

УДК 621.32

## ГАЗОВЫЙ РАЗРЯД В ЭЛЕКТРОМАГНИТНОМ ПОЛЕ. АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ ИСТОЧНИКОВ СВЕТА

Заранко В.И., Капустинский А.Ю.

Научный руководитель – ассистент Гаврилович О.Н.

Идея использования газового разряда в качестве источника света появилась давно, однако, ввиду трудности воплощения, массовое развитие данного рода технология получила не сразу.

Широко известно, что в газе при определенной напряженности возникает разряд. В случае, когда мы говорим о светотехнических приборах, это либо дуговой разряд, либо тлеющий разряд. Разряд в газе сопровождается излучением различного спектра, обычно это ультрафиолетовое излучение. В некоторых газах разряд сопровождается также излучением видимого спектра, что обуславливает их применение в промышленности и хозяйственной деятельности человека. В таблице 1 приведены инертные газы, используемые в настоящее время в качестве наполнителей источников света, а также область их применения и цветовая характеристика получаемого излучения.

Таблица 1: характеристики используемых газов

Газ	Оттенок испускаемого видимого излучения	Использование
Гелий (He)	Бело-оранжевый; при некоторых условиях может иметь серый, зеленовато-голубой или голубой оттенок	Используется художниками для специального освещения
Неон (Ne)	Красно-оранжевый	Используется в неоновых рекламных знаках и в неоновых лампах
Аргон (Ar)	Фиолетово-голубой	Используется художниками для специального освещения, зачастую с парами ртути
Криптон (Kr)	Сероватый тусклый грязно-белый. Может быть зеленоватым. В разрядах высокого напряжения яркий синевато-белый	Используется художниками для специального освещения
Ксенон (Xe)	Сероватый или синевато-серый тусклый белый, в разрядах высокого напряжения в высоких пиковых потоках, очень яркий синевато-зелёный	Используется в ксеноновых фотовспышках, лампах подсветки индикаторов, ксеноновых дуговых лампах, а также художниками для специального освещения
Пары ртути (Hg)	Светло-голубой; интенсивное ультрафиолетовое излучение	В сочетании с люминофорами используется для получения света разных цветов. Широко используется во ртутных газоразрядных лампах
Пары натрия (Na)	Ярко жёлтый	Используется в натриевых газоразрядных лампах.

Первыми источниками света, получившими широкое распространение, стали газоразрядные лампы низкого давления, или люминесцентные лампы. Серийный выпуск люминесцентных ламп начался еще в 1936 г, а первые светящиеся трубки появились еще в 1860 г в Англии. Люминесцентная лама представляет собой запаянную с обоих концов

трубку, покрытую слоем люминофора (вещества, которое под воздействием какого-либо возбуждения способно излучать свет). Из трубки откачан газ, она заполнена инертным газом при пониженном давлении, порядка 300 Па, с добавлением ртути. Данные условия являются весьма благоприятными для создания тлеющего разряда. При подаче напряжения на противоположные электроды возникает тлеющий разряд. Тлеющий разряд сопровождается выделением тепла, под воздействием которого ртуть превращается в пар. Разряд сопровождается сильным излучением в ультрафиолетовом спектре, которое преобразуется в видимый спектр люминофором.

Интересным фактом является то, что ввиду того, что ртуть в них добавлена с избытком, могут светиться в достаточно сильном электромагнитном поле, которое не так уж и тяжело встретить. Источником такого электромагнитного излучения могут стать, к примеру, другие электроприемники или линии электропередач. Значительная длина трубчатых люминесцентных ламп обуславливает появление на концах лампы разности потенциалов, ввиду чего по парам ртути протекает ток, приводящий к появлению такого свечения.

В Великобритании находится поле, в которое один местный энтузиаст, Ричард Бокс, поместил 1301 люминесцентную лампу после того, как узнал о возможности такого свечения. Трубчатые люминесцентные лампы вставлены одним концом в землю и расположены в месте, где провес проводов воздушных линий имеет наибольшее значение. Разности потенциалов между концами лампы оказалось достаточно для ее зажигания. Однако в таких условиях лампа дает световой поток гораздо меньше номинального. Расчеты, имеющее эмпирическое подтверждение, показывают, что при снижении подведенного напряжения на 10% от номинального, световой поток уменьшается на 15 %.

Свечение инертного газа под действием внешнего ионизатора, находящегося вне колбы, нашло широкое применение в индукционных лампах. Индукционная лампа — безэлектродная люминесцентная лампа, в которой газовый разряд инициируется с помощью электромагнитного поля. Они позиционируются производителями как энергосберегающие источники качественного света, по техническим характеристиками превосходящие традиционные виды источников освещения.

Впервые безэлектродную лампу продемонстрировал Н. Тесла на Всемирной колумбийской выставке в Чикаго в 1893 г. Она была похожа на большой шар и светилась странным зеленоватым светом. Питалась она от электромагнитного поля вблизи катушки Тесла. В 1904 г. П. Хьюитт разработал индукционную лампу, в которой использовались пары ртути. Лампы имели форму сферы и двояной сферы с внешним и внутренним дросселем. В 1967 г. Дж. Андерсон разработал первый надежный прототип индукционной лампы, а в 1994 г. его компактная лампа GENURA (впервые ВЧ- генератор был расположен в цоколе лампы) вышла на рынок. Первые серийные образцы индукционных люминесцентных ламп (ИЛЛ) были выпущены в 1991-92 гг. Лидерами в производстве ИЛЛ стали иностранные фирмы PHILIPS Lighting, GE Lighting, OSRAM.

Российские ученые также занимались практической разработкой таких ламп. Источники света с индуктивным возбуждением в СССР выпускались серийно в 60-х годах прошлого века. Например, выпускалась ультрафиолетовая косметическая лампа «ФОТОН», в которой источником света являлся шарик диаметром 2 см., рядом с которым располагалась катушка ВЧ-генератора 27, 12 МГц. Были созданы экспериментальные образцы ИЛЛ мощностью от 100 Вт до 100 кВт. Однако ввиду отсутствия финансирования исследования были прекращены. В настоящее время монополия на производство этих ламп принадлежит Китаю.

Основные элементы конструкции индукционной лампы:

- а) стеклянная трубка тороидальной формы, заполненная инертным газом: аргоном или криптоном, внутренняя поверхность которой покрыта люминофором, от вида которого зависит цвет свечения (как и в обычных люминесцентных лампах). В специальном отростке колбы содержатся шарики амальгамы;
- б) магнитопровод с системой первичных обмоток;

в) электронный балласт (генератор высокочастотного тока).

Электронный балласт подключается к сети синусоидального напряжения 127/220/380 В (или к источнику постоянного напряжения 12 или 24 В). Система управления балластом преобразует переменный ток частотой 50 Гц в переменный ток высокой частоты (190–250 кГц или 2,65 МГц) и может изменять частоту и силу тока через катушку индуктора для обеспечения стабильной работы лампы. Электромагнит и индукционная катушка создают высокочастотное электромагнитное поле, атомы ртути возбуждаются (газовый разряд), возникает ультрафиолетовое излучение, которое преобразуется люминофором в видимое свечение. Как и в стандартных люминесцентных лампах, различное сочетание люминофоров в покрытии колбы дает различные цвета свечения. Наиболее общие цветовые температуры свечения ламп: 3500, 4100, 5000, 6500 К

Существуют два типа конструкции индукционных ламп: *индукционная лампа с отдельным балластом* и *индукционная лампа со встроенным балластом*. По виду индукции также возможны два типа индукционных ламп: магнитное кольцо расположено вокруг трубки (*внешний индуктор*) или *внутри* её. Лампы с внешним индуктором (их еще называют низкочастотными лампами, рабочая частота 190–250 кГц) имеют лучшие условия теплообмена с окружающей средой, поэтому у них более высокий КПД преобразования и длительный срок службы 90000–100000 ч по сравнению с лампами с *внутренним индуктором* (высокочастотные лампы, рабочая частота 2–3 МГц, индукционная катушка намотана на ферритовый сердечник, находящийся внутри колбы). В последних тепло, выделяемое катушкой, оказывается внутри полости лампы (имеют более высокую рабочую температуру) и выводится излучением через стеклянные стенки колбы и теплопередачей через цоколь. Такие лампы похожи на обычные лампы накаливания и имеют срок службы 60000–75000 ч. Внутренний индуктор лампы имеет более низкий КПД преобразования.

В настоящее время индукционные лампы применяются для освещения промышленных, общественных, торговых и жилых помещений, городских улиц, пешеходных зон, а также архитектурной и художественной подсветки, также используются в сельскохозяйственных предприятиях. Например, российская компания «Наносвет» предлагает индукционные лампы для тепличных хозяйств. Лампа излучает свет в двух диапазонах: синий и красный, что ускоряет рост растений. При этом экономия электроэнергии достигает от 35–70%

В 2012 году проводились испытания ламп в Москве (метрополитен), Екатеринбурге (уличное освещение), Миассе, а также на промышленных предприятиях. Все испытания подтвердили высокую экономичность, потребление электроэнергии уменьшилось в 3–5 раз. При этом отмечалась стабильная работа светильников при пониженном напряжении. Результаты производственных испытаний приведены в таблице 2.

Таблица 2: результаты производственных испытаний

Источник света	ИЛЛ	Светодиоды	ДРЛ	ДРИ
Н, лм/Вт	80-100	110	70-140	40-60
Ra	80-90	80-90	25-30	40-60
τ, час	100000	100000	20000	7000
tr, °С	-40°С - +40°С	-60°С - +40°С	-60°С - +45°С	-40°С - +40°С
τ <sub>вкл</sub>	0,01 с	0,01 с	10 мин	7-10 мин
Кп	0,1	0,1	4,9	7,3
cosφ	0,74-0,95	0,74-0,95	0,5	0,5
T, К	2700 - 6500	2700 - 6500	2300 - 2900	2300 - 2900
Диммирование	есть	есть	нет	нет
Потеря светового потока	10%-15% после 30000 часов	25% по 50000 часов	20%-40% после 5000 часов	30%-60% после 3000 часов
Экология	амальгама	безопасно	ртуть	ртуть
Горячий запуск	есть	есть	нет	нет
Стоимость,	4.000.000 +	5.500.000	2.000.000 +	2.000.000 +

бел. руб.	+ 2.000.000		+ 150.000	+ 60.000
-----------	-------------	--	-----------	----------

Однако, у индукционных ламп имеется ряд недостатков, наиболее значимыми из которых являются их размеры, производимое ими электромагнитное излучение и рабочая температура.

В таблице 3 приведены результаты испытаний ООО «Арсенал-А», наглядно отображающие значимость такого недостатка индукционных ламп, как наличие электромагнитного излучения.

Таблица 3: результаты производственных испытаний ООО «Арсенал-А»

Расстояние от источника, м	Значение напряженности электромагнитного поля, мВ/м	
	измеренное	допустимое
0,5	90	25
1	7	25
2	2	25
3	–	25

Как мы можем видеть, уже на расстоянии 3-х метров от источника прибор не улавливает никаких электромагнитных волн. Так как индукционные светильники в основной своей массе предназначены для освещения помещений с высокими пролётами, размещают их на высоте от 6 метров и выше. На этом расстоянии, говорить о каком либо вредном воздействии электромагнитного поля на человека, было бы не корректно. Хотя в паспорта индукционных светильников необходимо добавить примечание с рекомендациями о размещении индукционных светильников на расстоянии более 1 метра от предполагаемого места нахождения людей.

Говоря о рабочей температуре, необходимо отметить, что практическое применение индукционных ламп показывает, что при  $-20^{\circ}\text{C}$ , для достижения 70% светового потока от номинального значения необходимо 20 минут. Поэтому многие производители стали предупреждать про влияние холода на режим работы индукционной лампы.

Внушительные размеры светильников для индукционных ламп создают в некоторых ситуациях проблемы. Например, в складских помещениях стеллажи для товара устремляются вплоть до потолка, это все осуществляется для рационального использования площади помещения, однако установка индукционных светильников вызывает некоторые затруднения из-за больших габаритов.

Рассматривая вкупе данные проблемы можно сказать, что преимуществ у современного индукционного освещения, несомненно, больше. Но почему же современные источники света не пользуются популярностью на просторах рынка Республики Беларусь? Ответ прост: главным фактором в проведении тендеров является стоимость. И несмотря на отсутствие необходимости в эксплуатации данных источников освещения, снижения затрат на обслуживающий персонал, в наших реалиях все же необходимо исходить из условий минимальной стоимости на продукцию.

Таким образом, можно сделать вывод, что применение индукционных источников света в промышленности, уличном освещении и для тепличных хозяйств является целесообразным в точки зрения энергосбережения и технических характеристик.

### Литература

1. Кунгс Я.А., Ковалева О.А., Кибардин В.В., Журнал «Вестник Красноярского государственного аграрного университета»
2. Борис Алексеев. Журнал: «Электроника инфо». Статья: «Индукционная лампа – источника качественного и энергоэффективного освещения»
3. Козловская В.Б., Радкевич В.Н., Сацукевич В.Н. Электрическое освещение: учебник - Минск: Техноперспектива, 2011. 543 с., [12] л.цв.ил.
4. Степанчук К.Ф., Тиняков Н.А. Техника высоких напряжений: [Учеб. пособие для электроэнерг. спец. вузов]. – 2-е изд., перераб. и доп.–Мн: Выш. школа, 1982.–367с. ил.