архитектура топливных систем термоядерного источника нейтронов ДЕМО-ТИН

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

НИЦ «Курчатовский институт», Москва, Россия, [Ananyev\_SS@nrcki.ru](mailto:Ananyev_SS@nrcki.ru)

Для расчета потоков изотопов водорода в топливных системах термоядерного источника нейтронов на основе токамака (DEMO-FNS) с параметрами R/a = 3,2 м / 1 м,   
B = 5 Т, Ipl = 4 – 5 МА, PNBI = 30 МВт и РECR = 6 МВт [1] используется модель топливного цикла «FC-FNS» [2]. «FC-FNS» описывает баланс частиw D и Т последовательно во всех системах, формирующих топливный цикл (ТЦ). Системы обеспечивают откачку газа из диверторов установки, предварительную очистку и отделение примесных газов от изотопов водорода, последующую очистку химически связанных изотопов водорода, хранение запасов изотопов и ввод топлива в плазму для поддержания условий горения, нагрева и создания тока в плазме (системой нейтральной инжекции – NB). Для обеспечения плазмы топливом помимо инжекции частиц в виде пучка (анализируются сценарии с D0 + T0 и D0 пучком) используется инжекция пеллет (PIS) со стороны сильного и слабого полей (HFS/LFS). Система газовых клапанов (GIS), помимо инжекции примесей, обеспечивает ввод газовой смеси, циркулирующей в системах ТЦ (и превышающей потребности плазмы в D и T за счет низкой эффективности ввода частиц в основную плазму). Для обеспечения механической прочности топливных пеллет нами предлагается их раздельное изготовление из D2, T2 и DT с последующим введением разными инжекторами. Разделение топливного потока на требуемые фракции требует системы разделения (ISS) в составе ТЦ. Контроль доли Не в плазме происходит в процессе очистки газовой смеси на мембранном фильтре при котором весь Не из топливной смеси выделяется. В результате такого подхода относительная величина усредненной плотности гелия в основной плазме <nHe>/<ne> составляет ~0,4%. Контроль доли Н2 происходит за счет удаления фракций H2 и HD из ISS. Даже с учетом того, что фракция НТ будет оставаться в топливной смеси, доля протия в плазме будет составлять ~0,5%.

Основной задачей, решаемой при проектировании ТЦ, является сокращение накопления изотопов водорода в системах ТЦ. Наиболее критичными являются системы ТЦ с длительным циклом обработки газовой смеси (поскольку может накапливать наибольшее количество изотопов – в том числе Т). «FC-FNS» позволяет рассчитывать накопление изотопов водорода в системах ТЦ а также темпы наработки трития (с учетом удовлетворения потребностей установки) для различных вариантов используемого пучка допнагрева (D0 + T0 или D0) и для сценариев с различной фракцией трития *fT* в плазме.

В докладе описывается актуальная архитектура систем ТЦ, обеспечивающих все рассматриваемые сценарии, и приводится анализ режимов работы ключевых систем. Проанализированы зависимости накопления трития в ТЦ и темпов его бридинга при различных значениях *fT*. Приводятся результаты моделирования различных режимов работы инжекционных систем и анализ возможности обеспечения эффективной откачки газа из дивертора для этих режимов.

Эта работа была частично поддержана Российским научным фондом (№ 18-72-10162).

Литература

[1] B.V. Kuteev, Yu.S. Shpanskiy and DEMO-FNS Team, Nucl. Fusion 57 (2017) 076039 (8pp)

[2] S.S. Ananyev, A.V. Spitsyn, B.V. Kuteev, Fusion Engineering and Design 109–111 (2016) 57–60