Оценка эффектов запирания линейчатого излучения при тушении разряда интенсивной инжекцией аргона в ИТЭР

Кукушкин А.Б.1,2, Сдвиженский П.А.1, Левашова М.Г. 1, Жоголев В.Е.1, Леонов В.М.1, Лисица В.С.1,2, Коновалов С.В.1

1НИЦ «Курчатовский институт», Москва, Россия, Sdvizgenskii\_PA@nrcki.ru,
2НИЯУ «МИФИ», Москва, Россия.

Одним из условий безопасной работы экспериментального токамака-реактора ИТЭР является возможность смягчения последствий развития неустойчивости срыва при помощи массивной инжекции инертных газов, в частности, аргона и неона. Излучение примесей на периферии шнура позволит «переизлучить» значительную долю тепловой энергии плазмы и уменьшить поток энергии на диверторные пластины. При проведении в [1] моделирования массивной инжекции газов Ar и Ne в базовом режиме ИТЭР с током 15 МА предполагалось, что массивная инжекция газа (МГИ) проводится на квазистационарной стадии разряда на плато тока. Для моделирования параметров основной плазмы использовался транспортный код АСТРА [2], который был интегрирован с кодом ZIMPUR [3], описывающим динамику зарядовых состояний, излучение и перенос примесей (описание радиационных потерь проведено в [1] для оптически прозрачной корональной плазмы). Для расчета потока газа из системы МГИ использовалась феноменологическая модель [4].

В этой работе даны результаты оценки эффектов запирания линейчатого излучения при тушении разряда интенсивной инжекцией аргона в ИТЭР. Такая задача стимулирована результатами [5], где показана важность эффектов непрозрачности плазмы при инжекции газа для смягчения последствий срыва тока в токамаках. В [5] использована модель «прострельного» выхода линейчатого излучения из плазмы (см. обзоры [6, 7]) и корональная модель населенностей возбужденных уровней, усредненных по мультиплетам. В настоящей работе дополнительно учтена тонкая структура уровней и некорональная радиационно-столкновительных кинетика для излучающего возбужденного состояния (использованы базы данных NIST, OPEN ADAS и ALADDIN). Для наиболее сильно излучающих ионов на различных стадиях тушения разряда (напр., ионов Ar+15 на начальной стадии проникновения примеси в плазму и Ar+3 на стадии размешивания примеси практически во всем объеме плазмы) показано, что оптическая толщина на самых сильных линиях ионов оказывается порядка нескольких единиц, однако существенного влияния на полные радиационные потери плазмы в сценарии тушения в [1] это не оказывает. Таким образом, расчет радиационных потерь с учетом запирания в модели возбужденных уровней, усредненных по мультиплетам, дает, как и ожидалось, оценку сверху для роли эффектов непрозрачности в тушении разряда инжекцией примеси.

Литература.

1. Leonov V.M., Konovalov S.V., Zhogolev V.E., Modeling of pre-Thermal Quench and Thermal Quench stages of disruption induced by Massive Gas Injection in ITER, 27th IEEE Symposium on Fusion Engineering (SOFE 2017) Shanghai, China, 2017, W.POS.026.
2. Pereverzev G.V., Yushmanov P.N., Preprint IPP 5/98, 2002, Garching, Germany.
3. Leonov V.M., Zhogolev V.E., Plasma Phys. Control. Fusion, 2005, 47, 903.
4. Жоголев В.Е., Физика плазмы, 2012, 38(10), 855.
5. Lukash V.E., Mineev A.B., Morozov D.Kh. Nucl. Fusion, 2007, 47, 1476–1484.
6. Коган В.И., Запирание излучения в плазме // Энциклопедия низкотемпературной плазмы, под ред. В.Е. Фортова. М., «Наука», 2000, Вводный том 1, c.481.
7. Абрамов В.А., Коган В.И., Лисица В.С. Вопросы теории плазмы, под ред. М.А. Леонтовича и Б.Б. Кадомцева, М.: Энергоатомиздат, Вып.12, 1982, с. 114.