

ОТЗЫВ

официального оппонента, доктора технических наук Товстоного Валерия Алексеевича на диссертационную работу Киреева Сергея Геннадьевича «**Разработка способов повышения эксплуатационных характеристик импульсного ксенонового источника -излучения для оптико-электронных систем обеззараживания**» на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.1 - «Вакуумная и плазменная электроника»

Диссертационная работа Киреева С.Г. посвящена проведению научных исследований плазменных процессов в газовом разряде, направленных на повышение надежности и эксплуатационных характеристик импульсного источника УФ - излучения, входящего в состав оптико - электронных систем обеззараживания (ОЭСО), с внедрением полученных результатов и разработанных рекомендаций в серийное производство установок дезинфекции воздуха и поверхностей.

Актуальность темы.

Современное развитие плазменной электроники неразрывно связано с повышением эксплуатационных характеристик газоразрядных приборов, в частности импульсных ламп с разрядом в инертных газах. Создание в ООО «НПП «Мелитта» инновационной оптико - плазменной технологии обеззараживания воздуха и поверхностей, основанной на использовании высокоинтенсивного УФ- излучения импульсного ксенонового разряда, существенно усилило значимость разработки новых и модернизации ранее разработанных газоразрядных ламп. Дополнительным стимулом для совершенствования импульсных источников УФ -излучения является доказанная в специализированных медицинских исследовательских центрах эффективность разработанной оптико - плазменной технологии в борьбе с коронавирусной инфекцией COVID-19. Сегодня значительное количество научных публикаций посвящено импульсным газоразрядным источникам накачки активных элементов твердотельных лазеров, в которых снижение эффективности и долговечности ламп связывается с падением прозрачности кварцевой оболочки в видимом и ближнем ИК диапазонах спектра. Исследований влияния этого процесса на КПД излучения ксенонового разряда в УФ-области спектра и на срок службы импульсной ксеноновой лампы до настоящего времени не проводилось. Поэтому сочетание экспериментального исследования и анализа результатов с использованием теоретических моделей позволяет добиться определенного прогресса в решении актуальных проблем выявления агрессивного воздействия газоразрядной плазмы на ограничивающую ее кварцевую оболочку и разработать практические методы, направленные на снижение указанного взаимодействия. Таким образом, реализуемые посредством описанной методологии цель и задачи диссертационного исследования Киреева С.Г. являются безусловно **актуальными**.

Научная новизна исследований и полученных результатов. Научная новизна полученных в диссертационной работе результатов связана с двумя важными факторами. Во-первых, отсутствием данных по спектральным и энергетическим параметрам из-

лучения импульсного ксенонового разряда в узком диапазоне длин волн 200-300 нм. Во-вторых, нехваткой результатов исследований влияния режимов эксплуатации на процессы деградации поверхности разрядной оболочки под воздействием высокотемпературной плазмы в режимах редких вспышек, приводящие к снижению КПД излучения в указанном диапазоне спектра и срока службы лампы. Исходя из этого можно отметить следующие важные научные достижения автора:

- разработан новый способ осесимметричного развития плазменного канала из вспомогательного разряда в отличие от известного последовательного или внешнего зажигания разряда,
- созданы методики регистрации излучения в спектральном диапазоне 200 – 300 нм, сформирована метрологическая и аппаратурная база измерения энергетической экспозиции УФ-излучения,
- установлены причины азимутальной неравномерности прозрачности кварцевой оболочки, ограничивающей ксеноновый разряд, и предложены способы снижения указанного явления,
- разработан способ инициирования разряда за счет введения в пространство между катодом и анодом дополнительного электрода зажигания,
- представлены полученные впервые результаты исследований влияния конструктивных характеристик лампы и параметров разрядного контура на КПД УФ-излучения и долговечность импульсной газоразрядной лампы.

Из неполного перечня полученных расчетных и экспериментальных результатов **научная новизна представленной диссертации очевидна.**

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации. Научные положения, вынесенные автором на защиту, обладают оригинальностью, конкретны и в достаточной степени обоснованы. Выводы и рекомендации, сформулированные в диссертации, а также личный вклад автора достаточно аргументированы и подтверждены результатами выполненных им исследований, согласуются с опубликованными работами по тематике газового разряда.

Достоверность полученных в диссертационной работе результатов, обеспечена применением автором надежных и многократно апробированных экспериментальных методик с использованием современных аттестованных средств измерений, соответствием полученных экспериментальных результатов литературным данным и в достаточной степени достоверности результатам теоретических расчетов.

Результаты диссертационных исследований Киреева С.Г. достаточно полно представлены в статьях рецензируемых журналов, доложены и обсуждены на международных и всероссийских конференциях.

Значимость для науки и практики полученных автором результатов. Представленные в диссертационной работе Киреева С.Г. результаты экспериментальных исследований, разработанные автором методики и расчетные модели представляют несомненный научный интерес, так как они позволяют:

- прояснить картину физических процессов, происходящих в плазмообразующей среде и ограничивающей разряд кварцевой оболочке,

- выделить доминирующие процессы, оказывающие влияние на характеристики УФ-излучения,
- найти связь КПД излучения и срока службы лампы с конструктивными параметрами импульсного газоразрядного источника УФ-излучения,
- в дальнейшем выполнить предварительные оценки эффективности новых разрабатываемых импульсных газоразрядных ламп на основе разряда в инертных газах.

Заложенные основы конструирования импульсного газоразрядного источника УФ-излучения, построенные на полученных результатах исследований характеристик ксенонового разряда, свойств кварца как материала оболочки, физико – химических процессов в элементах конструкции при изготовлении и эксплуатации, несомненно будут широко использованы при разработке различных плазменных приборов (лампы накачки лазеров, светосигнальные лампы, высокоинтенсивные источники света и т.д.) с кварцевой оболочкой.

Краткая характеристика основного содержания диссертации. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения и приложения (акты внедрения) и списка литературы.

Во введении приводится обоснование актуальности диссертационной работы, сформулирована цель и аргументирована научная новизна исследований, показана практическая значимость полученных результатов, представлены выносимые на защиту научные положения.

В первой главе приводится научный анализ современных достижений в области инициирования разряда. Подробно рассмотрены основные применяемые способы зажигания разряда: самопробой, внешнее и внутреннее зажигание, применение вспомогательного разряда, показаны основные недостатки и преимущества каждого из способов инициирования плазменного канала. Подробно анализируются механизмы распространения стримера, формирования сильноточной стадии основного разряда накопительного конденсатора, динамика развития ударной волны. Значительное место отведено обзору известных данных по зависимости КПД и долговечности ламп от условий эксплуатации, применяемых материалов и конструктивного исполнения импульсной лампы. Заканчивается глава постановкой задач исследований.

В начале второй главы диссертации автор приводит разработанную им систему уравнений, позволяющую сформулировать основные требования к импульсному источнику УФ-излучения, исходя из требований равномерности облученности обеззараживаемой поверхности.

Отсутствие способов регистрации импульсов УФ-излучения короткой длительности в узком спектральном диапазоне 200 – 300 нм потребовало от автора выполнить разработку сложной методики измерения энергетической экспозиции, основанной на фотометрических и спектрометрических исследованиях импульсного ксенонового разряда. Другой важной особенностью данной главы является создание универсального источника питания импульсного УФ источника, позволяющего оценивать энергетические потери как в разрядном контуре, так и самой лампе.

Третья глава посвящена экспериментальному исследованию процессов, определяющих параметры долговечности импульсных газоразрядных ламп в УФ-области спектра. В начале главы по разработанной методике автором обнаружено явление азимутальной неравномерности оптического пропускания разрядной оболочки лампы в течение срока службы. Проведенные исследования спектрального распределения энергии излучения с последовательным инициированием разряда, выявленные зависимости относительной энергии излучения в диапазоне 200-300 нм и снижение относительной энергии излучения в различных спектральных диапазонах в течение времени наработки импульсной ксеноновой лампы позволили установить причину преимущественного развития плазменного канала вдоль части стенки, расположенной в непосредственной близости от плоскости установки и устранить причину данного явления введением вспомогательного разряда.

В третьей главе представлен полученный автором обширный экспериментальный материал по ресурсным испытаниям экспериментальной лампы в схеме питания с дежурной дугой и при отсутствии вспомогательного разряда, энергоэффективные характеристики и долговечность импульсной трубчатой лампы при переменных индуктивности и сопротивлении разрядного контура, прослеживается динамика снижения энергии излучения с наработкой в различных электрических цепях. Завершающий раздел посвящен разработке методики и проведению по ней расчета термодинамических параметров плазмы импульсной газоразрядной лампы.

В четвертой главе основное внимание уделено конструкторским исследованиям, направленным на повышение долговечности газоразрядных ламп. В качестве оригинального технического решения следует отметить предложенную автором конструкцию газоразрядной лампы с расположенной внутри кварцевой оболочки сапфировой трубки, которая предотвращает воздействие разряда на кварц и, тем самым исключает процессы деградации его поверхности. Такой вариант конструкции существенно повышает срок службы импульсных ламп различных типов.

Автором проведена оптимизация разрядного объема импульсной лампы и показано увеличение долговечности за счет снижения диаметра плазменного канала, приводящего к росту начального значения энергетической экспозиции УФ-излучения.

Значительная часть четвертой главы уделена экспериментальному исследованию радиационных и электротехнических характеристик газоразрядных ламп со свободно расширяющимся плазменным каналом. В данном разделе автором предложен способ инициирования разряда подачей высоковольтного импульса зажигания на третий электрод, расположенный в середине разрядного промежутка. Предложенный вариант зажигания позволяет повысить КПД излучения до 5,4 % в спектральном диапазоне 250-290 нм при заряде рабочей емкости 2 мкФ до напряжения 1 кВ.

Пятая глава посвящена практической реализации полученных результатов и изучению особенностей работы газоразрядной лампы в составе ОЭСО. Особо необходимо выделить предложенную автором расчетную модель, которая, исходя из характеристик импульсного источника УФ-излучения, позволяет определить время обеззараживания и минимальное количество облучателей для достижения требуемой эффективности при

заданной временной экспозиции. В главе приведены результаты исследования активности импульсного излучения в отношении различных микроорганизмов и испытаний импульсных источников УФ-излучения в составе оптико – электронных систем обеззараживания в рамках космической программы «Экзомарс».

В заключении автором сформулированы основные результаты и выводы диссертации, а в приложении приведены список научных трудов с обоснованием личного участия и акты внедрения полученных результатов в разработках других предприятий.

Список цитируемых источников демонстрирует глубокую проработку диссертационного материала. Автором принят во внимание необходимый набор научных работ широкого временного интервала от классических и не потерявших актуальности старых публикаций до последних статей современных ученых.

Представленный диссертантом автореферат достаточно полно характеризует содержание проведенных исследований, соответствует основному содержанию диссертации и п. 25 Положения о присуждении ученых степеней.

По диссертационной работе следует отметить **следующие замечания:**

1. Диссертационная работа посвящена вопросам повышения эксплуатационных характеристик импульсных источников УФ излучения на основе разряда в ксеноне. Из работ Басова Ю.Г. известно, что введение в состав ксеноновой плазмообразующей среды незначительных добавок других инертных газов (неон, криптон) способствует увеличению интенсивности излучения разряда в УФ области спектра. Однако изучение данного вопроса в диссертации не проводилось.

2. В списке литературы ссылки на некоторые статьи повторяются дважды, например, п.28 и п.96 на публикацию Никифорова В.Г. или п.100 и п.107 на научную работу Камрукова А.С. с соавторами.

3. В тексте автореферата и диссертации содержатся неудачные речевые обороты, типа «оптическая деградация», «излучательная наработка» и т.д.

Указанные недостатки не являются определяющими и не влияют на **положительную оценку диссертационной работы** в целом.

Квалификационная оценка диссертации. Ознакомившись с текстом диссертации и автореферата можно сделать **следующие выводы:**

1. Диссертация Киреева С.Г. на тему «Разработка способов повышения эксплуатационных характеристик импульсного ксенонового источника УФ-излучения для оптико-электронных систем обеззараживания» является завершенной научно – квалификационной работой, выполненной на высоком научном уровне и полностью соответствующей паспорту специальности 2.2.1 «Вакуумная и плазменная электроника».

2. Все полученные в работе результаты являются достоверными, а используемые методы исследования обоснованными.

3. Цели и задачи диссертационного исследования полностью соответствуют полученным результатам.

4. Личный вклад автора в публикациях является значительным и обоснован в приложении к диссертации.

5. Содержание автореферата полностью соответствует и точно отражает изложенный текст в диссертации.

6. Сформулированные научные положения, выводы и полученные результаты многократно обсуждались на Всероссийских и международных конференциях с участием ведущих специалистов в области материаловедения и плазменной электроники.

7. Основные научные идеи и выводы диссертации отражены в ведущих отечественных и зарубежных журналах.

8. Актуальность избранной темы очевидна и подтверждена актами внедрения разработанных технических решений в опытное производство ООО «НПП «Мелитта», использования полученных результатов в разработках научно-производственного центра «Лазеры и аппаратура ТМ» (г. Москва), ОКБ «Булат» (г. Москва), предприятия «МЭЛЗ ФЭУ».

9. Диссертация соответствует требованиям пункта 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного Постановлением правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. за №842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук, а автор Киреев С.Г. достоин присуждения искомой степени по специальности 2.2.1 - «Вакуумная и плазменная электроника».

Официальный оппонент

Товстоног Валерий Алексеевич,

доктор технических наук,

старший научный сотрудник,

Заместитель главного редактора журнала

«Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана»

« 29 » 04 2022 г.

Подпись Товстонога В.А. заверяю



ЗАВЕРЯЮ

КА УПРАВЛЕНИЯ КАДРОВ

239-60-46

_____ / _____ /