

1. *Наименование работы:* **Моделирование взаимодействия тлеющего разряда с гиперзвуковым потоком газа.**

2. *Состав коллектива:* с.н.с. Александров А.Л., в.н.с. Швейгерт И.В., аспирант Арискин Д.А. (все из ИТПМ СОРАН).

3. *Контактное лицо:* Александров Андрей Леонидович, a\_alex@itam.nsc.ru

4. *Научное содержание работы:*

*I-II.* Электрический разряд на поверхности летательного аппарата (ЛА) рассматривается как перспективное средство управления локальным режимом обтекания и влияния на аэродинамические характеристики ЛА, не требующее внесения изменений в геометрию аппарата. Для случая гиперзвуковых скоростей ЛА, реализуемых на больших высотах ( $h=30-50$  км) и соответственно низких давлений, эффективным представляется тлеющий разряд. Некоторое количество экспериментальных исследований подтвердило применимость тлеющего разряда для воздействия на гиперзвуковой поток, но детального физического моделирования механизмов взаимодействия разряда со скоростным потоком газа при низких давлениях ранее не проводилось.

Для моделирования горения разряда нами применялась гидродинамическая модель в двумерном приближении, включающая уравнения переноса электронов и ионов, а также переноса электронной энергии, что важно для определения кинетических коэффициентов переноса и пространственного распределения скорости ионизации в газе. Электрическое поле в плазме разряда находилось решением уравнения Пуассона. В качестве модельного газа был взят азот. Уравнения решались конечно-разностным методом по неявной схеме на прямоугольной сетке, с обращением пятидиагональной матрицы.

*III.* Получена детальная структура тлеющего разряда на аэродинамической поверхности ЛА, горящего в диапазоне давлений 0.1 - 1 Торр, напряжений разряда 500 - 1500 Вольт и скоростей потока 3 - 6 Маха, а также, для сравнения, в неподвижном газе. Получены двумерные распределения плотности электронов и ионов, исследованы профили электрического поля, энергии электронов и скорости ионизации в катодном слое. Результаты моделирования показали, что скоростной поток практически не влияет на параметры катодного слоя, но вызывает сильное обеднение столба квазинейтральной плазмы, связывающего катод и анод. Относительная устойчивость катодного слоя объясняется тем, что электрические поля в нем очень велики (более 1 кВольт/см) и скорости переноса ионов намного больше скорости налетающего потока газа.

Также исследовано влияние внешней ионизации в газовом потоке на режим горения разряда. Показано, что разряд устойчив к воздействию внешней ионизации и поддерживается исключительно за счет эмиссии

вторичных электронов с катода, при ее отсутствии внешняя ионизация неспособна поддержать горение разряда.

*IV.* Использование кластера НГУ позволило существенно ускорить расчеты по применяемой двумерной модели. С помощью распараллеливания (использовался язык программирования OpenMP Fortran) был оптимизирован расчет матричных коэффициентов для неявной конечно-разностной схемы. Использование четырех потоков вычисления сократило время расчета каждой конфигурации разряда более чем в два раза.

*5. Публикации:*

А.Л. Александров, И.В. Швейгерт. "Взаимодействие поверхностного тлеющего разряда с потоком газа". ЖЭТФ, 2010, том 137, с. 966-975.

А.Л. Александров. "Моделирование горения поверхностного тлеющего разряда в сверхзвуковом потоке газа в присутствии внешней ионизации". Физика плазмы, 2011, том 37, с. 811-819.

6. Наш коллектив хотел бы выразить благодарность всем работникам ИВЦ НГУ. Впечатления очень хорошие и мы получили существенную помощь в работе.