

С.В. Гавриш, Д.Н. Кугушев, Д.Ю. Пугачев

(г. Москва ООО «НПП «Мелитта»)

В.М. Градов (г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана)

МОДЕЛИРОВАНИЕ ИМПУЛЬСНЫХ КСЕНОНОВЫХ РАЗРЯДОВ С ШИРОКОДИАПАЗОННЫМ СПЕКТРАЛЬНЫМ СОСТАВОМ ИЗЛУЧЕНИЯ

**SIMULATION OF POWERFUL PULSE XENON DISCHARGES
WITH A WIDE-RANGE SPECTRAL COMPOSITION OF THE RADIATION**

Разработана математическая модель стабилизированного стенкой импульсного ксенонового разряда в составе внешней электрической цепи. В результате реализации математической модели получены данные по распределению энергии излучения импульсной ксеноновой лампы в различных спектральных интервалах. Выполнено сопоставление полученных расчетных данных с результатами экспериментальных спектрометрических исследований.

A mathematical model of a wall-stabilized pulsed xenon discharge as part of an external electrical circuit has been developed. As a result of the implementation of the mathematical model, data were obtained on the distribution of the radiation energy of a pulsed xenon lamp in different spectral intervals. Comparison of the calculated data obtained with the results of experimental spectrometric studies has been performed.

Ключевые слова: математическая модель, импульсный разряд, ксеноновая плазма, спектральное распределение излучения.

Keywords: mathematical model, pulsed discharge, xenon plasma, spectral distribution of radiation.

При создании оптико – электронных систем, построенных на использовании излучения импульсного газового разряда в инертных газах, возникает проблема оптимизации параметров газоразрядной лампы. В результате перед плазменной электроникой встает многофакторная задача поиска компромисса между конструктивными параметрами источника излучения, режимами работы в электрической цепи и условиями его эксплуатации. Экспериментально реализовать такую цель, возможно только сузив область поиска оптимального решения посредством использования математического моделирования.

Целью настоящей работы является разработка нестационарной математической модели и расчет параметров импульсного ксенонового разряда совместно с теплонапряженным состоянием ограничивающей плазменный канал кварцевой оболочки.

В результате действия ряда факторов в пристеночной зоне разряда

наблюдается отрыв температур электронов и тяжелых частиц, и как следствие, отклонение ионизационного равновесия от равновесия по Саха. Выполненная нами оценка потока энергии, выносимого диффузией заряженных частиц к стенке, не превышает 5% от общего теплового потока на стенку. Это свидетельствует о слабом влиянии эффектов неравновесности в пристеночной зоне на энергетический баланс импульсного ксенонового разряда. Поэтому физические процессы в таком разряде протекают в условиях, близких к локальному термодинамическому равновесию (ЛТР), что значительно упрощает построение математической модели.

Предложенная нами система математических выражений включает в себя уравнения энергии плазменного столба, переноса излучения, закон Ома, сохранения массы в разрядном объеме, уравнение электрической цепи и теплопроводности поглощающей – излучающей стенки кварцевой оболочки. В предлагаемой модели перенос излучения в плазмообразующей среде учитывается в диффузном приближении [1].

Для реализации математической модели нами была сформирована база материальных функций плазмообразующей ксеноновой среды. Коэффициент поглощения плазмы рассчитывался с учетом процессов, определяющих непрерывный и дискретный спектр. В качестве примера на рис. 1 представлен расчетный коэффициент поглощения при давлении ксенона 15атм. и цветовой температуре 8000К.

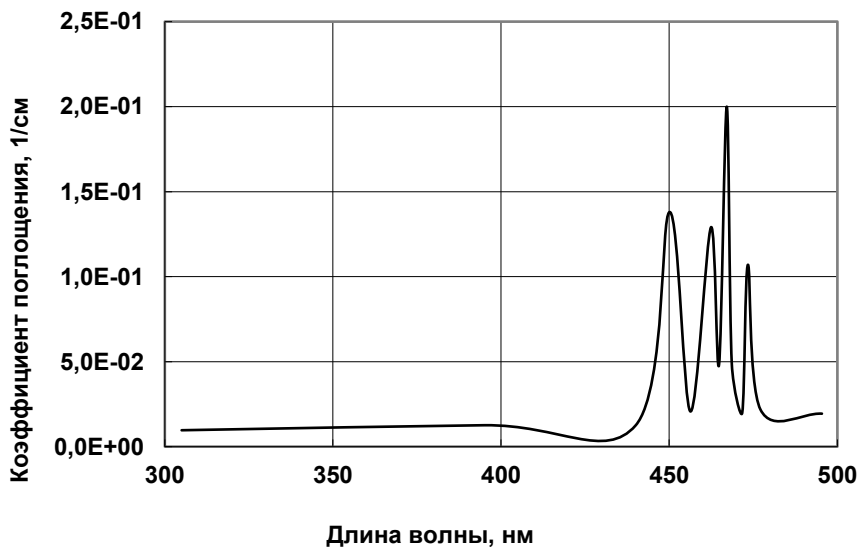


Рис.1. Расчетный коэффициент поглощения ксеноновой плазмы в ультрафиолетовой области спектра

Коэффициент электропроводности нами вычислялся в зависимости от электрон - атомного и электрон – ионного взаимодействия. Расчетные данные по электропроводности сопоставлялись с имеющимися экспериментальными результатами. Коэффициент теплопроводности определялся с учетом атомной, электронной и химической составляющих.

В результате реализации математической модели нами проведено изучение влияния геометрических параметров разрядного столба, давления ксенона и параметров разрядного контура на выход излучения в диапазоне длин волн от 0,24 до 1,5 мкм.

На рис. 2 в качестве примера приведен расчетный спектр излучения разряда в ксеноновой плазмообразующей среде.

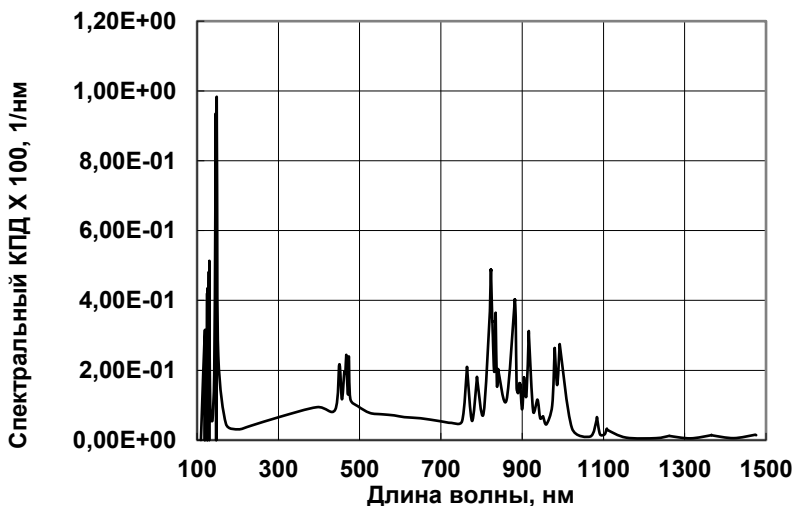


Рис. 2. Спектральное распределение КПД излучения импульсного разряда в ксеноновой плазме

Приведенные на рис. 2 и 3 расчетные данные нами получены для импульсного ксенонового разряда с диаметром плазменного канала 5 мм, при давлении ксенона в холодном состоянии $P_0=108$ мм рт. ст. Предполагалось, что лампа работала в разрядном контуре с продольным градиентом потенциала $E=30$ В/см и удельной мощности разряда $\langle w \rangle = 0,3 \cdot 10^5$ Вт/см³. В таких условиях эксплуатации расчеты показали, что средний ток разряда достигает $I=200$ А, осевая температура разряда (рис. 3) примерно равна 11500К, а пиковая сила излучения, например, в спектральном диапазоне $\Delta\lambda = 250-450$ нм составляет 617 Вт/см².

Из анализа рис. 2 следует, что полученные нами расчетные данные подтверждают перспективность использования импульсного ксенонового разряда в качестве источника мощного УФ излучения в диапазоне длин волн

200-300 нм [2] и источника накачки лазеров на АИГ: Nd^{+3} в спектральном диапазоне 700-950 нм [3].

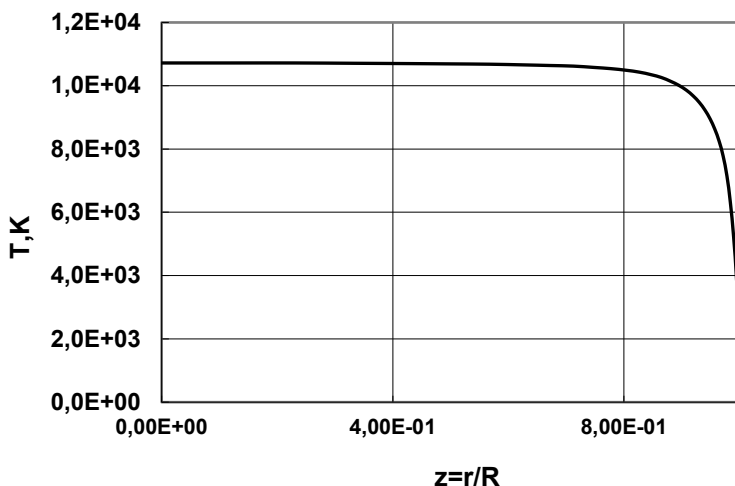


Рис. 3. Температурное поле в разряде в максимуме тока.
 r - текущий радиус, R - радиус разрядной трубки

В данной работе рассмотрены первые результаты исследования импульсного ксенонового разряда короткой длительности. Для полного понимания радиационных и теплофизических процессов требуется решить комплекс задач по экспериментальному определению заселенностей возбужденных состояний, концентрации атомов, электронов и ионов и др. Одновременно, можно сделать вывод, что предложенная математическая модель с достаточной точностью позволяет определить основные электрические характеристики и параметры излучения импульсного ксенонового разряда, ограниченного кварцевой оболочкой.

Список литературы

1. Градов, В.М. Разработка методов расчета и исследования радиационных процессов в системах с разрядными источниками селективного излучения: специальность 01. 04. 14 «Теплофизика и теоретическая теплотехника»: автореф. дис. на соискание ученой степени д-ра техн. наук / Градов Владимир Михайлович; МГТУ им. Н. Э. Баумана. – М., 2002. – 32 с.
2. Гавриш, С.В. Ультрафиолетовое излучение импульсно – периодических разрядов в инертных газах / С.В. Гавриш, В.М. Градов, С.С. Коробков, Д.Ю. Пугачев // Прикладная физика. – 2017. –№6.- С. 18 – 23.
3. Маршак, И.С. Импульсные источники света./ И.С. Маршак, А.С. Дойников, В.П. Жильцов и др. –Изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: Энергия, 1978.– 472 с.

Материал поступил в редколлегию 07.10.20.