

# Методика оценки эффективности возбуждения активной среды гелий-неонового лазера

А. С. Киселев<sup>1</sup>, Е. А. Смирнов<sup>2</sup>

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)

<sup>1</sup>askiselev@etu.ru, <sup>2</sup>as633@yandex.ru

**Аннотация.** В работе приводится методика оценки эффективности возбуждения активной среды гелий-неонового лазера. Основной методикой является предположение, что границы зоны возбуждения гелия в плазме тлеющего разряда являются известными величинами, а функция распределения электронов по энергиям (ФРЭ) максвелловская. Для визуализации процесса разработана программа, которая строит в общем масштабе ФРЭ и диаграмму энергетических уровней гелия и неона.

**Ключевые слова:** гелий-неоновый лазер; электронная температура; электронный КПД

## I. ВВЕДЕНИЕ

Любой лазер, вне зависимости от типа его активной среды и способа накачки, может быть представлен в виде трех основных составляющих: источника накачки, активной среды и оптического резонатора. В соответствии с этим общий КПД лазера может быть найден как

$$\eta_0 = \eta_{\text{нак}} \eta_{\text{АС}} \eta_{\text{ОР}},$$

где  $\eta_{\text{нак}}$  – КПД накачки, определяющий долю мощности накачки, затраченную на возбуждение активной среды (АС);  $\eta_{\text{АС}}$  – КПД активной среды, показывающий, какая доля мощности возбуждения активной среды преобразовывается в излучение когерентных квантов;  $\eta_{\text{ОР}}$  – КПД оптического резонатора, устанавливающий соотношение между выходной мощностью излучения лазера и мощностью излучения когерентных квантов, покидающих резонатор. Отдельные составляющие полного КПД определяются типом активной среды и используемой системой накачки [1].

Активной зоной газоразрядного лазера (ГРЛ) является участок положительного столба, соосный с оптическим резонатором. В некоторых конструкциях ГРЛ приэлектродные зоны не участвуют в усилении излучения. Энергия возбуждения передается излучающим частицам при столкновениях с электронами ПС. Как и в случае ТТЛ, мощность, передаваемая от электронов ПС активной среде, делится на две составляющие. Первая – мощность возбуждения АС, трансформируемая далее в излучение когерентных квантов, вторая – пороговая мощность возбуждения АС, расходуемая на компенсацию всех видов

потерь в оптическом резонаторе. Полный КПД газоразрядного лазера определяется как

$$\eta_0 = \eta_{\text{эл}} \eta_{\text{геом}} \eta_{\text{е}} \eta_{\text{АС}} \eta_{\text{ОР}}.$$

Оценка эффективности возбуждения активной среды описывается так называемым электронным КПД  $\eta_{\text{е}}$ . Для его расчета необходимо знать механизм передачи энергии от электронов к рабочему газу.

## II. ОПИСАНИЕ МЕТОДИКИ

Во многих газоразрядных лазерах, в том числе и гелий-неоновых, передача энергии основному излучающему газу происходит через взаимодействие с буферным газом, имеющим большое значение сечения возбуждения при столкновениях с электронами. В таких случаях КПД электронной накачки находят из отношения энергии электронов, участвующих в возбуждении атомов АС, к полной энергии электронов положительного столба:

$$\eta_{\text{е}} = \frac{\int_{eU_1}^{eU_2} f_e(eU) dU}{\int_0^{\infty} f_e(eU) dU}, \quad (1)$$

где  $eU_1$ ,  $eU_2$  – энергии электронов, соответствующие нижней и верхней границам зоны возбуждения активных газовых сред, определяемых структурой энергетических уровней атома;  $e$  – заряд электрона,  $f_e$  – функция распределения электронов по энергиям.

Для определенности распределение электронов по энергиям можно полагать максвелловским. Тогда на основании выражения (1) для электронного КПД получим

$$\eta_{\text{е}} = \frac{eU_1 + eU_2}{2kT_e} \left[ \exp\left(-\frac{eU_2}{kT_e}\right) - \exp\left(-\frac{eU_1}{kT_e}\right) \right], \quad (2)$$

$k$  – постоянная Больцмана;  $T_e$  – электронная температура [2].

На основе предложенной методики была разработана программа на языке программирования С#. Исходными данными для расчетов являются диаметр разрядной трубки лазера, суммарное давление газовой смеси, а также

соотношение парциальных давлений гелия и неона. Эти данные вводятся в специальные поля перед началом расчета.

Для определения электронного КПД необходимо знать температуру электронов в лазере. При известных условиях разряда (геометрии промежутка и составе газовой смеси) задача нахождения  $T_e$  сводится к решению трансцендентного уравнения баланса ионизации [3]. При этом полагается, что нейтрализация ионов происходит в результате процесса амбиполярной диффузии электронов и ионов к стенке трубки лазера [4].

После нахождения производится расчет электронного КПД по выражению (2). Результаты расчета выводятся в специальном поле программы. На основании результата расчета электронной температуры строится график функции распределения электронов по энергиям (функции Максвелла). Рядом с графиком функции распределения отображается диаграмма энергетических уровней гелия и неона, имеющих отношение к работе лазера. Энергетическая диаграмма имеет общую с функцией распределения ось энергии. На левом графике штрихуется область между энергиями, соответствующими значениям  $eU_1$ ,  $eU_2$ . Эта область показывает долю электронов, участвующих в возбуждении активной среды. Далее можно сопоставить эту область с уровнями возбуждения гелия.

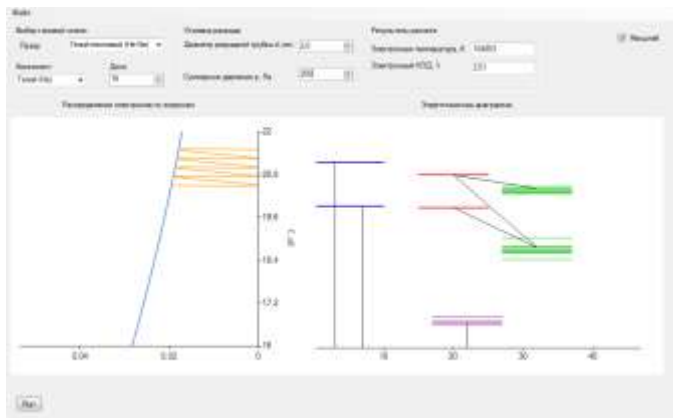


Рис. 1. Окно разработанной программы

Энергия возбуждения гелия имеет значение порядка 20 эВ, а максимум функции распределения для условий, соответствующих плазме гелий-неонового лазера, составляет 8...9 эВ. Поэтому для более наглядного отображения графиков предусмотрена функция смены масштаба по оси энергии.

### III. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе была разработана методика, позволяющая производить расчет эффективности возбуждения активной среды гелий-неоновых лазеров (электронного КПД). Методика позволяет производить расчет для известной геометрии лазера, и наполнения его газоразрядного промежутка. На основе предложенной методики была разработана программа, позволяющая помимо расчета электронного КПД наглядно отображать факторы, определяющие его численное значение: в совмещенном масштабе строится функция распределения электронов по энергиям, и диаграмма энергетических уровней лазера.

Разработанная методика подходит также для других видов газоразрядных лазеров. При этом необходимыми условиями использования методики являются знание механизмов возбуждения частиц, и энергетической диаграммы конкретного лазера. Полученные результаты имеют практическую ценность, и будут внедрены в учебный процесс кафедры Электронных приборов и устройств.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Пихтин А.Н. Квантовая и оптическая электроника. М.: Абрис, 2012. 656 с.
- [2] Смирнов Е.А., Черниговский В.В. Автоматизированный расчет и проектирование приборов квантовой электроники: Учеб. пособие. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2005. 96 с.
- [3] Грановский В.Л. Электрический ток в газе. М.: Издательство «Наука», 1971. 490 с.
- [4] Киселев А.С., Смирнов Е.А. Методика расчета параметров плазмы лазеров тлеющего разряда // Вакуумная техника и технология. 2014. Т. 24, № 1, С. 56-59.