

ОСОБЕННОСТИ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗРАБОТКИ СОВРЕМЕННЫХ ГАЛОГЕННЫХ ИСТОЧНИКОВ СВЕТА

Байнева И.И.

Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва, Саранск, Россия (430005, Республика Мордовия, г. Саранск, ул. Большевикская, 68), e-mail: baynevaii@rambler.ru

Статья посвящена анализу современного состояния тепловых источников света – галогенных ламп накаливания, которые являются высокоинтенсивными источниками света, что позволило им занять свою нишу в современной светотехнике. Раскрыты достоинства и преимущества этих источников света, описаны их принцип работы и классификация. Рассмотрены особенности вольфрамо-галогенного цикла в галогенных лампах, условия его протекания и эффективности. Описаны принципы выбора состава и давления наполняющей газовой смеси при производстве галогенных ламп. Показано, что оптимизация параметров галогенных ламп должна включать в себя поиск новых конструктивных решений, эффективных составов наполняющих газовых смесей, путей уменьшения тепловых потерь в наполняющем газе. Обозначены проблемные аспекты развития галогенных ламп и основные тенденции их исследования. Сформулированы задачи и возможные пути их решения, что позволит осуществлять разработку галогенных ламп накаливания максимальной экономической эффективности.

Ключевые слова: источник света, галогенная лампа накаливания, галоген, галогеносодержащая добавка, инертный газ, вольфрамо-галогенный цикл, вольфрам, тело накала.

THE FEATURES AND PERSPECTIVES OF THE MODERN HALOGEN LIGHT SOURCES DEVELOPMENT

Bayneva I.I.

Ogarev Mordovia State University, Saransk, Russia (430005, Mordovia, Saransk, street Bolshevistskya, 68), e-mail: baynevaii@rambler.ru

The article is devoted to the current state of thermal light sources. The halogen lamps are the high-intensity light sources. Thus, they took their place in the modern light engineering. The article reveals the benefits and advantages of these light sources. It is described their working principle and classification. It is considered the features of the tungsten-halogen cycle in halogen lamps, the conditions of its occurrence and efficiency. It is described the principles of selection of the composition and pressure of the filling gas mixture in the production of halogen lamps. It is shown that optimization of the parameters of halogen lamps should include the search for new design solutions, efficient formulations filling gas mixtures ways to reduce heat loss in the filling gas. The problematic aspects of development the halogen lamps and the main trends of research are indicated. The tasks and its possible solutions are formulated. It will allow for the development of halogen lamps maximum economic efficiency.

Keywords: light source, halogen incandescent lamp, halogen, halogen additive, inert gas, tungsten-halogen cycle, tungsten, incandescent body.

Появление в 50-х годах XX века галогенных ламп накаливания (ГЛН) явилось большим прогрессом в области тепловых источников света (ИС). В настоящее время на рынке светотехнической продукции они занимают все больший объем, переживая свое второе рождение. Во многом это связано с запретом Евросоюза на использование и реализацию ламп накаливания (ЛН) мощностью 100 и более Вт.

Галогенные лампы – более долговечный и надежный вариант источника света, чем традиционные ЛН. Они являются высокоинтенсивными источниками излучения с малыми габаритными размерами, благодаря чему нашли широкое применение во многих областях науки, техники и быта [1]. Специалисты считают, что применение галогенных ламп

позволяет существенно уменьшить потребление электричества, ведь, по сути, оставаясь той же лампой накаливания, галогенная лампа на 20–50 % эффективнее.

Оптимизация параметров ГЛН, включающая в себя поиск новых конструктивных решений, эффективных составов наполняющих газовых смесей, путей уменьшения тепловых потерь в газе и эффективной скорости переноса массы тела накала, требует глубокого понимания физико-химических процессов, протекающих в ГЛН [2].

Характеристики, принцип работы и классификация ГЛН

ГЛН обеспечивают световую отдачу 25–30 лм/Вт. Их срок службы более долгий по сравнению с обычными ЛН – 3000–5000 часов. ГЛН имеют сплошной спектр, в основном в видимой и инфракрасной областях спектра, и высокое постоянство светового потока на протяжении всего срока эксплуатации, обеспечивая к концу срока службы 85–95 % от его начального значения. При эксплуатации включаются в сеть питания напряжением от нескольких вольт до 380 В без каких-либо дополнительных устройств.

Принцип работы ГЛН заключается в генерации излучения в результате нагрева вольфрамового тела накала (ТН) до высоких температур электрическим током. Особенностью ГЛН является обязательное наличие вольфрамо-галогенного цикла. Для замедления испарения материала ТН и уменьшения тепловых потерь в газе ГЛН наполняют тяжелыми инертными газами – криптоном и ксеноном.

На сегодняшний день галогенные лампы остаются единственным сравнительно экономичным и при этом недорогим видом источников света с «теплым» спектром. Этим объясняется их богатый ассортимент, имеющий тенденцию к расширению.

В настоящее время ведущие фирмы выпускают до 250 типоразмеров ГЛН, а в России разработано и серийно выпускается более 200 типоразмеров, которые применяются для общего, студийного, бытового освещения, световой сигнализации, аэродромного освещения, транспортных средств, лучистого нагрева и др.

Несмотря на условное разделение ламп на группы, их можно разделить на линейные, малогабаритные и ГЛН для оптических систем [6].

В группу линейных входят лампы, предназначенные для общего и специального освещения, для нагрева, сушки, использования в репродукционной технике и для других технологических целей. Общими признаками ламп этой группы являются линейные конструкции, оболочка в виде длинной кварцевой трубки и двухстороннее софитное расположение токовых вводов.

Отличительной чертой малогабаритных ламп на низкое напряжение является наличие трубчатых оболочек сравнительно малой длины при двухстороннем или одностороннем расположении вводов. Эти лампы используются в основном для

проекторных и прожекторных установок и других световых приборов с оптическими системами. Они часто снабжаются специальными цоколями и имеют нормированное положение ТН.

В отдельную группу можно выделить ГЛН с интерференционными отражателями – гладкими и фасетными, которые широко применяются для декоративного освещения помещений.

Особенности вольфрамо-галогенных циклов в галогенных лампах накаливания

Обязательным атрибутом любой ГЛН является наличие вольфрамо-галогенного цикла, под которым понимают комплекс химических реакций (процессов), в результате которых частицы вольфрама, испарившиеся с нагретой до высокой температуры поверхности ТН, перемещаются с помощью галогенов в обратном направлении – из области более низких в область более высоких температур. Назначение таких циклов – предотвращать почернение оболочки испарившимся с ТН вольфрамом, сохранять ее чистой, прозрачной на протяжении всего срока службы лампы [5].

Вольфрамо-галогенный цикл основывается на химическом термодинамическом круговом процессе, при котором галогенные соединения вольфрама при высокой температуре становятся газообразными, а при температуре ТН разлагаются на галоген и парообразный вольфрам.

Особенно интенсивно испарение происходит с более горячих участков ТН, образующихся в результате неравномерного распределения температуры вдоль ТН из-за охлаждающего действия токовых вводов и поддержек (крючков), так и вследствие отдельных локальных дефектов (дефект диаметра) нити. Галогенные циклы не в состоянии «залечивать» дефектные участки вольфрамовой проволоки. Следовательно, галогенный цикл сам по себе не способствует увеличению срока службы лампы.

В ГЛН практически трудно получить вольфрамо-галогенный цикл в «чистом» виде, т.е. только путем взаимодействия вольфрама и галогенов. Всегда имеются посторонние элементы, случайно оказавшиеся в лампах, либо введенные специально.

Общая картина происходящих вольфрамо-галогенных явлений чрезвычайно сложна и представляет собой систему химических реакций равновесия с участием 5 элементов – вольфрама, галогена, кислорода, водорода и углерода. Эти элементы, участвующие как компоненты в химических реакциях, сами могут находиться в атомарном или молекулярном состоянии и образовать до 40 различных двойных и тройных соединений [3].

В первую очередь образуются две системы реакций: вольфрам-кислород и вольфрам-галоген. Далее могут образоваться системы вольфрам-кислород-галоген, в которые может проникнуть водород с образованием галогеноводородного соединения и воды.

Одновременно в реакцию может вступить и углерод с образованием галогеноуглеводородных соединений, окиси углерода и углеводородов.

Галогенные циклы из-за высокой температуры внутри лампы и высокой реактивности галогенов обладают чрезвычайной чувствительностью к посторонним примесям. Возникающие различные переносные циклы имеют порой противоположные действия. Направление переноса вольфрама по температурному градиенту в сторону, как увеличения, так и уменьшения температуры, зависит от рода и состава газов, с которыми он реагирует.

Для организации эффективного вольфрамо-галогенного цикла могут использоваться такие галогены, как йод, бром, хлор, фтор. При этом особенностью проектирования таких ИС является не только обоснованный выбор того или иного галогена, но и определение его оптимальной концентрации. Она должна быть достаточной, чтобы не дать остановиться циклу, но и не слишком большой, чтобы не привести к разрушению более холодных участков металлических деталей лампы [5]. В настоящее время большинством изготовителей используются бромводородные соединения (например, бромформ $CHBr_3$, дибромметан CH_2Br_2 , метилбромид CH_3Br). Их использование более технологично и облегчает изготовление лампы, хотя агрессивность все же выше, чем у йода, и температура распада галогенидов настолько высока, что перенос вольфрама происходит вплотную к ТН.

При выборе давления наполняющего газа необходимо учитывать также условия эксплуатации тех или иных ламп. Лампы, предназначенные для работы в напряженном тепловом режиме, например, в герметизированных светильниках, а также лампы, имеющие тяжелый электрический режим, не следует доводить до давлений, превышающих атмосферное. Нарушение этого правила может вызвать недопустимый перегрев колбы.

Таким образом, выбор состава и давления наполняющей газовой смеси – задача многофакторная и сложная.

Проблемы и перспективы развития галогенных ламп накаливания

На сегодняшний день лидерами светотехнического рынка, в частности, по производству галогенных ламп, являются такие известные фирмы, как *OSRAM*, *PHILIPS*, *GENERAL ELECTRIC*, *SYLVANIA*, *NAVIGATOR*, *HELVAR*, *ERA*, *NARVA*.

Благодаря ряду преимуществ перед ЛН (малые габаритные размеры, стабильность светового потока в течение срока службы, возможность использования для различных целей) ГЛН применяются во многих областях деятельности человека. В то же время им присущ ряд таких недостатков, как низкая экономичность и некачественная сборка ламп. Поэтому задачи совершенствования характеристик ГЛН, обеспечение качества продукции при изготовлении и эксплуатации продолжают оставаться актуальными [1].

Перспективы развития ГЛН всех групп заключаются в повышении световой отдачи, продолжительности горения, уменьшении габаритных размеров, расширении номенклатуры. Повышение световой отдачи и продолжительности горения связано с оптимизацией конструкции ламп, улучшением свойств вольфрамовой проволоки, кварцевого стекла, повышения термостойкости и других параметров наполняющих и технологических газов.

Задачи исследований и разработки галогенных ламп накаливания

Технические, эксплуатационные и конструктивные параметры ГЛН тесно связаны со значениями физических параметров, обусловленных процессами переноса тепла и массы в колбе лампы. Как в вакуумных, так и в газополных лампах материал ТН под действием высокой температуры испаряется и переносится на внутреннюю поверхность колбы, в результате чего увеличивается дефектность ТН, а колба темнеет и поглощает свет. Наличие газового наполнения существенно снижает скорости переноса массы ТН и увеличивает срок службы ламп. Тепловые потери в газополных лампах обусловлены теплообменом ТН с газовой средой, состав и давление которой оказывают влияние на них, а также на скорость переноса массы ТН [4].

Основным физическим параметром ламп является температура ТН. С ее повышением световой поток растет быстрее, чем потребляемая мощность, и, следовательно, световая отдача увеличивается. Однако вместе с ростом температуры возрастает скорость испарения ТН, что отрицательно сказывается на сроке службы и изменении электрических и световых характеристик ламп. Поэтому при конструировании ИС необходимо стремиться к достижению оптимальных значений световой отдачи и срока службы.

При разработке экономичных вариантов ГЛН необходимо искать новые конструктивные решения с целью создания ламп с повышенной световой отдачей при таких же затратах мощности; находить эффективные составы наполняющих газовых смесей; минимизировать тепловые потери и скорость переноса материала ТН и т.д.

Однако большинство исследований по процессам переноса тепла и массы ТН относятся к обычным ЛН и практически нет систематизированных, обобщенных сведений по ГЛН, имеющих свои особенности. Можно даже говорить о практически полном отсутствии методов расчета ГЛН с учетом реальных процессов в их рабочем объеме.

Анализ имеющихся в литературе экспериментальных и теоретических результатов по процессам тепломассопереноса показывает, что в настоящее время отсутствуют в полной мере обоснованные рекомендации, позволяющие проводить корректную количественную оценку параметров слоя Ленгмюра, тепловых потерь в газе с учетом распределения температур в колбе, температуры внешней поверхности колбы, скорости и механизма

испарения ТН в ГЛН [1]. Имеющиеся патенты и авторские свидетельства о применении галогенных соединений во многих случаях не согласуются между собой и порой даже противоречивы. Работы, направленные на поиск новых галогенных соединений и их концентраций, базируются лишь на экспериментальных разработках и требуют больших затрат времени и ресурсов.

Изучение процессов переноса в ГЛН с учетом условий их реального протекания представляет значительные трудности. До сих пор не получено исчерпывающих сведений о распределении температуры, скорости и концентрации компонентов наполняющих газовых сред в лампах, о влиянии состава и давления газового наполнения на потери тепла и массы ТН. Таким образом, развитие работ по совершенствованию характеристик ГЛН и повышению их экономичности в значительной мере зависит от степени достоверности исследований процессов тепломассопереноса в лампе. Это в свою очередь обуславливает актуальность разработки адекватной математической модели процессов переноса тепла и массы сублимирующих частиц ТН в колбе лампы [4]. На основе этих исследований могут быть решены практические задачи создания более совершенных конструкций ГЛН и определения эффективных составов наполняющих их газовых смесей.

Особенностью ГЛН является наличие в их рабочем объеме круговых транспортных химических реакций, для организации которых необходимо стремиться к правильному выбору галогенной добавки и ее оптимальной концентрации, которая должна быть достаточной, чтобы не дать остановиться циклу, и не слишком большой, чтобы не привести к разрушению более холодных участков металлических деталей ламп.

Отметим также, что физико-химические процессы, происходящие в ГЛН, очень сложны, связаны с условиями термодинамического и термохимического равновесия и на сегодняшний день нет общепризнанного обобщающего изложения теории галогенных циклов, которые осложняются многочисленными газовыми выделениями из кварца, вольфрама и материалов других деталей ламп.

Разработка галогенных ламп накаливания на основе эмпирического подхода является сложной и трудоемкой задачей, успех которой во многом зависит от опыта и интуиции разработчика. Широкое применение ГЛН в разнообразных специальных установках и аппаратах требует разработки большого количества новых типов ламп с определенными, заранее заданными характеристиками. В этих условиях приобретает важное значение создание таких методов расчета, которые позволяли бы решать возникающие инженерные задачи достаточно быстро и с требуемой точностью. К числу наиболее важных из них относятся:

- выбор материала, определение формы и размеров конструктивных элементов лампы,

обеспечивающих поддержание требуемых условий работы;

- установление методов выбора оптимального соотношения характеристик источника в зависимости от требований и условий работы;
- определение изменения различных характеристик при вариации конструктивно-технологических параметров, условий эксплуатации;
- оценка предельных возможностей изменения основных параметров лампы с учетом реальных ограничений, накладываемых конструкцией источника и свойствами материала;
- оценка роли различных галогеносодержащих соединений в организации эффективного вольфрамо-галогенного цикла.

Вышеперечисленные аспекты являются далеко не единственными, возникающими при разработке и эксплуатации ГЛН и требующими количественной оценки. Поэтому, используя единый инженерный метод расчета ЛН, необходимо его скорректировать применительно к ГЛН, которые более критичны к тепловому режиму колб с точки зрения организации галогенного цикла.

При разработке различных типов ламп приходится учитывать весьма разнообразные и подчас противоречивые требования. Процессы, протекающие в ГЛН, сложны и многообразны, многие из них весьма сильно зависят от конструктивного исполнения лампы, материалов. В основу расчета модели ГЛН с учетом физико-химических процессов, протекающих в них, должен быть положен принцип составления и решения системы функциональных уравнений, устанавливающих связь между основными световыми, электрическими, энергетическими характеристиками, а также конструктивными параметрами ГЛН. В систему уравнений обязательно должно быть введено уравнение теплового баланса колбы, поскольку температура является одним из наиболее существенных параметров, определяющих режим работы лампы и ее срок службы [6].

При определении оптимальных вариантов ГЛН требуется учитывать физико-химические процессы, происходящие в них. Иногда очень сложно, а порой, невозможно получить расчетным путем значения некоторых величин, в частности, определяющих процессы тепломассопереноса в ГЛН, поэтому моделирование процессов целесообразно проводить с помощью ЭВМ, путем сочетания экспериментальной и расчетной работы [7].

Заключение

Хотя бурное развитие ГЛН пришлось на 70–90 гг. XX века, до сих пор продолжают работы по созданию новых и усовершенствованию серийных ламп, которые базируются на модернизации ТН, использовании отражателей, экранов, покрытий, разнообразных геттеров, поиске новых галогенных соединений и их концентраций и т.д. Во многом они основаны лишь на экспериментальных разработках, что требует больших затрат времени и

ресурсов. Таким образом, построение моделей процессов в ГЛН с привлечением современного программного обеспечения, расчетные и экспериментальные исследования галогенных ламп накаливания, их совершенствование и оптимизация являются насущной проблемой современной светотехники.

Список литературы

1. Байнева И. И. Галогенные лампы накаливания: монография. – Саранск: Изд-во Афанасьев В. С., 2013. – 176 с.
2. Байнева И. И. Исследование эффективности работы галогенных ламп накаливания / И. И. Байнева // Светотехника. – 2000. – № 5. – С. 23-26.
3. Байнева И. И. Метод расчета равновесия состояния сложных многокомпонентных систем / И. И. Байнева // Практическая силовая электроника. – 2001. – № 4. – С. 7-8.
4. Байнева И. И. Моделирование галогенных ламп накаливания / И. И. Байнева, В. В. Байнев // Прикладная информатика. – 2012. – №1(37). – С.91-101.
5. Байнева И. И. Моделирование термодинамической структуры вольфрамо-галогенного цикла в галогенных лампах накаливания / И. И. Байнева, В. В. Байнев // Сборник научных трудов Sworld по материалам международной научно-практической конференции. – Одесса, 2012. – Т.4, № 2. – С. 22-23.
6. Байнева И. И. Обзор современных галогенных ламп накаливания, задач и перспектив их развития // Справочник. Инженерный журнал с приложением. – 2014. – № 3 (204). – С. 44-50.
7. Байнева И. И., Байнев В. В. Программа для моделирования, исследования и проектирования галогенных ламп накаливания и технологического процесса их производства // Программа для ЭВМ РФ №2012610483. 2012.

Рецензенты:

Панфилов С.А., д.т.н., профессор, зав.кафедрой ТОЭ ФГБОУ ВПО «Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарева», г. Саранск.

Коваленко О.Ю., д.т.н., профессор кафедры ММО ФГБОУ ВПО «Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарева», г. Саранск.