

ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ ЗАДАЧ ВОССТАНОВЛЕНИЯ РАВНОВЕСИЯ ПЛАЗМЫ В ТОКАМАКЕ ^{*)}

¹Скопинцев Д.А., ^{1,2}Докука В.Н., ^{1,2}Хайрутдинов Р.Р., ²Андрианова Р.Р.,
²Хайрутдинов Э.Н.

¹ Троицкий институт инновационных и термоядерных исследований, г. Троицк,
г. Москва, Россия, scopintsev.d.a@triniti.ru

² НИЦ «Курчатовский институт», г. Москва, Россия, khayrutdinov_rr@nrcki.ru

Типовые методы восстановления равновесия плазменного шнура в токамаке [1], также как и представленный метод, предполагают известные из эксперимента величины токов в плазме, катушках полоидального магнитного поля и по вакуумной камере, а также значения магнитных полей в датчиках полоидального магнитного поля и потоков в полоидальных магнитных петлях.

В настоящее время проводится множество исследований на токамаках по удержанию плазмы различного поперечного сечения, круглой, вытянутой по вертикали и диверторной, с положительной и отрицательной треугольностью. Задачу восстановления равновесия по данным магнитных датчиков можно разделить на две части. Первая, это восстановление после проведения эксперимента, и вторая, в режиме реального времени в течение разряда.

В первой задаче обычно используются сложные коды, в которых итерационно решается двумерное нелинейное уравнение Грэда-Шафранова, и определяются профили плотности тока. Эта задача требует значительного вычислительного времени. Во второй задаче используются менее точные методы, основанные на представлении плазмы несколькими токовыми филаментами, которые позволяют определять границу плазмы с меньшей точностью, чем в первой задаче, и с большой ошибкой координаты магнитной оси.

Основной задачей управления в режиме реального времени является определение необходимых сигналов из нелинейного отображения магнитных сигналов на значения геометрических параметров [2]. Применение технологии нейронной сети позволяет быстро и эффективно определять параметры формы границы плазмы.

В данной работе используется многослойная нейронная сеть с алгоритмом обратного распространения ошибки. В процессе обучения нейронной сети расчёты прямого равновесия с изменением в заданном диапазоне геометрических величин и параметров плотности тока используются в качестве входных данных нейросети, а на выход нейросети подаются рассчитанные величины сигналов с магнитных датчиков.

Обучающий набор параметров, используемых в качестве желаемых положения и формы границы плазмы, рассчитывается с помощью кода DINA [3], что позволяет получить равновесную конфигурацию плазмы токамака в заданных магнитных полях при условии прохождения границы плазмы через точки, фиксированные в плоскости полоидального сечения токамака.

Литература

- [1]. Bishop C.M., Haynes P.S., Smith M.E.U., Todd T.N., Trotman D.L., Real-time control of a tokamak plasma using neural networks // *Neural Computation*, V. 7, No. 1 (1995), P. 206–217.
- [2]. Докука В.Н., Хайрутдинов Р.Р., Кавин А.А. Синтез и моделирование системы магнитного управления плазмой в токамаке КТМ // *ВАНТ. Сер. Термоядерный синтез*, 2008, Вып. 1, С. 12 – 20.
- [3]. Khayrutdinov R.R., Lukash V.E. Studies of Plasma Equilibrium and Transport in a Tokamak Fusion Device with the Inverse-Variable Technique. // *J. Comput. Physics*, V. 109 (1993), P. 193–201.

^{*)} DOI – тезисы на английском