Анализ эволюции искусственных источников освещения

Владимир Хлуденьков,
ведущий инженер ОКТБ, ЗАО «Протон-Импульс» (г. Орёл)

Помните советский фильм «Гостья из будущего»? Автору особенно запомнился эпизод, когда Коля Герасимов впервые заходит в комнату, где находится машина времени. И комната эта ярко освещена, причём создаётся такое впечатление, что свет идёт со всех сторон. Наверное, такими и должны быть светильники будущего — яркими и неприметными.

В настоящее время светильники, увы, далеки от идеала. И статья эта именно о недостатках современных светильников, и о возможностях их исправления. В ней приводится краткий экскурс в историю развития искусственных источников освещения, даётся сравнительный анализ традиционных ламп накаливания и люминесцентных со светодиодными, как наиболее перспективными. Сделана также попытка заглянуть в будущее, на перспективу развития источников освещения. Здесь мы не будем, как это часто делают, высчитывать отношения люксов к ваттам и рублей к люксам и считать единовременные вложения и последующую прибыль. Не будем также вычислять, сколько в конечном итоге придётся потратить средств на подключение и эксплуатацию. Да, светодиодная продукция на современном этапе технического развития стоит дороже классических источников освещения. Но в будущем всё изменится, и её цена резко снизится. Более того, будем надеяться, в России появится собственное массовое производство светодиодов. А сейчас мы попробуем отстраниться от финансовых расчётов и сосредоточимся на вопросах установки, обслуживания и эксплуатационных характеристиках изделий.

НЕМНОГО ИСТОРИИ

Если не считать лучины и свечей, то первым промышленно выпускаемым светильником можно назвать керосиновую лампу или газовый фонарь. В его устройстве нет ничего оригинального. В нижней части фонаря находилась система подвода горючего вещества, газовая трубка, иногда была отдельная трубка для подвода воздуха. Яркость пламени регулировалась поворотом задвижки крана и скоростью подачи газа. В центре находилась горелка, где проходило горение. В наиболее «продвинутых» моделях устанавливались специальные калильные колпачки, которые при нагреве пламенем горелки начинали светиться, давая дополнительный световой поток. Горелка помещалась в стеклянный колпак. Этот колпак, с одной стороны, защищал пламя от ветра и воды, а с другой — защищал помещение от свободного огня и, как следствие, от случайного возгорания и пожара. В таком виде этот светильник просуществовал почти два столетия (с конца XVIII в. по начало XX в.), газовые фонари исчезли с улиц Москвы только в 1932 г.

Принцип действия газового светильника основан на свечении горящего газа, вопрос о световой эффективности такого устройства даже не поднимался. Положение при установке газового светильника — стационарное и только вертикальное, при переворачивании пламя обычно переставало гореть, то же случалось и при перемещении светильника с большим ускорением.

В конце XIX. на смену газовому фонарю пришла лампа накаливания. Принцип её действия был тот же — свечение разогретого тела. Вначале это были графитовые электроды, затем угольные палочки, сейчас это вольфрамовая спираль. Спираль помещена в стеклянную колбу со смесью инертных газов. Наиболее распространёнными являются лампы накаливания мощностью 60–100 Вт, их параметры (и некоторых других) приведены в таблице 1. Тип патрона остаётся постоянным на протяжении десятков лет (патент на цоколь выдан Эдисону в 1880 г.). Для подключения такой лампы требуется всего два провода и патрон. Вкрутить лампу в патрон может даже ребёнок. Патрон, как правило,

Глоссарий

- **Световая эффективность (световая отдача) излучения — отношение светового потока к соответствующему потоку излучения. Единица измерения световой эффективности (в системе СИ) люмен на ватт (лм/вт);**
- **ПРА — электромагнитная пускорегулирующая аппаратура. Под этим термином понимается совокупность электромагнитного дросселя и стартера. Представляет собой схему с ограничением тока индуктивностью;**
- **ЭПРА — электронная пускорегулирующая аппаратура. В настоящее время чаще применяют термин «электронный балласт». Схемотехнически является источником переменного тока высокой частоты.**

Таблица 1. Свойства некоторых искусственных источников освещения

Тип источника	Световая отдача, лм/Вт	Относительная световая отдача
Уличный газовый фонарь	2	0,3%
Лампа накаливания 100 Вт	13	2,0%
Галогенная лампа 200 Вт	17,6	2,6%
Светодиод	10–150	1,5–18%
Люминесцентная лампа	40–100	6–12%
Теоретический максимум (монохроматический зелёный свет 555 нм)	683	100%

Рис.1. *Светодиодная лампа с цоколем E27, с углом рассеивания 150°*

Рис. 2. *Наиболее оптимальный вариант СТЛ — наличие поворотного цоколя*

встраивается в люстру, которая подвешивается на специальный крюк в потолке.

Средний срок службы ламп накаливания — около года при средней интенсивности их использования (летом: утром не пользуемся, вечером с 21.00 до 23.00, порядка 5 включений-выключений за сутки; зимой: утром с 6.30 до 7.30, вечером с 18.00 до 23.00, порядка 10 включений-выключений за сутки). Из этого следует, что лампы накаливания надо устанавливать так, чтобы в дальнейшем их можно было легко заменить, даже дизайн бытовых люстр сделан именно из таких соображений. К слову говоря, автору не доводилось встречать встроенных светильников, использующих лампы накаливания. Размеры колб лампы накаливания определены из условий эффективного теплоотвода, поэтому значительно уменьшить её размеры, сохраняя прежнюю мощность, не представляется возможным.

Укажем далее, что лампы накаливания являются точечными источниками света. То, за что иногда критикуют светодиоды, для ламп накаливания является нормой, человек в здравом уме не станет смотреть на спираль лампы накаливания, матовые же лампы так и не получили широкого распространения. Именно поэтому (и по эстетическим причинам тоже) лампы накаливания используют внутри различных светильников: люстр, бра, торшеров. Но здесь мы сталкиваемся с основным недостатком ламп накаливания — их сравнительно малым КПД. Из этого следует, что такие лампы сильно нагреваются. По правде говоря, это для них не страшно. Важнее другое — то, что они являются сильными источниками тепла. Из этого следует, что плафоны люстр и светильников для таких ламп лучше делать из стекла, а не из пластика или тем более бумаги или ткани, во избежание их воспламенения.

Но технический прогресс не стоит на месте, и вот появилась люминесцентная лампа. Принцип её действия основан на переизлучении люминофором (обычно применяются галофосфаты кальция и ортофосфаты кальция-цинка) ультрафиолетового излучения, создаваемого парами ртути при приложении к ним электрического поля. Создателем современной люминесцентной лампы считается Эдмунд Джермер. В 1926 г. он предложил увеличить операционное давление внутри колб уже применяемых газоразрядных ламп и покрывать колбы люминесцентным порошком, который преобразовывает ультрафиолетовое излучение, испускаемое возбуждённой плазмой, в однородно белоцветный свет. Позже компания General Electric купила патент Джермера и под руководством Джорджа Инмана к 1938 г. довела лампы дневного света до широкого коммерческого использования. Однако в СССР в быту люминесцентные лампы были распространены не столь широко, как лампы накаливания. Причиной тому — специфический тип крепления лампы, необходимость установки дополнительного подвеса и дополнительных элементов ПРА либо ЭПРА. В СССР не рекомендовалось применять такие лампы в квартирах из-за проблем с их утилизацией, а также из-за наличия в их спектре сильного УФ-излучения и мерцания.

Стандартная люминесцентная лампа представляет собой стеклянную трубку с четырьмя электродами с обоих торцов, она является достаточно габаритным источником света. Её форма определена принципом действия: необходимостью значительного газового промежутка, требуемого для создания области устойчивой ионизации газа. Для крепления люминесцентных ламп требуются специальные держатели. Возможно, именно это и стало основной причиной, по которой люминесцентная лампа так и не смогла вытеснить лампу накаливания из квартир.

Люминесцентная лампа греется много меньше лампы накаливания и характеризуется более высокой световой эффективностью, однако имеет ряд других недостатков:

- основным компонентом люминесцентных (в том числе энергосберегающих) ламп является ртуть, которая по гигиенической классификации относится к первому классу опасности (чрезвычайно опасное химическое вещество). Даже небольшая компактная лампа содержит 2–7 мг ртути. Самым опасным для здоровья является то, что ртуть в лампе находится в виде паров. Разрушенная или повреждённая колба лампы высвобождает пары ртути, которые могут вызвать тяжёлое отравление;
- люминесцентные лампы мерцают. На промышленных пред-

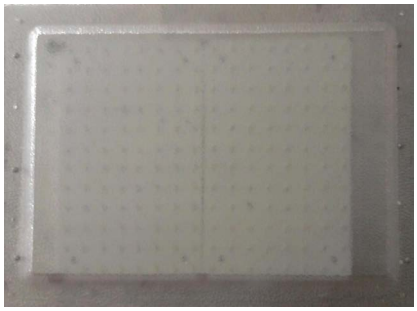

Рис. 3. *Светодиодный светильник для освещения кабин бытовых лифтов*

приятиях, в цехах, где установлены станки, и необходимо хорошо различать движущиеся части механизмов или стремительно вращающиеся детали, пульсации светового потока могут вызывать так называемый стробоскопический эффект, приводящий к неточности обработки деталей, и более того — к риску травматизма, а порою и к угрозам для жизни. Именно поэтому люминесцентные лампы рекомендуют использовать лишь в так называемых нерабочих зонах различных помещений;

– некоторые люминесцентные лампы не приспособлены к работе при температуре воздуха ниже 0°С: во-первых, «поджечь» ртутный разряд в минусовой температуре гораздо сложнее, а во-вторых, пары ртути будут излучать меньше ультрафиолета, и, значит, лампа станет гореть более тускло. К этому можно добавить и нестабильность при работе с пониженным или повышенным напряжением питающей сети;
– низкая надёжность при частых включениях: интервал между выключением и новым включением лампы должен составлять не менее двух минут. Поэтому нежелательно использовать такие лампы с модными сейчас акустическими датчиками и датчиками движения.

В довершение отметим ещё один большой недостаток, который присущ и газовому светильнику, и лампе накаливания, и люминесцентной лампе — это их малая механическая прочность. При падении газового рожка стекло разбивается, пламя гаснет, газ начинает выходить в атмосферу. У лампы накаливания разрывается спираль, колба разбивается. У люминесцентной лампы также разрывается спираль, колба разбивается с выделением паров ртути. В противоположность вышесказанному светодиодные лампы могут выдерживать ускорение до десятков и даже сотен g.

НА ПОРОГЕ НОВОЙ ТЕХНОЛОГИИ

Стандартные люминесцентная лампа и лампа накаливания светят практически во все стороны. При этом только половина светового потока идёт на потребителя, вторая половина попадает на потолок (подвес, плафон, и т.д.), и при условии малого коэффициента отражения поверхности поглощается ею. Светодиодная лампа обычно изготавливается так, что светит в одну сторону, и световой поток попадает точно туда, куда нужно. Но это же является и основной проблемой для конечного потребителя.

С одной стороны, некоторые недобросовестные изготовители светодиодных ламп делают их с плоскими рассеиватели, так что лампа с цоколем Е27 превращается в аналог прожектора. Оптимальной же, с точки зрения автора, диаграммой светимости является конус с углом 150°. Пример такой лампы прозводства ЗАО «Протон-Импульс» показан на рисунке 1. Для цоколей G13 проблемой также может стать различное направление расположения выводов (вертикальное и горизонтальное), что приведено на рисунке 2. Очевидным решением данной проблемы со стороны производителей светодиодных ламп является изготовление ламп с цоколями двух различных ориентаций. Но наиболее оптимальный вариант светодиодных трубчатых ламп — лампы с использованием универсальных (поворотных) цоколей (см. рис. 2).

С точки зрения конечного потребителя светильника немаловажным является возможность плавного регулирования его яркости. Для газового фонаря всё было просто: открыл кран сильнее — пламя стало ярче, прикрыл — потускнело. Для ламп накаливания стандартным путём является включение различного числа ламп. Раньше в жилых домах устанавливалось даже два фазных провода для подключения люстры. Есть возможность также и плавного регулирования яркости лампы накаливания. Прежде всего, возможен линейный способ регулирования (увеличение и уменьшение амплитуды напряжения питания лампы), к примеру, через автотрансформатор. Но здесь мы встречаем ряд трудностей. Да, при увеличении напряжения лампа светит ярче, но ресурс её работы снижается по экспоненциальной зависимости. Если же напряжение уменьшить, то происходит снижение температуры нити накала лампы, и согласно закону Вина, падает световая отдача лампы. Т.е. мы снизили мощность лампы в два раза, а светимость упала в пять раз. При этом спектр лампы ещё сильнее сместился в красную область.

В случае с люминесцентными лампами, как уже говорилось, вообще не рекомендовано их частое включение-выключение и изменение напряжения питания. И только для светодиодных ламп такие ограничения отсутствуют вследствие того, что светодиод является практически безынерционным прибором. Здесь открывается широкий простор для регулирования его яркости с помощью широтно-импульсной модуляции, главное, чтобы её частота была достаточно высокой и не воспринималась человеком. Более того, при использовании светодиодных RGB-кластеров можно регулировать не только яркость, но и цвет свечения.

Использование RGB-кластеров в дополнение к вышесказанному позволяет увеличить световую эффективность светодиодных ламп. И дело здесь в следующем. В настоящее время существуют три основных способа получения белого света от светодиодов. Первый — смешивание цветов по технологии RGB. На одной матрице плотно размещаются красные, голубые и зеленые светодиоды, излучение которых смешивается при помощи оптической системы, например, линзы. В результате получается белый свет. Второй способ заключается в том, что на поверхность светодиода, излучающего в ультрафиолетовом диапазоне, наносятся три слоя люминофора, которые излучают, соответственно, голубой, зеленый и красный свет. Это похоже на то, как светит люминесцентная лампа. И наконец, в третьем способе желто-зеленый или зеленый плюс красный люминофор наносятся на голубой светодиод, так что два или три типа излучения смешиваются, образуя белый или близкий к белому свет. При этом из-за вторичного переизлучения фотонов КПД таких светодиодов не очень высок. И только в первом случае (RGB-кластеры) мы получаем максимальную световую эффективность.

ВМЕСТО ЗАКЛЮЧЕНИЯ

И всё же, изготовление светодиодных ламп, повторяющих форму лампы накаливания и люминесцентной лампы — скорее дань доброй традиции. Светодиоды в SMD-исполнении имеют высоту не более 5 мм. Теплоотвод осуществляется платой, которая одновременно является и радиатором. Недаром плоские светодиодные светильники занимают всё большую долю. На рисунке 3 показан плоский светодиодный светильник для кабин бытовых лифтов.

А теперь попробуем оценить, как изменятся рассмотренные светодиодные лампы лет через двадцать. Прежде всего, напомним, что стоимость светодиодов будет падать, при этом нижний порог, до которого может упасть цена одного люмена, на данный момент не определен. Более того, принцип действия светодиодов (квантовый излучательный переход) может дать коэффициент светоотдачи, приближающийся к технологически достижимому. Это позволит не только поднять относительную светимость светодиодов, но и будет означать, что лампы будут меньше греться, а пока их нагрев — одна из основных забот разработчиков светодиодной продукции. При этом технология производства светодиодных ламп, скорее всего, разделится на два непересекающихся направления:

- первое направление будет представлено одиночными сверхмощными светодиодами. Их мощность уже сегодня достигает десятков ватт, что позволяет использовать их в качестве единичных точечных источников света;
- второе направление будет представлено так называемой «светящейся плёнкой». Работы в этом направлении также ведутся. Уже появились светодиодные кластеры с общим люминофором. При этом (в идеале) эта плёнка сможет разрезаться на части любого размера, а также при необходимости — изгибаться для придания ей любой формы. «Первые ласточки» в этом направлении — светодиодные линейки на клейкой ленте и OLED-панели.

И наконец, о самом главном. Да, светодиодные светильники могут с успехом заменить (имитировать) лампы накаливания и люминесцентные лампы. Тем не менее, дальнейшее развитие светодиодной продукции позволит ей приобрести новые, непохожие на сложившиеся, очертания.

ЛИТЕРАТУРА

1. Большая советская энциклопедия: В 30 т.— М.: Советская энциклопедия, 1969–1978.
2. Епифанов Г.И. Физика твердого тела. Изд.2-е, переработанное и дополненное.— М.: Высшая школа, 1973.
3. Савельев И. В. Курс общей физики: учебное пособие для втузов: В 3 т./7-е изд., стереотип.— СПб.: Лань, 2007.

ЗАО «Протон-Импульс»

Разработка и производство твердотельных реле средней и большой мощности силовых модулей, светодиодных коммутаторных ламп, светодиодных осветительных ламп и светильников.

302040 г. Орел, ул. Лескова, 19;
тел.: 8 (4862)41-01-90, 43-69-42

www. proton-impuls.ru

e-mail: *skl@proton-impuls.ru*
or@proton-impuls.ru