Сравнение Срывов разряда, вызванных инжекцией топливных макрочастиц и массивным газонапуском в токамак Т-10

В.Г. Капралов1, М.М. Дремин2, С.В. Крылов2, В.Г. Скоков1, В.В. Солоха1, А.Е. Боровов1, С.М. Егоров1, В.В. Елагин1, А.Ю. Кострюков1, К.С. Седов1, П.М. Третьяков1, А.С. Трубников2, Х.А. Харфуш1

1Санкт-Петербургский политехнический университет им. Петра Великого,
 г. Санкт-Петербург, Россия, kapralov@phtf.stu.neva.ru
2НИЦ «Курчатовский институт», Москва, Россия, Dremin\_MM@nrcki.ru

По мере увеличения габаритов и энергетики современных установок с магнитным удержанием высокотемпературной плазмы возрастают технические проблемы, к которым приводят жесткие срывы плазменного разряда и формирующиеся в них пучки убегающих электронов. Все это повышает актуальность исследования процессов вывода энергии из плазмы и подбора оптимальных сценариев гашения плазменных разрядов.

На токамаке Т-10 была проведена серия экспериментов, в которых срыв плазмы вызвался как инжекцией топливных макрочастиц, так и массивным газонапуском гелия высокого давления или аргона низкого давления. Эти эксперименты позволили провести сравнительный анализ 4 вариантов принудительного завершения разряда (достижение предельной плотности, инжекция макрочастиц и два варианта массивного газонапуска) и выделить их характеристики, которые важны для оптимизации сценариев гашения плазменного разряда. Данная работа является продолжением исследований, результаты которых частично опубликованы в работах [1, 2].

В ходе экспериментов применялся подвижный клапан (PMGI), инжектировавший аргон низкого давления или гелий высокого давления, многоствольный инжектор топливных макрочастиц, и штатная система газового напуска токамака Т-10. Уникальная возможность перемещения клапана массивного газонапуска относительно границы плазмы позволила выполнить сканирование параметров срыва по расстоянию от источника газовой струи до плазмы.

В докладе представлено сравнение как физических, так и технических параметров инициирования срыва рассматриваемыми способами. Технические параметры также важны для отработки оптимального сценария гашения плазменного шнура, так как без их учета невозможна правильная синхронизация работы систем управления разрядом и диагностик,
а также масштабирование параметров сценариев на другие установки.

В число рассматриваемых параметров включены интервалы от формирования прекурсора до начала срабатывания системы гашения и от момента срабатывания системы гашения до начала развития срыва, характер и времена теплового и токового срыва, соотношениие мощности излучения плазмы в видимом, мягком и жестком рентгеновском диапазонах, характер развития неустойчивостей и формирования пучков убегающих электронов, и наличие повторных срывов во время спада тока.

Показано, что использованные системы можно расположить в следующем порядке по увеличению жесткости вызываемого срыва: штатный газонапуск, массивный газонапуск в дальней зоне, массивный газонапуск в ближней зоне и, наконец, инжекция топливных макрочастиц.

Работа выполнена при поддержке РФФИ гранты №13-02-01409-а и №14-02-00697-а, Росатома ГК № Н.4f.45.90.11.1021 от 28.02.2011. Авторы благодарят коллектив установки Т-10 за предоставленные данные и поддержку.

Литература

1. Дрёмин М.М. и др., ВАНТ, Сер. Термоядерный синтез, 2012, вып. 4, с. 58—70.
2. Капралов В.Г. и др., Сб. тез. докл. XLII Межд. Звен. конф. по ФП и УТС., 2015, с. 123.