Энергетическая эффективность нейтронного источника с комбинированным нагревом

А.Ю. Чирков, Д.С. Яцухно

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, Россия, [chirkov@bmstu.ru](mailto:chirkov@bmstu.ru)

Возросший интерес к мощным источникам термоядерных нейтронов связан с активно обсуждаемыми сегодня концепциями гибридного термоядерно-ядерного реактора. В этом случае для термоядерной системы не требуется высокий коэффициент усиления мощности в плазме *Q* ~ 10, необходимый для чисто термоядерного реактора. Достаточно *Q* ~ 1, и поэтому в качестве прототипов источников нейтронов могут рассматриваться уже существующие термоядерные установки. Для систем с *Q* ~ 1 возможно значительное увеличение скорости термоядерной реакции за счет мощного инжекционного нагрева, поддерживающего популяцию быстрых ионов. Так как время замедления растет с температурой, то необходимым условием поддержания значительной популяции быстрых ионов является достаточно высокая температура электронов.

Доля энергии пучка быстрых ионов, отдаваемой электронам, зависит от критической энергией, соответствующей равенству потерь энергии на электронах и тепловых ионах. Значение критической энергии растет с температурой. При энергиях выше критической быстрые ионы практически всю энергию отдают электронам. Как показали расчеты [1–3], для формирования быстрой популяции энергия инжекции должна быть в несколько раз выше критической.

В настоящей работе рассматриваются такие режимы, в которых концентрация быстрых ионов примерно равна концентрации тепловых ионов. Для контроля выполнения этого условия, а также при расчете скорости реакции используем приближенное решение уравнения Фоккера–Планка для быстрых ионов [2]. Так как для обеспечения максимального эффекта быстрых ионов температура электронов должна быть достаточно высокой, то рассматривается эффективность ее повышения с помощью ЭЦР-нагрева. Выполнены оценки оптимальных параметров пучка. Для определения возможных параметров термоядерных систем использованы модели энергобаланса термоядерной плазмы в магнитных ловушках различных типов [1–4]. Приведены результаты сравнительного анализа для токамака, стелларатора, обращенной магнитной конфигурации и открытой ловушки. Параметры различных систем существенно отличаются. Для каждой из рассмотренных систем проанализированы потенциальные преимущества и трудности реализации. Важно, что диапазон мощностей различен для каждой из систем, что позволяет рассматривать широкий спектр энергетических приложений таких систем.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации, задание № 13.2573.2014/K.

Литература

1. Чирков А.Ю. // Ядерная физика и инжиниринг. 2013. Т. 4. С. 1050-1059.
2. Чирков А.Ю., Хвесюк В.И. // ВАНТ. Сер. Термоядерный синтез. 2003. Вып. 1. С. 55–65.
3. Чирков А.Ю. // Физико-химическая кинетика в газовой динамике. 2011. Т. 11. [www.chemphys.edu.ru/pdf/2011-02-01-029.pdf](http://www.chemphys.edu.ru/pdf/2011-02-01-029.pdf)
4. Chirkov A.Yu. // J. Fusion Energy. 2013. V. 32, No. 2. P. 208–214.