

## ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОННОЙ СЕТИ ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ СРЕДНЕХОРДОВОЙ ЭЛЕКТРОННОЙ ПЛОТНОСТИ В ДИАГНОСТИКЕ РЕФРАКТОМЕТРИЯ ИТЭР<sup>\*)</sup>

<sup>1,2,3</sup>Владимиров И.А., <sup>1,3</sup>Шелухин Д.А., <sup>4</sup>Демедская Я.А., <sup>1,3</sup>Вершков В.А.

<sup>1</sup>НИИЦ «Курчатовский институт», г. Москва, Россия, [nrcki@nrcki.ru](mailto:nrcki@nrcki.ru)

<sup>2</sup>Московский физико-технический институт (НИУ), г. Москва, Россия, [info@mipt.ru](mailto:info@mipt.ru)

<sup>3</sup>УТС-Центр, г. Москва, Россия, [G.Rozynka@fc.iterru.ru](mailto:G.Rozynka@fc.iterru.ru)

<sup>4</sup>Союз Купера по развитию науки и искусства, Нью-Йорк, США, [rpie@cooper.edu](mailto:rpie@cooper.edu)

Одной из основных диагностических задач, стоящих перед системой Рефлектометрия со стороны сильного поля ИТЭР (55.F9), является оценка среднехордовой электронной плотности. Для решения этой задачи в диагностику был добавлен дополнительный канал рефрактометрии, расположенный в экваториальном порту (EP#08) напротив антенных систем рефлектометра на стороне сильного поля [1]. Основной физический принцип рефрактометрии схож с интерферометрией [2]. Зондирование плазмы будет производиться с использованием необыкновенной волны (X-волны) в окне прозрачности между частотами нижней отсечки X-волны и циклотронной частотой. Близость рабочих частот к границам области прозрачности не позволяет прибегнуть к известному в интерферометрии выражению, связывающему набег фазы прошедшей волны со среднехордовой плотностью. Зависимость показателя диэлектрической проницаемости от локальных значений параметров плазмы не позволяют использовать для интерпретации данных диагностики аналитические соотношения. В данной работе был предложен алгоритм восстановления среднехордовой электронной плотности для рефрактометрической диагностики ИТЭР с использованием нейронных сетей. Для решения задачи использовались расчеты измеряемых параметров с помощью синтетической диагностики в ожидаемых сценариях ИТЭР с тороидальным полем 5,3 Тл [3,4]. На основе полученных значений была построена база данных и проведено обучение нейронной сети. Так как и измеряемые величины (время распространения сигнала по плазме) и параметр плазмы (интегральная плотность) являются интегральными параметрами, можно ожидать, что подход на основе нейронных сетей может обеспечить требуемую ИТЭР точность измерений.

В ходе анализа было показано, что для целевых разрядов максимальная и среднеквадратичная ошибки не превышают 1% на квазистационарной стадии разряда (в области значений тока плазмы, составляющих 90% максимального тока). Время работы алгоритма в среднем составляет около 150 нс, что существенно меньше требуемого времени реакции диагностики при измерениях в режиме реального времени (1 мс). Предлагаемый подход на основе нейронных сетей допускает дальнейшее совершенствование путем обучения на основе реальных данных, полученным во время разрядов на установке ИТЭР, что повышает их адаптивность и точность. Разработанные подходы могут быть использованы для решения задач, связанных с рефрактометрической диагностикой на установках нового поколения.

Данная работа выполнена в рамках работ по госконтрактам № Н.4а.241.19.23.1014 и 17706413348230000070/12-23/01. Все работы по диагностике Рефлектометрия со стороны сильного поля ИТЭР выполнены по заказу Росатома.

### Литература

- [1]. Вершков В.А., Солдатов С.В., Шелухин Д.А., Уразбаев А.О., ПТЭ. 2004. № 2. стр. 54.
- [2]. Petrov A.A., & Petrov V.G. (2003). Time-of-flight refractometry for robust line integral electron density measurements and control in ITER. Rev. Sci. Instrum, 74(3), 1465-1468.
- [3]. T. Casper, Y. Gribov, A. Kavin, V. Lukash, et al. "Development of the ITER baseline inductive scenario", Nucl. Fusion 54 (2014) 013005 (9pp)
- [4]. S. Kim, Data and information associated with Corsica plasma scenarios, ITER IDM UID R4FT8D, 2017

<sup>\*)</sup> DOI – тезисы на английском