

DOI: 10.34854/ICPAF.52.2025.1.1.015

## МОДЕЛИРОВАНИЕ СИЛЬНОТОЧНЫХ РАЗРЯДОВ И ГЛАВНОЙ СТАДИИ РАЗРЯДА МОЛНИИ

<sup>1</sup>Бочаров А.Н., <sup>2</sup>Мареев Е.А., <sup>3</sup>Попов Н.А.

<sup>1</sup>Объединенный институт высоких температур РАН, [bocharov@ihed.ras.ru](mailto:bocharov@ihed.ras.ru)

<sup>2</sup>Институт прикладной физики РАН, [mareev@ipfran.ru](mailto:mareev@ipfran.ru)

<sup>3</sup>НИИ ядерной физики им. Д.В. Скобельцына, Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова, [NPopov@mics.msu.su](mailto:NPopov@mics.msu.su)

Главной стадией разряда молнии (или обратным ударом) называют процессы, начинающиеся после замыкания промежутка облако-земля нисходящим лидерным каналом [1]. Главная стадия молнии характеризуется протеканием больших токов (десятки-сотни кА), высокими температурами газа в канале (10-40 кК) и мощным электромагнитным излучением.

Для изучения процессов, характеризующих главную стадию, была разработана численная модель сильноточного разряда в воздухе. Модель основана на совместном решении уравнений газовой динамики, электродинамики, переноса излучения в диффузионном приближении, с учетом термодинамических характеристик реального воздуха. Разработанная модель была применена для анализа результатов экспериментальных исследований сильноточных разрядов в воздухе с амплитудой тока до 250 кА и фронтом нарастания тока 13 - 25 мкс и позволила описать всю совокупность экспериментальных данных по эволюции температуры, плотности электронов, давления и размеров плазменного канала во всем диапазоне разрядных токов [2].

Для анализа параметров главной стадии разряда молнии разработанная модель была дополнена системой уравнений длинной линии для определения электрического потенциала и полного тока в каждом сечении канала [3]. Результаты расчетов позволили описать все основные характеристики главной стадии разряда молнии, регистрируемые экспериментально: нагрев газа в канале до температур 10 - 40 кК; принципиальную возможность распространения волны ионизации со скоростями от сотых до десятых долей скорости света, а также возможность распространения волны обратного удара без существенного затухания на достаточно большие расстояния [3].

Было показано наличие нескольких важных особенностей, общих для всех расчетных режимов. Первое - распространение высокопроводящего канала от земли к облаку происходит за счет движения зоны высокого электрического поля. Второе - скорость распространения канала от земли к облаку непосредственно зависит от разности потенциалов между облаком и землей. Положение головной части разряда хорошо идентифицируется по пикам тепловыделения, причем этим пикам предшествуют пики электрического поля. Третье - характеристики большей части канала молнии определяются балансом мощности тепловыделения от протекающего тока и радиационным охлаждением канала. Температура газа в канале молнии у земли остается достаточно высокой, порядка 15 кК, т.е. газ является практически полностью ионизованным.

Будут представлены оценки излучения от разряда молнии в приближении дальней зоны. На больших расстояниях от зоны разряда электрическое поле определяется не только скоростью движения фронта, но и снижением полного тока в канале.

Работы выполнены при поддержке Российского научного фонда (23-17-00264).

### Литература

- [1]. Базелян Э.М., Райзер Ю.П. Физика молнии и молниезащиты. М Физматлит. 2001. 320с.
- [2]. Bocharov A.N., Mareev E.A., Popov N.A. // J. Phys. D: Appl. Phys. (2022) 115204
- [3]. Бочаров А.Н., Мареев Е.А., Попов Н.А. // Физика плазмы (2024) Т. 50. С. 340-348.