

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕСТАЦИОНАРНЫХ ПОТОКОВ ХОЛОДНОЙ ПЛАЗМЫ

Редчиц Д.А. к.ф.-м.н.<sup>1</sup>, Моисеенко С.В. к.т.н.<sup>2</sup>, Чашина И.Б.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Институт транспортных систем и технологий НАН Украины*

<sup>2</sup>*Херсонский национальный технический университет*

На сегодняшний день холодная плазма получила широкое распространение в аэрокосмической технике, плазменных дисплеях, системах очистки воздуха, косметологии, медицине. Одним из применений холодной плазмы является управление структурой течения.

Разработана новая математическая модель диэлектрического барьерного разряда при работе плазменного актуатора в воздухе при атмосферном давлении. В качестве базового выбран диффузионно-дрейфовый подход для описания пространственно-временной структуры холодной плазмы, включая кинетические явления и химические реакции. Реализован единый неявный численный алгоритм для эффективного решения неоднородной системы исходных уравнений.

Основной особенностью разработанной численно-аналитической модели является использование рационального количества уравнений для описания всех основных нестационарных параметров диэлектрического барьерного разряда в воздухе. Выбранные 14 видов частиц обеспечивают высокую точность математического моделирования основных плазмохимических реакций, включая как поверхностные процессы, так и быстротекущие явления в пространстве (развитие стримера и электронных лавин).

С целью верификации разработанной численно-аналитической математической модели проведены тестовые расчеты диэлектрического барьерного разряда при работе плазменного актуатора в неподвижном воздухе при атмосферном давлении. Рассмотрен механизм формирования и развития отдельного микрозаряда. Для адекватного описания зарождения, развития и прохождения стримера используется переменный шаг интегрирования по времени. Выполнен анализ поля течения, распределения потенциала, напряженности электрического поля, плотности результирующего заряда, а

также компонент вектора скорости в вычислительной области. Полученные результаты хорошо согласуются с экспериментальными данными.

На основе разработанного подхода проведена серия вычислительных экспериментов по моделированию нестационарных процессов низкотемпературной неравновесной плазмы диэлектрического барьерного разряда при работе плазменного актуатора, а также ее влияние на управление структурой потока воздуха. Рассмотрен механизм формирования и развития отдельного микроразряда. Установлено влияние структуры частиц плазмы и плотности заряженных частиц на изменение силы Лоренца от времени. Показано, что основной вклад в формирование силы Лоренца на положительном полупериоде колебания приложенного напряжения оказывают ионы кислорода. Для случая отрицательного полупериода основной вклад осуществляется за счет отрицательных ионов кислорода.

В результате проведенного численного моделирования воздействия плазменного актуатора на покоящийся воздух выполнен анализ поля течения, распределения потенциала, напряженности электрического поля, плотности результирующего заряда, а также компонент вектора скорости в вычислительной области. Проведены параметрические исследования геометрических параметров плазменных актуаторов и их влияние на генерируемую скорость воздуха. Показано, что с увеличением амплитуды приложенного напряжения происходит рост генерируемой скорости воздуха, которая носит асимптотический характер. Уменьшение толщины диэлектрика приводит к увеличению генерируемой скорости воздуха.

Продемонстрировано возникновение движущей силы в результате воздействия четырех плазменных актуаторов на основе диэлектрического барьерного разряда на цилиндр, находящийся в покоящемся воздухе. Показана возможность уменьшения коэффициента сопротивления цилиндра с помощью плазменных актуаторов за счет подавления вихревой дорожки Кармана. Полученные результаты хорошо согласуются с экспериментальными данными опубликованными в современной научной литературе.