Модернизация диагностической системы рентгеновский перископ на токамаке Т-10

Ершова М.И., Шестаков Е.А., Саврухин П.В.

НИЦ «Курчатовский институт», 123182, Москва, Россия

Одной из основных угроз для безопасной работы токамака являются пучки ускоренных электронов. Эти пучки образуются в сильных электрических полях, возникающих на начальной стадии разряда, при поступлении большого количества примесей и при развитии МГД возмущений с большими скоростями изменения магнитного потока [1] (магнитное перезамыкание). Энергии ускоренных электронов могут достигать десятков МэВ, а плотность тепловыделения нескольких ГВт/м2 [2]. Взаимодействие такого пучка со стенкой приводит к повреждению обращенной к плазме поверхности внутрикамерных элементов.

На токамаке Т-10 оборудован ряд диагностик для исследования пучков ускоренных электронов, в их основе лежит измерение надтеплового и жесткого рентгеновского излучения, возникающего при торможении ускоренных электронов на тепловой плазме и в элементах первой стенки токамака. Особенностью тормозного излучения высокоэнергетичных релятивистских электронов является преимущественная направленность этого излучения по направлению движения электронов. Поэтому диагностики, используемые для измерения профилей рентгеновского излучения в ортогональном направлении, не могут видеть первичное излучение ускоренных электронов, а регистрируют лишь рассеянное излучение при их взаимодействии с первой стенкой.

Для исследования пространственно-временной эволюции ускоренных электронов на токамаке Т-10 оборудована новая диагностическая система на основе CdTe детектора, обеспечивающая измерение рентгеновского излучения в направлении вдоль движения пучка электронов. CdTe детектор с размерами 10 × 5 × 1 мм интегрирован с усилителем сигнала и собран в миниатюрном корпусе (d9 × 60 мм) для размещения внутри вакуумной камеры. Полоса пропускания детектирующего блока составляет ~1-2 МГц c характерным временем нарастания прямоугольного импульса ~0.5-1 мкс. Была проведена калибровка детектора на светодиоде оптического спектра и рентгеновской трубке OI Eclipce IV с максимальной энергией излучения до 50 кэВ.

Для улучшения пространственного разрешения был разработан и изготовлен защитный экран с коллимационной трубкой d=1 мм, рассчитанный на защиту от рентгеновского излучения с энергией до 300 кэВ. Экран изготовлен из свинца с толщиной стенки 17 мм и расположен внутри стального колпака. Детекторная сборка вводится внутрь вакуумной камеры с помощью подвижного штыря через высоковакуумный ввод движения. Изменение высоты установки детектора внутри вакуумной камеры меняет хорду линии наблюдения плазмы. Кроме того, детектор имеет возможность вращения вокруг своей оси с помощью вакуумного шагового мотора.

Проведение измерений с помощью внутрикамерного детектора планируется совместно со спектрометрами надтеплового и жесткого рентгеновского излучения, расположенными снаружи от вакуумной камеры.

Работа выполнена при содействии Росатом и РФФИ (18-02-00999 и 18-32-00365).

Литература.

1. P.V. Savrukhin and E.A. Shestakov, A study on the effects of magnetohydrodynamic perturbations on nonthermal beam formation during the current decay phase of disruptions in the T-10 tokamak, Nuclear Fusion, 2015, V.55, Number 4, 043016
2. Budaev V.P et. al. Tungsten melting and erosion under plasma heat load in tokamak discharges with disruptions, Nuclear Materials and Energy, 2016, DOI: 10.1016/j.nme.2016.11.029