

1. Волоконно-оптические линии связи [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://studentopedia.ru/tehnika/vvedenie---volokonno-opticheskie-linii-svyazi-2.html>. – Дата доступа: 06.11.2023.
2. Системы связи и сети передачи информации [Электронный ресурс] : курс лекций для спец.: 1-31 04 01 Физика (по направлениям) / [авт.-сост. Е. А. Краснобаев]; М-во образования РБ, УО "ВГУ им. П. М. Машерова", Каф. инженерной физики. – Электрон. текстовые дан. (1 файл: 3 Мб). — Витебск., 2012. – Режим доступа: [www.lib.vsu.by](http://www.lib.vsu.by). – Загл. с экрана.
3. Построение волоконно-оптической линии связи [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://studwood.net/2171314/tehnika/vvedenie>. – Дата доступа: 06.09.2023.
4. Диаметр модового пятна [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://vols.expert/faq/chto-za-parametr-modovoe-pole-i-na-chto-ono-vliyaet/>. – Дата доступа: 06.11.2023.
5. Регенерационный участок ВОЛС [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://vols.expert/faq/regeneracionnyj-uchastok-vols/>. – Дата доступа: 06.11.2023.

## **ОБЗОР РЯДА СУЩЕСТВУЮЩИХ ПАКЕТОВ ПРИКЛАДНЫХ ПРОГРАММ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ СИЛЬНОТОЧНЫХ ЭЛЕКТРОННО-ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

***Сковородко М.А.,***

*ПГУ имени Евфросинии Полоцкой, г. Новополоцк, Республика Беларусь  
Научный руководитель – Антонович Д.А., канд. техн. наук, доцент*

Ключевые слова. Пакеты прикладных программ, электронно-оптические системы, плазменные источники электронов.

Key words. Application packages, electron-optical systems, plasma electron sources.

Программное обеспечение для численного моделирования пучков заряженных частиц и электронно-оптических систем непрерывно развивается и совершенствуется. Существует ряд прикладных программ, с помощью которых осуществляется расчет и моделирование процессов в электронно-оптических системах. Каждый из них имеет свои особенности и возможности, выбор конкретного пакета зависит от конкретных требований.

**Материал и методы.** Методологическую базу данной статьи составляет литература научно-исследовательских трудов.

**Результаты и их обсуждение.** Пакеты прикладных программ (ППП) условно можно разделить на три группы: ППП для моделирования и расчета *слаботочных* электронно-оптических систем (ЭОС), *сильноточных* и *сильноточных с учетом дополнительных физических данных*.

Идеей программ первой группы, рассчитывающих слаботочные пучки, является распределение по скоростям и углам вылета термоэлектронов.

К программам второй группы относятся программные пакеты, рассчитывающие сильноточные пучки. Сильноточными считаются те, у которых учитывается собственный объемный заряд и суммарное поле таких пучков зависит от собственного электрического и магнитного поля потока частиц. Объемный заряд характеризуется таким параметром, как первеанс (отношение силы тока к ускоряющему потенциалу в степени трех вторых) [1].

Примерами программ, описывающие сильноточные пучки выступают следующие:

– **Mafia** (США, Германия) – предоставляет инструменты для моделирования и анализа различных типов плазменных источников, включая генераторы источников электронов и пучковых ускорителей. Mafia использует методы конечных разностей. Рассчитывает энергетическое распределение электронов, поток частиц описывается с помощью модели больших частиц [2].

– **CEM** (Computational Electromagnetics) (США) – используется для анализа электромагнитных полей и взаимодействия электронов с плазмой. CEM рассчитывает электрические поля и потоки заряженных частиц аналогичными методами из ППП «Mafia».

– **Karat** (США, Россия) – используется для анализа и оптимизации параметров плазменных источников, таких как энергия электронов, поток и форма пучка. Karat, также как и вышеперечисленные программы, рассчитывает энергетическое распределение электронов, поток и форму пучка аналогичными методами [3].

– **Tau** (Россия) – использует методы интегральных уравнений и эмиссия частиц задается с термо- или фотокатода [4].

– **Magic** (США) – основано на методе конечных элементов и предоставляет возможность моделирования различных параметров плазменного источника, таких как температура, плотность, поток энергии. Принцип расчета плазменных источников в программном обеспечении Magic включает следующие шаги:

1. Определение геометрии и размеров плазменного источника (включает в себя определение формы и размеров источника, а также расположение электродов и других компонентов).

2. Задание граничных условий (граничные условия определяют внешние условия, влияющие на плазменный источник, такие как температура окружающей среды или поток газа).

3. Задание физических параметров плазмы (включает в себя определение температуры, плотности, потока энергии и других характеристик плазмы внутри источника).

4. Расчет электродинамических полей (программа Magic решает уравнения Максвелла для определения электродинамических полей внутри плазменного источника).

5. Расчет термодинамических параметров (на основе электродинамических полей и физических параметров плазмы, программа Magic рассчитывает термодинамические параметры, такие как температура, плотность и поток энергии).

6. Анализ результатов (после расчета программой Magic можно проанализировать полученные результаты, такие как распределение температуры или плотности внутри плазменного источника).

Таким образом, программное обеспечение Magic предоставляет широкий набор инструментов и функций для детального анализа и оптимизации плазменных источников. Оно позволяет моделировать различные конфигурации и условия работы источников, а также проводить сравнительный анализ различных вариантов для достижения наилучших результатов [5].

– **Poisson** (Россия, США) – программное обеспечение, применяющееся при моделировании потока частиц. Использует метод интегральных уравнений при расчете электромагнитных полей. Поток частиц описывается с помощью модели недеформируемых трубок тока. Эмиссия производится в режиме ограничения тока.

Одна из основных возможностей Poisson в расчете потока частиц – это возможность моделировать различные интенсивности потока в разных областях пространства. Интенсивность потока определяет вероятность нахождения точки (частицы) в данной области.

Другой возможностью Poisson является возможность моделирования случайных временных интервалов между появлениями частиц. Это позволяет учесть случайность и непостоянность потока частиц.

Poisson также предоставляет возможность моделирования взаимодействия между частицами. Например, можно определить радиус взаимодействия между частицами и учесть его влияние на распределение частиц в пространстве [6].

– **Эра** (Россия) – для расчета полей использует метод конечных разностей или объемов. Для описания потока частиц использует модель недеформируемых трубок [7].

– **BeamCAD** (Россия) – расчет полей и потока частиц производится аналогичными методами с ППП «Эра».

В целом, все перечисленные программные пакеты представляют мощный инструмент для моделирования сильноточных пучков с учетом различных параметров и условий. Однако данные пакеты не учитывают процессов, являющихся значимыми при расчете электронно-оптических систем с подвижными плазменными границами (вторичную эмиссию, процессы ионизации и перезарядки). Для этого с помощью добавления новых алгоритмов в расчетные блоки моделей программ второй группы, получают программы третьей группы, описывающие сильноточные пучки с учетом дополнительных физических данных.

**Заключение.** Алгоритмы программных пакетов для моделирования электронно-оптических систем могут быть дополнены в соответствии с поставленными задачами исследования, тем самым расширив их применение в различных областях науки и техники.

1. Алямовский, И.В. Электронные пучки и электронные пушки / И.В. Алямовский. – М.: Сов. радио, 1966.
2. The 3-D MAFIA Group of Electromagnetic Codes / Ebeling F. [et al.] // IEEE Trans. Magn. – 1989. – Vol. 25, №4. – P. 2962–3064.
3. Астрелин, В.Т. Пакет программ для расчета характеристик интенсивных пучков релятивистских заряженных частиц / В.Т. Астрелин, В.Я. Иванов // Автометрия. – 1980. – № 3. – С. 5–12.
4. Tregubov, V.F. Program package TAU. Structure and applications for electron device simulation. / V.F. Tregubov, A.V. Tregubov // Proceedings of the 7-th International conference on electron beam technologies. – 2003. – Varna, Bulgaria. – P.39–41.
5. MAGIC user's manual / Goplen B. [et al.] // Mission Res. Corp. Nevington VA. Rep. MRC/WDC-R-184, Sept. 1988.
6. Иванов, В.Я. Методы автоматизированного проектирования приборов электроники. Ч.II. Методы математического моделирования задач электронной оптики / В.Я. Иванов; под ред. С.К. Годунова. – Новосибирск, 1986. – 219 с. – (Ротапринт Института матем. СО АН СССР).
7. Свешников, В.М. Решение задачи оптимизации интенсивных пучков заряженных частиц в ППП ЭРА / В.М. Свешников // Технология моделирования задач математической физики. – Новосибирск: ВЦ СО АН СССР. – 1989. – С. 134–141.