**«Весьма яркий белого цвета свет»**

Евгений Авдонин

Открытие электричества ознаменовало новую эру в истории источников света. Развитие пошло по двум направлениям: одни основывались на свечении электрической дуги, другие – на термическом действии электрического тока. В этой статье речь пойдет о газоразрядных источниках света, к коим относятся дуговые лампы и лампы тлеющего разряда.

В 1802 году русский физик Василий Владимирович Петров (1761–1834), занявшись исследованиями в новой тогда области – электричестве, построил гигантскую гальваническую батарею. Его «вольтов столб», помещенный в деревянные ящики, состоял из 2,1 тыс. пар медных и цинковых кружков1. С помощью этой батареи Петров поставил немало опытов, но один из них навсегда запечатлел его имя в истории науки. Разомкнув два угольных стержня, присоединенных медными проводниками к батарее, ученый был поражен «весьма ярким белого цвета светом», который вспыхнул между углями. Так впервые была получена электрическая дуга.

**Найти применение**

Уже в первой половине XIX века стали предприниматься попытки использования электрической дуги для осветительных нужд. Электрический свет оставался дорогим, поскольку еще не было дешевого и надежного источника энергии (генератора), и не слишком надежным – угольные электроды довольно быстро сгорали в пламени дуги, а расстояние между ними приходилось поддерживать вручную. Однако важнейшие преимущества электрического света – высокая яркость и белизна – побуждали ученых и инженеров к новым экспериментам.

Первая практически пригодная конструкция дуговой лампы (ДЛ) была создана французским физиком Жаном Бернаром Леоном Фуко (1819–1868) в 1844 году. В России же подлинную революцию в освещении совершил изобретатель Павел Николаевич Яблочков (1847–1894). В 1870-х годах он занялся исследованиями в области электротехники. Результаты работ были блестящими – Яблочков с успехом решил две самые трудные проблемы, тормозившие развитие электрического освещения.

Первая состояла в том, что от одного источника тока удавалось питать только одну дуговую лампу. Особенности работы дуговых источников света (ИС) не позволяли включать их параллельно, а последовательное включение было невозможно из-за необходимости одновременного зажигания ламп. Ученому удалось справиться с проблемой c помощью созданных незадолго до этого индукционных катушек – первых трансформаторов, благодаря которым он сумел гальванически развязать цепь генератора от цепей ламп и обеспечить независимость работы каждой лампы (рис. 1 на с. 66).

Вторая проблема стала очевидной в ходе организации освещения железнодорожного пути Московско-Курской железной дороги в 1874 го ду. Опыт показал, что основной задачей совершенствования источников света должно было стать регулирование зазора между углями. Если угли сгорали и зазор становился слишком велик, лампа гасла. Если же зазор оказывался чересчур маленьким, падала яркость свечения, а дуга становилась нестабильной. Чего только ни придумывали конструкторы: угли сближались часовым механизмом с ходовым винтом, электродвигателем, электромагнитом. Последние конструкции были относительно удачны, что позволило им дожить до середины XX века. Но идея Яблочкова оказалась поистине гениальной и вместе с тем простой – он поместил угли параллельно один другому, разделив их тонкой изолирующей прокладкой из каолина (рис. 2). Теперь угли сгорали одновременно, и свеча горела целый вечер без каких-либо регуляторов и других приспособлений.

В конце XIX века с появлением более удобных в эксплуатации ламп накаливания (ЛН), речь о которых пойдет в следующей статье, интерес к дуговым лампам пошел на убыль. Однако исследователи не остановились на достигнутом, они начали использовать иные формы электрического разряда в газах.

**Лампа тлеющего разряда**

В 1858 году немецкий механик и изобретатель Генрих Гейслер (1814– 1879) изготовил первую лампу тлеющего разряда (ЛТР), пригодную как для лабораторных экспериментов, так и для целей утилитарного и декоративного освещения. Такие лампы получили название «трубок Гейслера».

Спустя 40 лет после изобретения Гейслера сотрудник Edison Electric Light Company (позднее – General Electric Co. (GE) Даниель Мур (1869–1926) вернулся к этой технологии и предложил совершенно новую лампу. Не найдя поддержки руководителя (по мнению Эдисона, лампа Мура была менее удобной по сравнению с массово производимыми его фирмой лампами накаливания), он покинул компанию Эдисона и создал собственную Moore Electrical Company, которая на протяжении ряда лет успешно занималась производством ламп Мура.

Лампа Мура, или «свет Мура», представляла собой целую установку, в ее состав входила не только сама лампа и источник электропитания (индукционная катушка, или трансформатор), но и система, поддерживавшая неизменным давление газа в лампе (рис. 4 на с. 68). Лампу изготавливали непосредственно на месте эксплуатации, собирая ее из стеклянных труб диаметром около двух дюймов (примерно 5 см) и длиной до 10 футов (чуть больше 3 м). Максимальная длина лампы достигала 250 футов (около 76 м). После монтажа из трубки откачивался воздух, и под небольшим давлением ее заполняли азотом, дававшим в тлеющем разряде золотисто-желтое свечение, или углекислым газом (белое, близкое к дневному свечение). Электрический ток протекал между электродами, впаянными по обоим концам. Ток и давление газа регулировались с помощью устройств, помещенных в камеру, в которую вводились оба конца лампы. Напряжение питания могло достигать 25 кВ при токе до 150 мА, мощность питающих трансформаторов составляла 2–4 кВт.

Углекислый газ давал достаточно яркий белый свет при световой отдаче порядка 10 лм/Вт – почти втрое больше, чем у ЛН Эдисона. Лампы Мура производились для коммерческого применения до 1910 года. В Штатах они использовались весьма широко, в небольшом количестве добрались даже до России (в Петербурге эксплуатировались по меньшей мере две подобные установки, одна из которых – в Ленинградском электротехническом институте (ЛЭТИ) – действовала до 1948 года). После 1910 года, когда Уильям Дэвид Кулидж (1873–1975) создал лампу накаливания с вольфрамовым телом накала, световая отдача η которой также достигала 10 лм/Вт, компанию Мура постиг крах.

Успехи в развитии производства и совершенствовании конструкции лампы накаливания, достигнутые в начале XX века, послужили причиной отказа от практического применения лампы тлеющего разряда. Новый всплеск интереса к ним был связан с работами французского химика и инженера-предпринимателя Жоржа Клода (1870–1960), который в 1910 году предложил использовать ЛТР в трубчатой колбе для рекламного и декоративного освещения.

**От металла к галогенам**

В 1901 году американский инженер-электрик Питер Купер-Хьюитт (1861–1921) создал первый промышленный образец дуговой ртутной лампы (рис. 5). Ртуть снижала напряжение зажигания и горения при увеличении яркости дуги (световой отдачи лампы). Лампа Хьюитта давала яркий, но не очень приятный бело-зеленоватый свет. Срок службы, а также световая отдача этих ламп по сравнению с ЛН были весьма высоки. Для зажигания разряда лампу Хьюитта нужно было качнуть, чтобы ртуть, свободно переливающаяся по колбе, замкнула электроды, а затем разорвала цепь. При этом вспыхивала дуга (на рисунке видна ртуть в шариках, выдутых на концах колбы лампы). Основными потребителями ламп Хьюитта, который создал для их производства собственную компанию Cooper Hewitt Electric Company, стали фотоателье. Фотография начала XX века была черно-белой, и высокая освещенность объекта съемки имела большее значение, чем хорошая цветопередача. В 1919 году GE купила компанию Хьюитта, а в 1933-м начала выпуск ртутных ламп несколько иной конструкции.

В 1904 году руководитель исследовательской лаборатории GE Чарльз Протеус Штейнмец (1865–1923) предложил дуговую лампу с металлическими электродами. Такие лампы с η = 15–25 лм/Вт и τ = 50–200 ч в США долгое время успешно конкурировали с мощными ЛН.

На международной выставке 1938 года компания GE продемонстрировала первую люминесцентную лампу (ЛЛ), в которой для исправления цветности излучения дугового разряда в парах ртути низкого давления использовался слой люминофора, преобразовывавший ультрафиолетовое излучение разряда в видимое.

Опытные образцы отечественных ЛЛ созданы под руководством Алексея Петровича Иванова (1904– 1982), Сергея Ивановича Вавилова (1891–1951) и Валентина Александровича Фабриканта (1907–1991) в 1935–1936 годах, а к началу 1941-го была разработана технология промышленного производства ЛЛ. Однако начавшаяся война приостановила эти работы, и лишь в 1948 году был пущен в эксплуатацию Московский завод ламп дневного света, продукция которого сразу же стала широко внедряться в обиход.

Массовое увлечение экономичными и долговечными люминесцентными лампами стало причиной создания нескольких экзотичных конструкций светильников. Так, люстры с ЛЛ 15 Вт украшают многие станции Московского метрополитена и интерьеры столичных высоток. В тот же период были предприняты попытки использования ЛЛ для наружного освещения. Однако малая единичная мощность ламп (до 80 Вт) вынуждала создавать сложные многоламповые светильники, неудобные в эксплуатации, а в зимние морозы лампы плохо зажигались. Поэтому от применения их в уличном освещении отказались довольно быстро. Кроме того, в начале 1950-х годов появились первые дуговые ртутнолюминофорные лампы (ДРЛ – рис. 6, слева). В этих лампах давление паров ртути было существенно выше, чем в ЛЛ, за счет чего при небольших габаритах лампы имели значительно большую мощность. Габаритный ряд ДРЛ – 125, 250, 400, 700, 1000 Вт, позднее дополненный лампами 50 Вт и 80 Вт, а также вырабатываемыми некоторое время ДРЛ-2000, – выпускается по сей день всеми крупными мировыми производителями ИС. Сегодня для ДРЛ-400 η ≈ 60 лм/Вт, а срок службы достигает 10–25 тыс. ч. Дуговые ртутно-люминофорные лампы занимают третье место по объему выпуска после ламп накаливания и люминесцентных ламп.

В 1930 году Марчелло Стефано фон Пирани (1880–1968), возглавлявший исследовательский центр компании Osram, сообщил о создании натриевой лампы низкого давления (НЛНД). Такие лампы имели весьма высокую световую отдачу, что позволяло использовать их для наружного освещения. Единственным недостатком НЛНД являлся их желтый свет (с длиной волны λ = 589,0 и 589,6 нм). При изготовлении натриевой лампы низкого давления пришлось решить целый ряд сложных инженерных задач, наиболее серьезные из которых были связаны с необходимостью защиты стекла от разрушающего действия горячих паров натрия. С этой целью Пирани создал рецептуру боросиликатного стекла, обеспечившего приемлемую долговечность работы натриевой горелки. В США интерес к НЛНД был быстро утрачен в связи с успешными работами над металлогалогенными лампами (МГЛ – рис. 6 на с. 69, в центре), появившимися на потребительском рынке в 1960-х годах. В нашей стране НЛНД никогда не использовались для нужд освещения, однако в Европе до сих пор НЛНД массово применяются для освещения, в частности автомобильных тоннелей. Для них η → 200 лм/Вт (при мощности 18–185 Вт), и это практически предельная для данного вида ИС величина. Металлогалогенные лампы – результат дальнейшего этапа развития ламп типа ДРЛ. Но для повышения эффективности в этих лампах вместо люминофора, излучение которого восполняло «провалы» в спектре излучения ртути, используются добавки галогенпроизводных некоторых металлов (натрия, свинца, кобальта, индия, а также редкоземельных элементов – талия, лантана и др.), вводимые в колбу. Принцип действия МГЛ был предложен в 1911 году Чарлзом Протеусом Штейнмецем (1865–1923), однако освоение их производства, начатого в 1962 году, потребовало создания новой отрасли промышленности, выпускавшей особо чистые галогениды металлов, а также разработки технологии дозирования этих гигроскопичных материалов в горелку лампы.

Конкуренцию МГЛ составили натриевые лампы высокого давления (НЛВД, выпускаемые в нашей стране под марками ДНаТ, ДНаС, ДНаМТ, ДнаЗ, – рис. 6 на с. 69, справа). Они имеют наиболее высокую световую отдачу из всех существующих ИС, однако, как и НЛНД, светят ярким желтым светом. Поэтому их основное назначение – освещение улиц и промышленных предприятий (ДНаС-18 использовалась как спектральный источник).

Способствовало массовому внедрению НЛВД в практику обнаружение того факта, что при освещении объекта такими лампами внимание наблюдателя существенно активизируется, что влияет на повышение безопасности движения и производства. Натриевая лампа высокого давления – наиболее эффективный с энергетической точки зрения источник света. Первые практически пригодные образцы НЛВД были созданы в 1965 году Уильямом Лоуденом и Куртом Шмидтом в компании GE.

В начале 1980-х годов производители ИС сообщили о выпуске первых компактных ЛЛ (КЛЛ – рис. 7 на с. 71). Появлению этих ламп предшествовал огромный объем работ: создание высокоэффективных и стойких люминофоров на основе соединений редкоземельных элементов, разработка малогабаритных пускорегулирующих аппаратов (ПРА). В наши дни КЛЛ все более широко внедряются взамен ЛН в осветительных установках (ОУ) жилых, общественных и производственных зданий. Освоение массового производства дешевых и надежных миниатюрных высокочастотных пускорегулирующих аппаратов на полупроводниковых элементах также способствовало успешному внедрению таких ламп.

Популярность КЛЛ непрерывно растет ввиду их экономичности, относительной дешевизны и функциональности. Так, в период 1990– 1997 годов мировой объем продаж КЛЛ вырос в семь раз, превысив 350 млн шт. в год.

Последним достижением в разработке энергоэффективных разрядных ИС стало создание в 1990– 1991 годах серных ламп (СЛ). Этот принципиально новый источник света, созданный Майклом Ури и Ли Андерсоном, представляет собой герметичную сферическую кварцевую колбу без каких-либо токоведущих частей, заполненную аргоном и порцией серы. Подвод энергии к лампе производится электромагнитным полем сверхвысокой частоты (порядка 2,75 ГГц). Иными словами, лампа словно помещается в микроволновую печь. Для СЛ η достигает 100 лм/Вт, что сравнимо с η МГЛ, а спектр ее излучения близок к солнечному.

Однако сложность конструкции осветительных установок с серными лампами не позволяет им получить значительного распространения. В настоящее время в мире сооружено незначительное число таких ОУ, размещенных большей частью в крупных торговых центрах.

Внедрение серной лампы возродило канализацию света, реализованную более века назад для распределения в пространстве светового потока ДЛ. Мы привыкли к канализации электрической энергии, передаваемой по проводам. Применение же единичных источников света высокой мощности вынуждает использовать трубчатые световоды с многочисленными отражателями, передающие свет в различные точки помещений.

Наконец, нужно упомянуть еще один вид разрядных ламп – дуговые ксеноновые лампы (КЛ) высокого и сверхвысокого давления. Интересной особенностью одной из модификаций таких ламп является возможность работы без балластного дросселя. Первая безбалластная лампа была создана в 1961 году под руководством Иммануила Самуиловича Маршака (1917–1977), видного советского светотехника, сына известного поэта. В настоящее время различные виды КЛ применяются для освещения больших территорий, для кинопроекции, а также все более широко используются в автомобильных фарах (рис. 8). Главные преимущества ксеноновой лампы – практически непрерывный спектр от ультрафиолетового (порядка 200 нм) до инфракрасного (ок. 2000 нм) диапазона и исключительно высокое качество цветопередачи. Советскими светотехниками были разработаны уникальные лампы, например имитаторы солнца мощностью 55 и 70 кВт.

Параллельно с развитием газоразрядных источников света шло развитие ламп накаливания. На начальном этапе развития электричества одни ученые заметили возможность использования электрической дуги для освещения, другие обратили свое внимание на не менее интересный факт: при протекании электрического тока через проводник, его температура сильно повышается, проводник накаляется и тоже излучает свет.

Об истории развития ламп накаливания читайте в нашей следующей статье.

**Русский свет**

Осенью 1874 года император Александр II собирался ехать железной дорогой на юг. После покушения Каракозова, совершенного в 1866 году, безопасности царя уделялось особое внимание, поэтому Яблочкову, служившему в то время начальником службы телеграфа Московско-Курской железной дороги, было поручено организовать освещение железнодорожного пути. Двое суток изобретатель провел на платформе, прицепленной перед паровозом, управляя вручную регулятором, сдвигавшим угли дуговой лампы.

В 1876 году на Лондонской выставке впервые появляется необычный экспонат – «свеча Яблочкова». А в Париже, где в то время работал изобретатель, свеча произвела фурор. Инженер и предприниматель Луи Денейруз создал акционерную компанию с уставным капиталом 7 млн франков, которая начала массовое производство свечей – до 8 тыс. штук в день. В 1881–1882 годах такая же компания создается в Англии. Толпы парижан собирались вечерами на площади и улице Оперы, чтобы увидеть «русское солнце», «русский свет», сообщениями о котором пестрили газеты. Это были 32 дуговых фонаря на протяжении 1000 м, причем питали их всего две динамо-машины.

«Свеча Яблочкова» стала гвоздем Всемирной выставки в Париже в 1878 году. Ученый выступал с докладами о своем изобретении. Каждый из дуговых фонарей был украшен надписью «Яблочков» по-французски.

«Русский свет» нашел свое место и в России. По заказам Курско-Киевской и Курско-Харьковской железных дорог Яблочков разработал комплекты светильников для локомотивов и пассажирских вагонов. Весной 1879 году была сооружена пробная осветительная установка на Дворцовом мосту в Петербурге. Затем дуговыми свечами стали освещаться многие объекты.

**Почему 220? Почему 380?**

Даже привычное нам напряжение электрической сети 220 В обязано своей величиной... дуговым свечам. Опытным путем было выяснено, что оптимальным для питания свечи является напряжение 45 В. Для уменьшения тока короткого замыкания, возникающего в момент зажигания ламп, а также повышения устойчивости их горения, последовательно с ними включалось балластное сопротивление, падение напряжения на котором равнялось примерно 20 В. Таким образом, напряжение питания составляло 65 В, и этот показатель держался в сетях электрического освещения достаточно долго (рис. 3, а). Затем все чаще стали включать в цепь по две ДЛ последовательно с общим балластным сопротивлением (рис. 3, б). При этом напряжение питания такой цепи составляло 2 Ч 45 В + + 20 В = 110 В. Это напряжение было почти повсеместно принято в качестве стандартного для осветительных сетей. В 1882 году Джоном Гопкинсоном и одновременно с ним Томасом Алва Эдисоном была предложена трехпроводная схема распределения электрической энергии (рис. 3, в), в которой два генератора G1 и G2 соединялись последовательно, и от их средней точки шел третий – нейтральный, или компенсационный провод. Такая схема позволяла повысить напряжение сети, а значит, уменьшить сечение проводов и потери напряжения в них. Лампы включались на 110 В, а электродвигатели – на 220 В. Позднее были созданы лампы на напряжение 220 В, которыми мы пользуемся по сей день.

В трехфазных сетях переменного тока напряжение 220 В было принято в качестве линейного; при этом величина фазных напряжений составляла В (сети 220/127 В). В дальнейшем появились трехфазные сети с фазным напряжением 220 В и линейным 380 В (сети 380/220 В). Так светотехника повлияла на развитие электроэнергетики. Подобных примеров можно привести очень много.

**Список литературы**

Вывески № 7 (85), ИЮЛЬ, 2007 г.