Развитие топливных систем термоядерного источника нейтронов ДЕМО-ТИН и моделирование поведения изотопов водорода в них с помощью кода «FC-FNS»

Ананьев С.С., Спицын А.В., Кутеев Б.В.

НИЦ «Курчатовский институт», Москва, Россия, Ananyev\_SS@nrcki.ru

Основой гибридного/синтез-деление реактора (объединяющего ядерные и термоядерные технологии) является термоядерный источник нейтронов (ТИН) на основе токамака. Основное отличие ТИН от демонстрационного термоядерного реактора ДЕМО заключается в том, что ТИН может вырабатывать мощность термоядерной реакции, сравнимую с мощностью дополнительного нагрева плазмы без необходимости достижения условия зажигания, то есть иметь коэффициент усиления энергии Q порядка 1. Наличие в системе делящихся материалов позволяет снизить мощность термоядерной реакции до 100 раз, что приводит к существенному снижению требований к параметрам плазмы и конструкционных материалов токамака.

Термоядерный источник нейтронов представляет значительный интерес для научных исследований, тестирования конструкционных материалов будущих ядерных и термоядерных реакторов, утилизации ядерных отходов, наработки топлива и управления подкритическими ядерными системами. Токамак является одной из самых перспективных систем для изготовления термоядерного источника нейтронов с мощностью более 10 МВт. В настоящее время разными странами разрабатываются проекты ТИН, ориентированные на дальнейшее развитие проекта ИТЭР в направлении ДЕМО. В России для демонстрации стационарных и гибридных технологий разработан проект ДЕМО-ТИН, который должен функционировать не менее 5000 часов в год.

Топливные системы (ТС) являются исключительно важной частью ТИН. Поддержание плазмы в токамаке требует инжекции топливной смеси, содержащей изотопы водорода (дейтерий и тритий) в вакуумную камеру, а также последующую ее откачку и обработку. Расчет распределения трития (а также дейтерия и протия) в топливных системах важен для оценки безопасности работы установки, а также проектирования этих систем. Расчет накопления трития в топливных системах позволяет сделать оценки «стартового» количества топлива, необходимого для запуска установки и ее эксплуатации, а также для оценки количества топлива в каждой системе ТИН, что необходимо для обоснования безопасности эксплуатации его систем. Для моделирования потоков изотопов водорода в топливных системах ТИН создан и развивается компьютерный код «FC-FNS» (в том числе, [1]).

В докладе представлены возможности кода «FC-FNS». Приведены результаты расчетов для концептуального проекта ДЕМО-ТИН, разрабатываемого в Национальном исследовательском центре «Курчатовский институт». Учитывается баланс трех изотопов водорода, вычислена производительность систем депротизации для поддержания требуемого уровня протия в камере токамака и детритизации (для варианта системы нейтральной инжекции - СНИ). Моделируются три альтернативных сценария подачи газа в нейтральные инжекторы. Показано, что предлагаемый подход к обеспечению СНИ топливной смесью позволяет снизить общее количество трития в ТС до 1,5 раз, что приведет к стартовой загрузке ДЕМО-ТИН 460 г. Время бридинга трития в количестве, достаточном для запуска новой установки, составит 2,5-4 года (для разных сценариев ТС СНИ).

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ и Правительства Москвы в рамках научного проекта № 15-38-70030 мол\_а\_мос.

Литература.

1. S.S. Ananyev, et al // Concept of DT fuel cycle for a fusion neutron source DEMO-FNS, Fusion Eng. Des. (2016), Volumes 109–111, Part A, pp 57–60