ФИЗИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ CXRS-ДИАГНОСТИКИ ТОКАМАКА Т-15МД

Земцов И.А.1,2, Крупин В.А.1, Ключников Л.А.1, Нургалиев М.Р.1, Немец А.Р.1, Науменко Н.Н.3, Ступишин Н.В.4, Тугаринов C.Н.1

1НИЦ «Курчатовский Институт»

2Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана

3Институт физики НАН РБ, Минск, Республика Беларусь

4Институт ядерной физики им. Г.И. Будкера СО РАН, Новосибирск

В 2020 году на территории НИЦ «Курчатовский институт» планируется запуск модернизированного токамака Т-15МД (большой радиус *R*=1,5 м, малый радиус *r*=0,67 м). На нем будет организована работа систем мощного дополнительного нагрева плазмы (суммарно до 24 МВт), длительность разряда до 10 секунд с током плазмы до 2 МА.

Для реализации научно-исследовательского потенциала установки был разработан современный комплекс активной перезарядочной спектроскопии (CXRS). В данной диагностике на установке Т-15МД используются как уникальный инжектор атомов водорода с энергией 60 кэВ – ДИНА-60КИ – так и нагревный инжектор (80 кэВ), которые позволяют создавать в плазменном шнуре интенсивное излучение перезарядочных спектральных линий. CXRS-методика на Т-15МД даст возможность измерять с высокими пространственным (~1 см) и временным (~3 мс) разрешениями локальные значения следующих параметров плазмы: температуру ионов *Ti*(*r*), концентрации ядер дейтерия *nd*(*r*) и легких примесей *nz*(*r*), скорости тороидального *Vtor*(*r*) и полоидального *Vpol*(*r*) вращений шнура, радиальное электрическое поле *Er*(*r*), концентрации и энергии быстрых ионов, диагностики BES и MSE.

В данной работе представлены схемы измерения CXRS-излучения на Т-15МД. Произведена оценка влияния диагностического пучка, связанного с большой мощностью инжектора (~0,2 МВт), на измеряемые параметры. Приведены решения, позволяющие добиться максимального уровня полезного сигнала с сохранением предельных величин спектрального, пространственного и временного разрешений.

С использованием моделирования исследовано ослабления диагностического пучка в плазменном шнуре Т-15МД с учетом процессов ионизации и перезарядки атомов диагностического пучка на рабочем газе и двух наиболее ожидаемых примесях – углерод C и кислород O, а также ионизации пучка электронным ударом. Было проанализировано влияние флуктуаций плотности плазмы на возможные флуктуации плотности пучка. Получено двумерное пространственное распределение плотности атомов пучка. В экваториальной плоскости токамака рассчитаны абсолютные величины интенсивности как активной, так и пассивной компоненты излучения перезарядочной линии иона СVI с длиной волны 5291 Å.

С учетом проникновения атомов пучка, пропускающей способности систем сбора и передачи света, а также эффективности работы спектрометра и CCD-камеры была сделана оценка локального активного и хордового пассивного компонент сигнала, регистрируемого тороидальной системой наблюдения. В расчете была учтена тонкая структура выбранной спектральной линии, а также ее допплеровское уширение и расщепление вследствие эффекта Зеемана. Определено, что время сбора полезного сигнала, равное 1…3 мс, позволяет достигать заданного уровня статистической погрешности измерений (3%). Контраст регистрируемого сигнала принимает значения от 0,3 на границе до 2,2 в центре шнура, что на порядок превышает контраст CXRS-измерений на установке Т-10. Учитывая, что время набора статистики полезного сигнала на токамаке Т-15МД в ~100 раз превышает аналогичное время на установке Т-10, можно сделать вывод, что на токамаке Т-15МД CXRS-диагностика позволит производить надежные измерения указанных выше параметров по всему диаметру плазменного шнура.

Исследования выполнены при финансовой поддержке ГК № Н.4х.241.9Б.17.1011 от 20.02.2017, моделирование проведено при поддержке РФФИ в рамках научного проекта 18-32-00100.