

7. Григорьев Ю. Г. Алгоритмы радиобиологии. Атомная радиация, космос, звук, радиочастоты, мобильная связь. Очерки / Ю. Г. Григорьев. Москва: Экономика, 2015. 263 с.

УДК: 621.387.143.012.6:004.896

Анахов С. В., Матушкин А. В., Матушкина И. Ю.

**ПРИМЕНЕНИЕ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ ПРОГРАММ ДЛЯ
РЕШЕНИЯ ГАЗОДИНАМИЧЕСКИХ ЗАДАЧ ПРИ
ПРОЕКТИРОВАНИИ ПЛАЗМОТРОНОВ**

Сергей Вадимович Анахов

sergej.anahov@rsvpu.ru

*ФГАОУ ВО «Российский государственный профессионально-педагогический
университет», Россия, г. Екатеринбург,*

Анатолий Владимирович Матушкин

Ирина Юрьевна Матушкина

227433@e1.ru

*ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет», Россия,
г. Екатеринбург*

**APPLICATION OF SPECIALIZED SOFTWARE FOR GAS-DYNAMIC
PROBLEMS SOLUTION IN THE DESIGN OF PLASMA TORCHES**

Sergey Vadimovitch Anakhov

Russian State Vocational Pedagogical University, Russia, Yekaterinburg

Anatoliy Vladimirovitch Matushkin

Irina Yurievna Matushkina

Ural Federal University, Russia, Yekaterinburg

Аннотация. Обсуждена целесообразность применения специализированных программ для исследования процессов и проектирования плазмотронов

нов. В качестве примера рассмотрена работа программного пакета EFD.lab при проектировании плазмотронов для резки металлов. Представлены результаты автоматизированного проектирования в электроплазменных технологиях.

Abstract. Discussed the feasibility of applying specialized software for the study of processes and design of plasma torches. As an example, the work of the software package EFD.lab in the design of plasma torches for cutting metals is presented. Also presents the results of computer-aided design in electroplating technologies.

Ключевые слова: плазмотрон, автоматизация, проектирование, эффективность, модель.

Keywords: plasmatron, automation, designing, efficiency, model.

Характерной особенностью последних лет является увеличение доли машинных экспериментов в научных исследованиях, основанных на применении специализированного программного обеспечения для решения различных задач. Ни для кого не секрет, что применение программных исследовательских пакетов позволяет повысить не только точность выполняемых расчетов, но и заметно сократить время их проведения. Это, в свою очередь, даёт возможность за время исследования проверить множество различных вариантов решения поставленной задачи и при проведении практической части исследований использовать наиболее качественные результаты теоретического анализа.

В данной статье мы поговорим о необходимости применения таких программных продуктов при решении задач, связанных с проектированием плазменных устройств различного назначения. Плазмотрон является довольно сложным техническим устройством, при проектировании которого необходимо учитывать множество нюансов, так как в процессе его работы в плазменном потоке идет огромное количество разнообразных процессов при температурах в несколько тысяч или десятков тысяч градусов. Для управле-

ния данной энергией требуется сконструировать устройство, которое будет не только подавать газа в сопловой узел плазмотрона, где под воздействием энергии электрической дуги и ее взаимодействием с данным потоком формируется поток плазмы, но и организовывать газовый плазменный поток для создания условий для эффективной и безопасной работы плазмотрона. Физика и методы описания таких процессов, в целом, известны, однако специфика решаемых задач заставляет исследователей учитывать параметрические и геометрические особенности конкретных плазменных технологий. В результате возникает необходимость искать решения систем дифференциальных уравнений, описывающих газодинамические, теплофизические, электродинамические, диффузионные процессы в плазмотроне. Аналитических решений, ввиду сложности задач, как правило, не существует, что заставляет исследователей прибегать к автоматизированным (машинным) методам решения. Современные возможности позволяют избавить исследователя от рутинных процедур программирования за счет использования пакетов специализированных программ.

Алгоритм применения машинных средств в процедурах проектирования электроплазменных технологий, в целом, рассмотрен в [1]. В процессе формирования аналитической модели при проектировании неизбежно исключение малозначимых деталей и элементов, а также редукция размерностей концептуальной модели. Конечный результат формирования такой модели зависит от типа анализа и необходимой точности решения. Сформированная аналитическая модель далее подвергается параметрическому и геометрическому анализу с использованием программных средств системы автоматизированного расчета и конструирования САЕ (computer-aided engineering) – технологии, предназначенной для анализа результатов геометрического (CAD) проектирования. В настоящее время разработано и применяется большое количество программных средств САЕ, среди которых, применительно к процедурам проектирования электроплазменного оборудования, часто используются системы полнофункционального инженерного ана-

лиза – ANSYS/Multyphysics, T-FLEX, AI*NASTRAN и MSC.NASTRAN. Менее мощными средствами анализа обладают системы, встроенные в САПР, но не имеющие мощных расчетных возможностей: например, встроенный в собственную CAD-систему COSMOS/FloWorks для SolidWorks или считывающий геометрию из CAD - visualNastran. Как правило, эти программы используют метод конечных элементов FEM (finite-element method) для анализа характерных для электроплазменных технологий процессов тепло- и массообмена, расчета параметров потоков одно- и мультифазового состава и решения других задач механики сплошных сред.

Одним из таких программных продуктов является пакет EFD.Lab (аналог COSMOS FloWorks), способный выполнять множество разнообразных расчетов, связанных с течением жидкостей и газов:

- Двумерные и трехмерные течения;
- Внутренние (Internal) и Внешние (External) течения;
- Стационарные и Нестационарные (Transient) течения;
- Несжимаемые (Incompressible) и Сжимаемые (Compressible), с до-, транс-, и сверхзвуковыми областями, течения;
- Ламинарные течения неньютоновских жидкостей;
- Течения сжимаемых жидкостей (плотность которых зависит от давления);
- Ламинарные, турбулентные, и переходные течения;
- Закрученные течения и вентиляторы;
- Многокомпонентные течения;
- Течения с теплообменом между текучей средой и твердым телом;
- Расчет только теплопередачи в твердых телах;
- Течения при плоскопараллельном или тангенциальном движении стенок модели;
- Течения во вращающихся моделях (расчет во вращающейся системе координат);

- Течения с гравитационными эффектами;
- Течения в пористых средах;
- Течения с жидкими или твердыми частицами;
- Шероховатые стенки;
- Радиационный теплообмен между поверхностями.

EFD.Lab анализирует геометрию плазмотрона и создает *Расчетную область* в виде прямоугольного параллелепипеда с моделью внутри (рис.1). Граничные плоскости расчетной области ортогональны осям *Глобальной системы координат модели*. В случае решения *Внешней задачи* граничные плоскости расчетной области автоматически располагаются на некотором расстоянии от модели. Если решается *Внутренняя задача*, то граничные плоскости расчетной области автоматически проводятся по габаритам модели, или по габаритам только проточноготракта. При этом характерной особенностью данного продукта является возможность получения результата высокой точности вне зависимости от сложности модели.

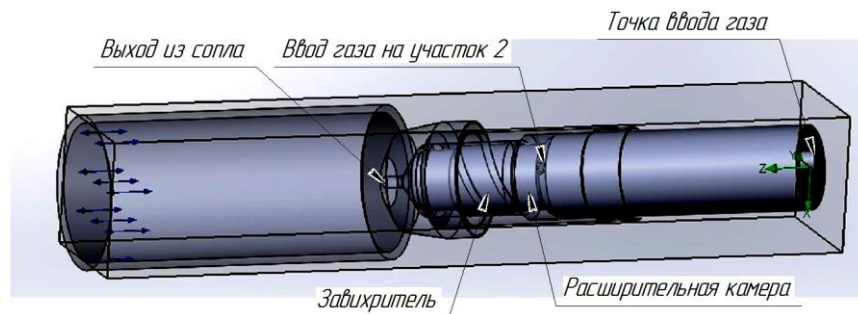


Рис.1 Расчетная модель плазмотрона

Движение и теплообмен текучей среды моделируется с помощью уравнений Навье-Стокса. Кроме того, используются уравнения состояния компонентов текучей среды, а также эмпирические зависимости вязкости и теплопроводности этих компонентов среды от температуры T . Свойства сжимаемых газов задаются зависимостью их плотности от давления P . Этими уравнениями моделируются турбулентные, ламинарные и переходные течения. Для плазмообразующего газа используется уравнение состояния следующего вида:

$$\rho = \rho(P, T, y),$$

где $y = (y_1, y_2, \dots, y_N)$ – вектор концентраций компонентов текучей среды.

Переход между ламинарными и турбулентными течениями определяется критическим значением числа Рейнольдса Re . Для моделирования турбулентных течений упомянутые уравнения Навье-Стокса осредняются по Re , т.е. используется осредненное по малому масштабу времени влияние турбулентности на параметры потока, а крупномасштабные временные изменения осредненных по малому масштабу времени составляющих газодинамических параметров потока (давления, скоростей, температуры) учитываются введением соответствующих производных по времени.

Моделирование теплообмена между поверхностью твердых тел и текучей среды выполняется путем создания пограничного слоя потока текучей среды. Так как течение газа происходит внутри плазмотрона, то граничные условия, определяющих связь физических процессов в расчетной области с физическими процессами вне ее, задаются параметрами текучей среды на входных и выходных отверстиях модели:

- на входном отверстии – массовый расход ПОГ;
- на выходном отверстии – значение статического давления.

Для нахождения искомого численного решения задачи непрерывная нестационарная математическая модель физических процессов, используемая в EFD.lab, дискретизируется как по пространству, так и по времени. Для выполнения дискретизации по пространству, вся расчетная область покрывается расчетной сеткой, грани ячеек которой параллельны координатным плоскостям используемой в расчете декартовой Глобальной системы координат модели в SolidWorks. Поскольку в EFD.lab используется метод конечных объемов, то расчетная сетка описывается ее ячейками. Соответственно, ячейки расчетной сетки имеют форму параллелепипедов. Область, в которой эта сетка строится, так же имеет единообразную для всех задач форму паралле-

лепипеда. Расчет поведения текучей среды в ограниченной стенками модели области производится с использованием так называемого метода фиктивных областей, поэтому формально расчетная сетка строится в параллелепипедообразной области, покрывающей модель с текучей средой внутри. Но расчеты проводятся только в ячейках, попавших в расчетную область, в пространстве, заполненном в соответствии с постановкой задачи текучей средой и твердым телом. При построении расчетной области ячейки пересеченные поверхностью твердого тела на границе с текучей средой делятся на более мелкие до тех пор, пока не будет обеспечена возможность расчета параметров потока плазмообразующего газа вблизи границы раздела сред (рис.2). При этом минимальный размер ячейки основной расчетной сетки выбран по величине площади канала проточной части плазмотрона с наименьшим сечением, что обеспечивает получение достоверных результатов при выполнении расчета.

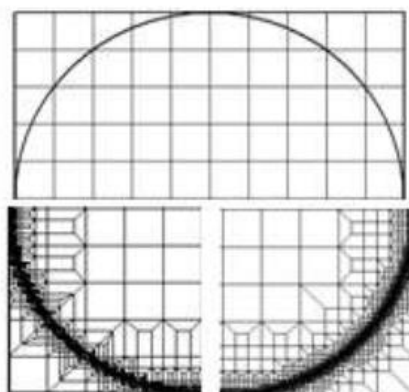


Рис.2 Пример расчетной сетки с дроблением ячеек (нижняя часть рисунка) и без дробления (верхняя часть рисунка)

Моделирование течения потока газа позволяет получить характерную картину изменения газодинамических параметров, величины скоростей газового потока на отдельных участках тракта плазмотрона, давление и плотность распределения газового потока по сечениям каналов плазмотрона (рис.3). Выполненные расчеты дают возможность определить зоны возмущений потока газа, которые негативно влияют на характер его течения, сопровождаемое появлением вихревых зон, потерей скорости и давления, наличи-

ем неравномерности распределения потока по сечению каналов плазмотрона. По результатам такого анализа определяются участки узлы плазмотрона, которые требуют конструктивных изменений для улучшения условий течения газа.

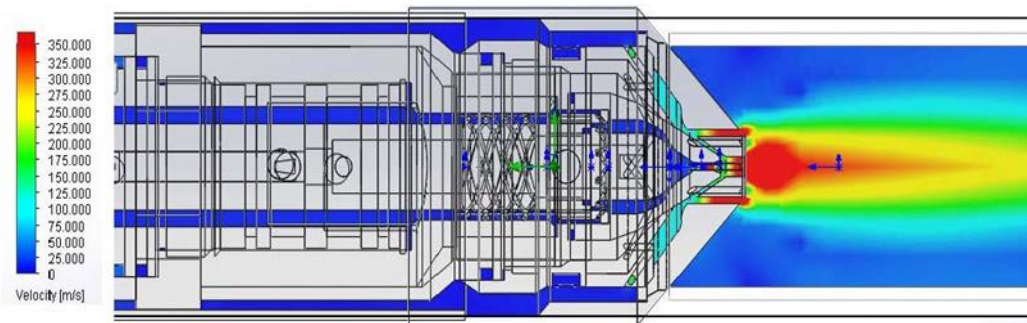


Рис.3 3D-моделирование газодинамических процессов в плазмотроне ПМВР-5

Данный программный продукт был использован при решении задач по проектированию проточной части плазмотронов для резки металлов. В результате выполненных расчетов различных вариантов конструктивного ее оформления была получена модель плазмотрона ПМВР-2М, у которой эффективность организации течения потока плазмообразующего газа по внутренним каналам плазмотрона повысилась более чем на 30% по сравнению с базовой моделью, при разработке которой не было использовано аналогичных программных продуктов [2]. Полученные в результате расчета данные были подтверждены результатами экспериментальных исследований, что говорит о целесообразности применения специализированных программных продуктов при решении научных и научно-технических задач, а также знакомства с подобными продуктами в процессе обучения специалистов в сфере сварочных и родственных технологий.

Список литературы

1. Анахов С.В. Принципы и методы проектирования в электроплазменных и сварочных технологиях: учебное пособие. – Екатеринбург: Рос. гос. проф.-пед. ун-т, 2014. – 144 с.

2. Анахов С. В., Пыкин Ю. А., Матушкин А. В. Газовихревая стабилизация в плазмотронах: новые решения // Сварочное производство. – 2015. – № 5. – С. 49-53.

УДК 004.65:004.415.2

Анисимова Н. С., Назарова О. Б.

**CASE-СРЕДСТВА ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ БАЗ ДАННЫХ: ОБЗОР
И КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА**

Наталья Сергеевна Анисимова

студент

natshka_anisimov@mail.ru

ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет

им. Г.И.Носова», Россия, г. Магнитогорск

Ольга Борисовна Назарова

кандидат педагогических наук, доцент

onazarova_21@mail.ru

ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет

им. Г.И.Носова», Россия, г. Магнитогорск

**CASE-TOOLS FOR DATABASE DESIGN: OVERVIEW AND BRIEF
DESCRIPTION**

Natalya Sergeevna Anisimova

Nosov Magnitogorsk State Technical University, Russia, Magnitogorsk

Olga Borisovna Nazarova

Nosov Magnitogorsk State Technical University, Russia, Magnitogorsk

Аннотация. В статье рассмотрены средства автоматизации проектирования баз данных; сделан обзор существующих CASE-средств, представленных на рынке. Дана их краткая характеристика и проведен сравни-