

АНАЛИЗ РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ ПУЧКОВ ГИРОТРОНА ТОКАМАКА Т-15МД^{*)}

^{1,2}Саврухин П.В., ¹Шестаков Е.А., ^{1,2}Тепикин В.И., ^{1,2}Лисовой П.Д., ¹Храменков А.В.,
¹Рой И.Н., ¹Пименов И.С.

¹НИЦ «Курчатовский Институт», г. Москва, Россия

²НИУ «Московский Энергетический Институт», г. Москва, Россия

Генераторы СВЧ излучения (гиротроны) эффективно используются в экспериментах на токамаках для дополнительного нагрева плазмы и неиндукционного поддержания тока, а также для предварительной ионизации газа на начальной стадии разряда. Безопасная и надёжная эксплуатация такого гиротронного комплекса требует применения эффективных мер защиты не только от СВЧ излучения, но и от рентгеновского излучения гиротронов. Измерение рентгеновского излучения и разработка систем экранирования для уменьшения потоков излучения при оперативном обслуживании гиротронов представляет интерес при проведении экспериментов на токамаках и для проектирования токамака-реактора (ИТЭР).

На токамаке Т-15МД планируется оборудование гиротронного комплекса, состоящего из 7 гиротронов. Генерируемая каждым из гиротронов мощность СВЧ излучения должна составлять, по крайней мере 1 МВт в импульсе длительностью от 20 до 30 секунд при эффективности генерации не менее 50 % (предполагается использование системы рекуперации остаточной энергии электронного пучка). Высоковольтная система питания гиротронов обеспечивает ускоряющее напряжение до $U \sim 70$ кВ (напряжение катода – 46,5 кВ, напряжение анода + 24,5 кВ, ток катода I_c до 37 А) [1].

В докладе приведены результаты измерения рентгеновского излучения при работе гиротрона 82,6 ГГц в рабочем режиме длительностью до 1 с. Для регистрации спектров рентгеновского излучения использовался спектрометрический детектор NaI (d150×80 мм). Пространственное распределение излучения определялось с помощью двух сцинтилляционных детекторов LaBr3(Ce) (Ø38.1×38.1мм) Canberra с предусилителем сигнала 2007P, размещаемых в различных позициях относительно гиротрона. Дополнительно оборудован набор из полупроводниковых детекторов из теллурида кадмия CdTe (1×1×1 мм) и кремния Si (d5×1 мм) для регистрации рентгеновского излучения в потоковом режиме.

Проведенный спектрометрический анализ в режиме работы гиротрона с ускоряющим напряжением $U = 47.6$ кВ показал непрерывное энергетическое распределение рентгеновского излучения с максимумом в диапазоне 15-20 кэВ. Максимальная интенсивность излучения наблюдается вблизи выходного окна СВЧ тракта и в нижней части гиротрона. Значительное (до 3 раз) увеличение интенсивности рентгеновского излучения наблюдается в режиме срыва генерации СВЧ излучения.

Установка защитных свинцовых экранов (толщиной до 4 мм) вблизи коллекторов электронного пучка и в области выходного окна СВЧ тракта обеспечивает ослабление интенсивности рентгеновского излучения до 5-10 раз.

Рассматривается проект мобильного измерительного комплекса на базе детекторов LaBr3(Ce) и NaI в спектрометрическом режиме для определения абсолютных величин потоков рентгеновского излучения.

Литература

- [1]. Пименов И.С., Борщеговский А.А., Новиков В.Н., Павлов В.Н., Рой И.Н., Шапотковский Н.В. Первые результаты по вводу СВЧ-излучения от гиротрона в вакуумную камеру токамака Т-15МД. Звенигородская конференция по физике плазмы 2023 г, М01.

^{*)} [DOI – тезисы на английском](#)