отравление при переработке и при эксплуатации [12].

Основные недостатки светодиодных ламп:

- высокая цена (см. табл. 3) [12];
- напряжение питания светодиода значительно меньше напряжения питания обычных ЛН, поэтому светодиоды соединяют последовательно или используют преобразователи напряжения;
- низкая предельная температура: мощные осветительные светодиоды требуют внешнего радиатора для охлаждения, потому что имеют неблагоприятное соотношение своих размеров к выделяемой тепловой мощности;
- отличие спектра от солнечного;
- реальный средний срок службы светодиодных ламп для напряжения 220-240 В оказался около 50 000 часов против заявляемых производителями 100 000 часов [13].

В рамках программ по развитию энергосберегающего освещения ожидается бурное развитие светодиодных технологий в городском освещении, поскольку светильники на основе светодиодов в настоящее время имеют минимальное по сравнению с другими видами светильников энергопотребление, а также ряд других преимуществ. Долгое время широкое распространение светодиодов сдерживалось высокой ценой мощных кристаллов подходящего для освещения жёлтого и белого цветов, однако сейчас использование светодиодных источников в освещении становится очень выгодным, несмотря на более высокую цену самих ламп. Светодиодные источники будут все более широко применяться в освещении и в недалеком будущем составят значительную часть приемников систем освещения. Вместе с тем требуются серьёзные исследования в области влияния этих приборов на качество электроэнергии в сети и вопросов электромагнитной совместимости [12].

В табл. 2 и 3 представлены технические и удельные стоимостные характеристики различных источников света.

Наличие на рынке большого количества самых различных высокоэффективных ламп создает необходимость в разработке методики оценки эффективности замены низкоэффективных светильников и ламп на энергосберегающие, позволяющей оценивать как натуральный положительный эффект, так и финансовый.

В табл. 4 представлены основные условия, которые должны быть выполнены при разработке методики оценки эффективности замены светильников и ламп на энергосберегающие.

Таблица 2. Характеристики и эффективность различных типов ламп

Тип лампы	Оптический спектр	Номинальная эффективность, лм/Вт	Среднее время безотказной работы, ч	Цветовая температура, К	Цвет	Индекс цветопередачи
Лампа накаливания	Непрерывный	12 - 17	1000 – 2500	2700	Теплый белый (желтоватый)	100
Галогенная лампа	Непрерывный	16 - 23	3000 – 6000	3200	Теплый белый (желтоватый)	100
Люминесцентная лампа	Линия ртути + спектр люминофора	52 - 100	8000 – 20000	2700 - 5000	Белый (с оттенком зеленого)	15 - 85
Металлогалогенная лампа	Квазинепрерывный	50 - 115	6000 – 20000	3000 - 4500	Холодный белый	65 - 93
Натриевая высокого давления	Широкая полоса	55 - 140	10000 – 40000	1800 - 2200	Розовато-оранжевый	0 - 70
Натриевая низкого давления	Узкая полоса	100 - 200	18000 – 20000	1800	Желтый, цветопередача практически отсутствует	0
Серная лампа	Непрерывный	80 - 110	15000 – 20000	6000	Бледно-зеленый	79
Светодиоды	Близок к монохроматическому	10 - 200	1000 (при применении оптимальных схем источников питания – до 50000)	2700 - 10000	Белый (холодный, дневной, теплый), красный, желтый, синий, зеленый, RGB	70 - 90

Таблица 3. Удельные стоимостные характеристики различных типов ламп

Тип лампы	Удельная стоимость 1 лм/Вт, руб./лм/Вт)	Удельная стоимость 1 Вт, руб./Вт	Удельная стоимость 1 Лм, руб./Лм
Лампа накаливания	0,52	0,11	0,0099
Галогенная лампа	1,02	0,22	0,01
Люминесцентная лампа	1,71	7,5	0,143
Металлогалогенная лампа	9	2,75	0,03
Натриевая высокого давления	1,86	1,24	0,01
Натриевая низкого давления	15,67	23,89	0,24
Серная лампа	437,5	47,95	0,60
Светодиоды	31,05	79,69	0,88

Таблица 4. Условия разработки методики оценки эффективности замены светильников и ламп на энергосберегающие

№	Условие
1	Унификация терминологии и перечня показателей эффективности замены светильников и ламп, разрабатываемых различными проектными организациями, а также подходов к их определению
2	Систематизация и унификация требований, предъявляемых к предпроектным и проектным материалам при рассмотрении расчетов эффективности замены светильников и ламп, а также к составу, содержанию и полноте исходных данных для проведения этих расчетов
3	Рационализация расчетного механизма, используемого для определения показателей эффективности, и приведение его в соответствие с нормативными требованиями и расчетными формами, принятыми в международной практике
4	Установление требований к экономическому сопоставлению вариантов технических, организационных и финансовых решений, разрабатываемых в составе отдельного энергосберегающего мероприятия
5	Учет особенностей реализации отдельных видов энергосберегающих мероприятий, обуславливающих использование нестандартных методов оценки эффективности

Выполнение данных условий позволит создать единый стандартизированный подход к оценке эффективности проводимых энергосберегающих мероприятий, связанных с системами освещения.

Методика должна быть структурирована на организационно-управленческие, технические и экономические мероприятия, которые представлены в табл. 5.

Таблица 5. Мероприятия методики оценки эффективности замены

№	Мероприятие	Тип мероприятия
1	Анализ результатов проведенного аудита системы освещения	Организационно-управленческий
2	Описание и анализ текущей ситуации	Организационно-управленческий
3	Определение целей и задач замены светильников и ламп на энергоэффективные	Организационно-управленческий
4	Описание сценариев реализации мероприятия	Организационно-управленческий
5	Обоснование и выбор технического решения	Организационно-управленческий
6	Описание технического решения и характеристик выбранного оборудования	Организационно-технический
7	Оценка стоимости мероприятия	Организационно-управленческий и экономический
8	Оценка эффективности и результативности мероприятия	Организационно-экономический

В мировой практике для экономической оценки инвестиционных проектов используются рекомендации Всемирного Банка и методика ЮНИДО. Методологической основой разработки этих рекомендаций является моделирование денежных потоков, генерируемых проектом (см. табл. 6) [14].

Таблица 6. Базовые принципы оценки эффективности инвестиционного проекта предлагаемой методики

№	Принцип
1	Рассмотрение проекта на протяжении всего его жизненного цикла – от проведения прединвестиционных исследований до прекращения проекта
2	Сопоставимость условий сравнения различных проектов
3	Определение эффективного проекта при сравнении альтернативных вариантов
4	Учет предстоящих затрат и поступлений, связанных только с разработкой и реализацией проекта
5	Проведение сравнения при осуществлении проекта и без его осуществления в течение жизненного цикла
6	Определение эффективности проекта на различных стадиях его подготовки и реализации с различной глубиной проработки

Каждое мероприятие имеет базовое технико-экономическое обоснование, включающее: постановку цели, описание текущей ситуации и предлагаемого организационного решения, расчета затратной и доходной части проекта, выводы по реализации мероприятия. Все необходимые данные должны быть получены в производственно-техническом, экономическом отделе предприятия, у начальников цехов и служб. Оценка эффективности использования средств, направляемых на реализацию энергосберегающих мероприятий, предполагается производить на основании следующих показателей:

- простого и интегрального срока окупаемости (*PBP*);
- чистого дисконтированного дохода (*NPV*);
- внутренней нормы доходности (*IRR*).

Комплексность методики заключается в том, что она состоит в проведении совокупности базовых энергосберегающих мероприятий, способных повысить энергоэффективность организации в целом за счет значительного снижения потребления электроэнергии на нужды освещения и существенного увеличения срока службы светильников.

Обеспечение оптимального уровня освещенности и спектрального состава света для каждого типа объекта и типа среды является важной задачей. Неадекватное освещение может привести не только к потерям энергии, но и к негативным эффектам для здоровья и психологического состояния персонала, включая головные боли, стресс и повышенное кровяное давление. Кроме того, следствием

бликов или чрезмерной освещенности может быть снижение производительности труда. Доказано, что неверно спроектированное искусственное освещение может вызывать ряд заболеваний.

Существуют различные методы, которые могут использоваться для минимизации связанного с освещением энергопотребления любого объекта.

Данные методы можно классифицировать на:

– методы, применяемые при проектировании нового, либо перепроектировании (реинжиниринге) существующего объекта.

– методы, применяемые при повышении энергоэффективности существующего объекта путем замены осветительных приборов (ламп).

Предметом рассмотрения данной методики является только второй набор методов.

Замена светильников и ламп осуществляется, исходя из принципа обеспечения того же создаваемого лампой накаливания уровня освещенности E путем замены ее на лампу энергосберегающего типа. То есть необходимым условием замены лампы является:

$$E_{л2} = E_{л1} . \quad (1).$$

Освещенность E прямо пропорциональна силе света I источника света. При удалении его от освещаемой поверхности ее освещенность уменьшается обратно пропорционально квадрату расстояния r (закон обратных квадратов).

Когда лучи света падают наклонно к освещаемой поверхности, освещенность уменьшается пропорционально косинусу угла i падения лучей.

Освещенность E от точечного источника находят по формуле:

$$E = \frac{I}{r^2} \cos i , \text{ лк.} \quad (2)$$

Если установка энергосберегающей лампы осуществляется в ту же точку, что и лампы, которая подлежит замене (то есть параметры r и i относительно точки, освещенность в которой должна быть сохранена на том же уровне, не изменяются), то, с учетом (2), необходимое условие замены ламп эквивалентно следующему условию:

$$I_{л2} = I_{л1} \quad (3).$$

Сила света I – это количественная величина потока излучения Φ , приходящегося на единицу телесного угла в пределах его распространения.

Если световой поток испускается точечным источником равномерно по всем направлениям, то сила света точечного источника по любому направлению:

$$I = \frac{\Phi}{4\pi} , \text{ кд.} \quad (4)$$

Таким образом (при условии того, что световой поток ламп равномерен по всем направлениям), необходимое условие замены ламп эквивалентно следующему условию:

$$\Phi_{л2 \text{ насп}} = \Phi_{л1} . \quad (5)$$

Значение светового потока лампы Φ относится к паспортным данным лампы (данное значение светового потока также можно найти, если изначально известна потребляемая лампой активная мощность P , путем поиска значения светового потока в технических данных лампы соответствующей мощности). Таким образом, для замены лампы накаливания на энергосберегающую лампу, необходимо подобрать одну из энергосберегающих ламп (газоразрядные лампы, серные лампы, светодиодные лампы), паспортные данные светового потока которой будут равны световому потоку от заменяемой лампы накаливания (условие (5)).

При этом необходимо удостовериться, что энергосберегающая лампа соответствует (по имеющимся требованиям к производственной среде, рабочим условиям, в том числе требованиям ГОСТ и СНиП) по критериям напряжения питания U , цветовой температуры T , длины излучаемых лампой электромагнитных волн λ , индекса цветопередачи R_a , среднего времени безотказной работы лампы $\tau_{СВБР}$, степени защиты лампы IP , типу цоколя лампы и другим существенным условиям. Для осуществления указанной проверки можно также осуществить сравнение перечисленных параметров используемой лампы с аналогичными параметрами энергосберегающей лампы, которой исходную лампу предполагается заменить.

Для замены при этом выбирается энергосберегающая лампа с запасом по световому потоку (ближайшая в ассортиментной линейке соответствующих ламп):

$$\Phi_{л2} \geq k_{зан} \Phi_{л2\text{ начн}} . \quad (6)$$

Для выбранной лампы определяется паспортное значение потребляемой лампой активной мощности $P_{л2}$.

Средняя продолжительность включения лампы в год определяется по следующей формуле:

$$\tau_{ПВ} = k_{ПВ} \cdot 8760 . \quad (7)$$

Производится определение необходимости замены рассматриваемых типов ламп τ_1 и τ_2 после выхода из строя в результате завершения эксплуатационного срока:

$$\tau_1 = \tau_{л1} / \tau_{ПВ} , \text{ раз в год} , \quad (8)$$

$$\tau_2 = \tau_{л2} / \tau_{ПВ} , \text{ раз в год} . \quad (9)$$

Годовое потребление электроэнергии изначальной лампой накаливания и замещающей ее энергосберегающей лампой:

$$W_{л1} = \frac{P_{л1} \tau_{ПВ}}{1000} , \text{ кВт}\cdot\text{ч} , \quad (10)$$

$$W_{л2} = \frac{P_{л2} \tau_{ПВ}}{1000} , \text{ кВт}\cdot\text{ч} . \quad (11)$$

Для общего случая, когда замене подлежат n однотипных и одинаковых по характеристикам ламп накаливания на такое же количество однотипных и оди-

наковых по характеристикам энергосберегающих ламп годовое потребление электроэнергии изначальным комплектом ламп и комплектом энергосберегающих ламп:

$$W_{\text{компл } л1} = \frac{n P_{л1} \tau_{ПВ}}{1000}, \text{ кВт}\cdot\text{ч}, \quad (12)$$

$$W_{\text{компл } л2} = \frac{n P_{л2} \tau_{ПВ}}{1000}, \text{ кВт}\cdot\text{ч}. \quad (13)$$

Для дальнейшего обоснования целесообразности замены лампы (комплекта ламп) накаливания энергосберегающей лампой (комплект ламп) используется методика «Оценка эффективности замены светильников и ламп на энергосберегающие», в которой применяются следующие величины, полученные в ходе вышеописанных расчетов:

– Потребление электроэнергии до мероприятия по объекту оптимизации – это годовое потребление электроэнергии лампы или комплектом ламп, подлежащим замене, $W_{л1}$ или $W_{\text{компл } л1}$.

– Потребление электроэнергии после мероприятия по объекту оптимизации – это годовое потребление электроэнергии энергосберегающей лампой или комплектом ламп, которым предполагается заменить работающую лампу или комплект ламп, $W_{л2}$ или $W_{\text{компл } л2}$.

Результатами замены лампы или комплекта ламп энергосберегающей лампой или комплектом ламп будут являться уменьшение потребления активной мощности и, как следствие, уменьшение годового потребления электроэнергии:

$$\Delta P = P_{л1} - P_{л2}, \text{ Вт}, \quad (14)$$

$$\Delta P_{\text{компл}} = n(P_{л1} - P_{л2}), \text{ Вт}. \quad (15)$$

$$\Delta W = W_{л1} - W_{л2} = \frac{(P_{л1} - P_{л2}) \tau_{ПВ}}{1000}, \text{ кВт}\cdot\text{ч}, \quad (16)$$

$$\Delta W_{\text{компл}} = W_{л1} - W_{л2} = \frac{n(P_{л1} - P_{л2}) \tau_{ПВ}}{1000}, \text{ кВт}\cdot\text{ч}. \quad (17)$$

При оценке экономической эффективности замены лампы (комплекта ламп) накаливания энергосберегающей лампой (комплект ламп), помимо экономии на плате за электроэнергию, необходимо учитывать также экономию, связанную с большим средним временем безотказной работы энергосберегающей лампы (комплекта ламп) $\tau_{СВБР л1}$ по сравнению со средним временем безотказной работы старой лампы (комплекта ламп) накаливания $\tau_{СВБР л2}$. Экономия (во многих случаях сопоставимая с экономией на плате за электроэнергию) при этом складывается из стоимости тех ламп старого образца, которые пришлось бы приобрести за период, пока будет работать только одна лампа нового образца с большим ресурсом.

Кроме этого, при итоговой оценке экономической эффективности замены лампы (комплекта ламп) накаливания энергосберегающей лампой (комплект ламп), помимо вышесказанного, необходимо учитывать также затраты, связанные с утилизацией отслуживших свой срок энергосберегающих ламп.

Расчет финансовой экономии ΔS за рассматриваемый период времени, исходя из тарифа T на электроэнергию в текущем году и вышеперечисленных условий, осуществляется по следующей формуле:

$$\Delta S = (\Delta W_{\text{компл}} \cdot T \cdot z + n \cdot \tau_2 \cdot C_{\text{л1}} \cdot I - n \cdot \tau_1 \cdot (C_{\text{л2}} + k_y) \cdot I) \cdot N - Z, \text{ руб.}, \quad (18)$$

где N – количество рассматриваемых лет;

z – рост тарифов на электроэнергию нарастающим итогом за N лет;

I – индекс инфляции нарастающим итогом за N лет;

$C_{\text{л1}}$ – стоимость заменяемой лампы, руб.;

$C_{\text{л2}}$ – стоимость энергосберегающей лампы, руб.;

k_y – стоимость утилизации светильника, руб.;

n – количество заменяемых и энергосберегающих светильников, на которые будет производиться замена, шт.;

$Z = n \cdot (C_{\text{л2}} + k_y)$ – затраты на замену существующих ламп энергосберегающими.

При определении годовой финансовой экономии при замене ламп на энергосберегающие простой срок окупаемости определяется по следующей формуле:

$$PBP_{\text{простой}} = Z / (\Delta W_{\text{компл}} \cdot T + n \cdot \tau_2 \cdot C_{\text{л1}}), \text{ лет.} \quad (20)$$

Ниже приведен алгоритм расчета эффективности замены светильников и ламп на энергосберегающие на примере замены 1000 ЛН одиночной мощностью 100 Вт на КЛЛ.

1. Определяется значение потребляемой активной мощности применяемой лампы $P_{\text{л1}}$ (табл. 7).

2. По паспортным данным применяемой лампы для лампы соответствующей мощности $P_{\text{л1}}$ определяется величина генерируемого данной лампой светового потока $\Phi_{\text{л1}}$ (табл. 7).

3. Осуществляется (если применимо) отбор подходящих типов энергосберегающих ламп для установки взамен применяемых ламп, исходя из соответствия (по имеющимся требованиям к производственной среде, рабочим условиям, в том числе требованиям ГОСТ и СНиП) данных типов ламп критериям напряжения питания U , цветовой температуры T , длины излучаемых лампой электромагнитных волн λ , индекса цветопередачи R_a , среднего времени безотказной работы лампы $\tau_{\text{СВБР}}$, степени защиты лампы IP , типу цоколя лампы и другим существенным условиям (в упрощенном варианте возможна проверка соответствия либо превосходства характеристик новой лампы: $U_{\text{л2}}$, $T_{\text{л2}}$, $\lambda_{\text{л2}}$, $R_{a \text{ л2}}$, $\tau_{\text{СВБР л2}}$, $IP_{\text{л2}}$,

тип цоколя и др., – аналогичным характеристикам старой лампы: $U_{л1}$, $T_{л1}$, $\lambda_{л1}$, $R_{a л1}$, $\tau_{СВБР л1}$, $IP_{л1}$, тип цоколя и др.).

4. Исходя из условия (5), осуществляется подбор вариантов энергосберегающих ламп, позволяющих генерировать тот же световой поток $\Phi_{л2 насп} = \Phi_{л1}$. При наличии после подбора нескольких вариантов энергосберегающих ламп для установки предпочтение отдается лампе с большей номинальной эффективностью $k_{ном}$ и большим средним временем безотказной работы $\tau_{СВБР}$ (табл. 6).

5. Для замены выбирается энергосберегающая лампа той же линейки (того же типа) с запасом по световому потоку. Значение генерируемого светового потока соответствующей лампы $\Phi_{л2}$ определяется по паспортным данным соответствующей линейки ламп (табл. 7), исходя из условия (6).

6. Для подобранной лампы по паспортным данным определяется потребляемая активная мощность $P_{л2}$ (табл. 7).

7. На основе данных подразделений по $k_{ПВ}$ с использованием формулы (7) осуществляется расчет средней продолжительности включения лампы в год $\tau_{ПВ}$:

$$\text{Примем } k_{ПВ} = 0,5, \text{ откуда } \tau_{ПВ} = k_{ПВ} \cdot 8760 = 0,5 \cdot 8760 = 4380 \text{ ч.}$$

8. Пользуясь ранее определенными параметрами, производится определение необходимости замены рассматриваемых типов ламп τ_1 и τ_2 после выхода из строя в результате завершения эксплуатационного срока по формулам (8) и (9):

$$\tau_1 = \tau_{ПВ} / \tau_{л1} = 4380 / 1000 = 4,38 \sim 4 \text{ раза в год,}$$

$$\tau_2 = \tau_{ПВ} / \tau_{л2} = 4380 / 8000 = 0,5 \text{ раза в год.}$$

9. Осуществляется расчет $W_{л1}$, $W_{л2}$ по формулам (10) и (11) или $W_{компл л1}$, $W_{компл л2}$ по формулам (12) и (13) в случае замены n однотипных и одинаковых по характеристикам ламп накаливания на такое же количество однотипных и одинаковых по характеристикам энергосберегающих ламп (табл. 7).

10. Осуществляется расчет ΔP или $\Delta P_{компл}$ по формулам (14) или (15) соответственно (табл. 7).

Осуществляется расчет ΔW или $\Delta W_{компл}$ по формулам (16) или (17), соответственно (табл. 7).

11. Осуществляется расчет денежной экономии ΔS за N рассматриваемых лет и определение $PBP_{простой}$ по формулам (18) и (19) соответственно (табл. 7).

Рассматриваемый временной интервал – 2 года. Значение z использовано согласно прогнозам Минэкономразвития, влияние инфляции не учитывалось при расчете, так как предполагается, что организация закупает лампы в текущем году.

Таблица 7. Оценка эффективности замены ЛН на КЛЛ

Тип лампы	ЛН	КЛЛ
Количество	1000	1000
Мощность, кВт	0,1	0,02
Общая мощность, кВт	100	20
Снижение потребления мощности, кВт	80	
Световой поток, Лм	1200	1200
Средний срок службы, ч	1000	8000
Цена, руб.	6,25	102,63 + 15 = 117,63
Стоимость, руб.	6250	117630
Потребляемая за год электроэнергия, кВт·ч	438000	87600
Годовая экономия электроэнергии, кВт·ч	350400	
Общая годовая экономия, тыс. руб.	1037,656	
Общая экономия за 2 года, тыс. руб.	2204,608	
Простой срок окупаемости, лет	0,1	

Для оценки экономической эффективности внедрения данного мероприятия на длительный период с учетом инфляции и роста тарифов на энергоресурсы используются $PBP_{дисконт}$, NPV и IRR .

Результаты проделанного расчета демонстрируют высокую эффективность использования энергосберегающих ламп в осветительных системах, а разработанная методика позволяет качественно производить оценку эффективности замены низкоэффективных источников света на энергосберегающие.

Литература

1. ISO 50001:2011. Energy management systems – Requirements with guidance for use / International Organization for Standardization. Geneva, Switzerland, 2011. 22 p. URL: http://www.iso.org/iso/catalogue_detail?csnumber=51297

2. Федеральный закон Российской Федерации от 23 ноября 2009 г. N 261-ФЗ "Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации" URL: <http://www.rg.ru/2009/11/27/energo-dok.html>
3. Энергосбережение в освещении / ООО «Гипрокоммунэнерго». URL: <http://www.gken.ru/lights>
4. Энергосбережение современными лампами / Компания «Световое оборудование». URL: http://www.svetpro.ru/htm/informations/info_72.html
5. Лампа накаливания // Википедия – свободная энциклопедия. URL: http://ru.wikipedia.org/wiki/Лампа_накаливания
6. Смирнов Д.А., Антипов К.М. Справочная книга энергетика. 4-е изд., перераб. и доп. М.: Энергоатомиздат, 1984. 440 с.
7. Таубкин С.И. Пожар и взрыв, особенности их экспертизы. М.: ВНИИПО, 1999. 600 с.
8. Компактная люминесцентная лампа // Википедия – свободная энциклопедия. URL: http://ru.wikipedia.org/wiki/Компактная_люминесцентная_лампа
9. Паламаренко С.И. Люминесцентные лампы и их характеристики / Сайт ПАЯЛЬНИК. URL: <http://cxem.net/sprav/sprav115.php>
10. Commission Regulation (EC) No 244/2009 of 18 March 2009 implementing Directive 2005/32/EC of the European Parliament and of the Council with regard to ecodesign requirements for non-directional household lamps Text with EEA relevance <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:076:0003:01:EN:HTML>
11. Безэлектродные СВЧ-разрядные лампы (S-лампы). URL: http://www.zaonikfi.ru/index.php?option=com_content&view=article&id=41&Itemid=25
12. Цырук С.А., Ращевская М.А. Развитие светодиодных технологий в системах освещения мегаполисов // Энергосбережение – теория и практика: Тр. IV международной школы-семинара молодых ученых и специалистов. М.: Издательский дом МЭИ, 2008. 336 с.
13. Energiesparende LED-Lampen <http://www.test.de/haushaltgarten/tests/Energiesparende-LED-Lampen-Sie-holen-auf-1816330-1823439/>
14. Комплекс методических положений и рекомендаций по расчету экономического эффекта от реализации мероприятий по энергосбережению в сфере жилищно-коммунального хозяйства и промышленной энергетики. Москва, 2010. 110 с.

METHOD OF EVALUATION THE EFFECTIVENESS OF LAMPS AND LIGHTS REPLACEMENT TO POWER-SAVING MODELS

Ya.I. Tulchinskaya

*National Research University «Moscow Power Engineering Institute»,
Moscow, Russia. e-mail: yanka_t@hotmail.com*

Abstract. *Currently, a large number of companies use in their lighting systems inefficient and technologically obsolete luminaries and lamps, which consume a large amount of electrical energy. This is not just the high cost of electricity consumption, but also adverse effects on the quality of staff due to poor quality of lighting.*

Replacement of incandescent lamps and other inefficient lighting is the basic energy saving measures. However, the low energy efficiency of lighting systems is also due to irrational use of fixtures. In the article the author developed a comprehensive integrated methodology that can provide a qualitative assessment of the effectiveness of energy saving measures for the systems of internal and external lighting.

Keywords: *power-saving models, energy efficiency, energy consumption, the energy effect, lighting system*

References

1. ISO 50001:2011. Energy management systems – Requirements with guidance for use / International Organization for Standardization. Geneva, Switzerland, 2011. 22 p. URL: http://www.iso.org/iso/catalogue_detail?csnumber=51297
2. Russian Federation Federal Law No. 261-FZ of November 23, 2009. On Energy Saving and Increase of Energy Efficiency and Introduction of Changes into Separate Legislative Acts of the Russian Federation.
3. Energoberezhnie v osveshchenii (Energy savings in lighting) / Gipromenergo. <http://www.gken.ru/lights>
4. Energoberezhnie sovremennymi lampami (Energy saving by modern lamps) “Svetovoe oborudovanie” company. http://www.svetpro.ru/htm/informations/info_72.html
5. Incandescent light bulb / Wikipedia, the free encyclopedia. http://en.wikipedia.org/wiki/Incandescent_light_bulb
6. Smirnov D.A., Antipov K.M. Spravochnaya kniga energetika (Power engineer handbook). 4 ed. Moscow, Energoatomizdat, 1984. 440 p.
7. Taubkin S.I. Pozhar i vzryv, osobennosti ikh ekspertizy (Fire and explosion. Peculiarities of their expertise.). Moscow, VNIPO, 1999. 600p.
8. Compact fluorescent lamp / Wikipedia, the free encyclopedia. http://en.wikipedia.org/wiki/Compact_fluorescent_lamp

9. Palamarenko S.I. Lyuminestsentnye lampy i ikh kharakteristiki (Luminescent lamps and their characteristics) / “Soldering Iron” Site.

<http://cxem.net/sprav/sprav115.php>

10. Commission Regulation (EC) No 244/2009 of 18 March 2009 implementing Directive 2005/32/EC of the European Parliament and of the Council with regard to ecodesign requirements for non-directional household lamps Text with EEA relevance <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:076:0003:01:EN:HTML>

11. Bezelektrodnye SVCh-razryadnye lampy (S-lampy) (Microwave discharge electrodeless lamps (S-lamps))

http://www.zaonikfi.ru/index.php?option=com_content&view=article&id=41&Itemid=25

12. Tsyruk S.A., Rashchevskaya M.A. Razvitie svetodiodnykh tekhnologii v sistemakh osveshcheniya megapolisov (The development of LED technology in lighting systems of metropolises), *Energoberezhenie – teoriya i praktika: Tr. IV mezhdunarodnoi shkoly-seminara molodykh uchennykh i spetsialistov.* (Proceedings of IV International workshop for young scientists and specialists “Energy saving – theory and practice”). Moscow, MEI, 2008. 336 p.

13. Energiesparende LED-Lampen <http://www.test.de/haushaltgarten/tests/Energiesparende-LED-Lampen-Sie-holen-auf-1816330-1823439/>

14. Kompleks metodicheskikh polozhenii i rekomendatsii po raschetu ekonomicheskogo effekta ot realizatsii meropriyatii po energoberezheniyu v sfere zhilishchno-kommunal'nogo khozyaistva i promyshlennoi energetiki (Complex of regulations and methodological recommendations for the calculation of economic effect from implementation of energy saving measures in the housing and communal services and industrial power). Moscow, 2010. 110 p.