

ОПТИЧЕСКИЕ И ГАЗОДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВЫСОКОСКОРОСТНОЙ ПЛАЗМЕННОЙ СТРУИ В ЭКСПЕРИМЕНТАХ "ФЛАКСУС" И "СЕВЕРНАЯ ЗВЕЗДА"

Лосева Т.В. (1, 2), Косарев И.Б. (1), Поклад Ю.В. (1), Ляхов А.Н. (1, 2),
Зецер Ю.И. (1), Урвачев Е.М. (2)

(1) Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт динамики геосфер имени академика М.А. Садовского Российской академии наук, Москва, Россия

(2) Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт автоматики им. Н.Л. Духова», Москва, Россия

e-mail: losseva@idg.chph.ras.ru

Активные геофизические ракетные эксперименты "Флаккус" и "Северная звезда" с инъекцией высокоскоростных алюминиевых плазменных струй в ионосферу Земли проводились на высотах 140 км ("Флаккус") и выше 270 км ("Северная звезда"). Целью этих экспериментов являлось исследование процессов взаимодействия плазменных потоков с окружающей ионосферой, погруженной в геомагнитное поле.

Задача интерпретации данных наблюдений требует определения параметров плазмы и ее оптических характеристик на начальной стадии инъекции, которая осуществлялась с помощью разработанных в ИДГ РАН кумулятивных взрывных плазменных генераторов ВГПС-300 ("Флаккус") и ВГПС-400 ("Северная звезда").

Решение этой задачи возможно только в радиационно-газодинамической постановке (РГД), так как тепловое излучение существенно влияет на динамику плазмы, а его часть, испускаемая на большие расстояния от струи, является одной из основных причин ионизации, возбуждения и генерации интенсивного свечения воздуха.

Анализ лабораторных данных по инъекции алюминиевой струи в разреженный воздух различной плотности в специальной взрывной вакуумной камере позволил создать достаточно простую физико-математическую РГД модель, в рамках которой проводилось решение обратной задачи определения сценария инъекции струи. Модель включает в себя систему РГД уравнений в лагранжевых координатах для сферически-симметричной геометрии, описывающую динамику конусообразной струи в процессе и после окончания инъекции из сопла генератора, диффузионное приближение для многогрупповых уравнений переноса излучения, включая потери за счет излучения с боковой поверхности конуса. Модель учитывает РГД-процессы в веществе струи и в воздухе, распространение на большие расстояния теплового излучения, испущенного высокотемпературной плазмой. Возбуждение ионосферы под действием этого излучения оценивалось в рамках плазмохимической модели. Численное моделирование проводилось с использованием таблиц термодинамических и оптических характеристик алюминия, полученных в настоящих исследованиях, и известных ранее таблиц воздуха. Сравнение данных наблюдений по величинам плотности потока излучения в видимом и ближнем инфракрасном диапазонах показало хорошее согласие с данными расчетов. Полученные сценарии инъекции плазмы были использованы в двумерном моделировании начальной стадии эволюции струи, которое показало хорошее согласие результатов, полученных в двух подходах к решению задачи. Из двумерного расчёта видно, что струя сохраняет конусообразную форму на всем рассматриваемом промежутке времени, что говорит о корректности применения для описания начальной стадии движения плазменной струи одномерных сферически-симметричных уравнений газодинамики.

Разработанная модель позволяет корректно описать ту начальную газодинамическую стадию движения высокоскоростной плазменной струи, которая, вследствие малых времен, не могла

быть измерена датчиками, использованными в эксперименте, и которая формирует дальнейшее взаимодействие струи с ионосферой и геомагнитным полем.