

## РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ УПРАВЛЕНИЯ ПОЛОЖЕНИЕМ ПЛАЗМЕННОГО ШНУРА В ТОКАМАКЕ С ПРИМЕНЕНИЕМ НЕЙРОННОЙ СЕТИ <sup>\*)</sup>

<sup>1</sup>Андреянова Р.Р., <sup>1</sup>Хайрутдинов Э.Н., <sup>1,2</sup>Докука В.Н., <sup>1,2</sup>Хайрутдинов Р.Р.,  
<sup>2</sup>Скопинцев Д.А.

<sup>1</sup>НИЦ «Курчатовский институт», г. Москва, Россия, [khayrutdinov\\_rr@nrcki.ru](mailto:khayrutdinov_rr@nrcki.ru)

<sup>2</sup>Троицкий институт инновационных и термоядерных исследований, г. Троицк,  
г. Москва, Россия, [scopintsev.d.a@triniti.ru](mailto:scopintsev.d.a@triniti.ru)

Управление плазмой в токамаке является одной из ключевых задач термоядерного синтеза в настоящее время. Применение нейронных сетей позволит разработать систему магнитного управления положением плазменного шнура в токамаке и осуществить само управление в режиме реального времени [1]. Положение и форма границы плазмы зависит от набора параметров, отвечающих за равновесие плазмы при заданных значениях токов в катушках полоидального поля, полного тока в плазме и профиля его плотности.

Нейронная сеть применена для стабилизации положения плазменного шнура круглого сечения по большому радиусу. В качестве примера рассмотрена установка токамак Т-15МД. При работе нейронной сети, рассчитанные параметры сравниваются с их программными значениями и формируются результирующие сигналы отклонений, которые, в свою очередь, используются для коррекции величин токов в катушках полоидальной системы. Для этого используется алгоритм глубокого детерминированного обучения с подкреплением, который определяет оптимальную методику решения задачи [2].

В данной задаче для детерминированного обучения с подкреплением используется линейная модель плазмы, полученная с использованием кода DINA [3]. При получении линейной модели плазмы используется равновесная конфигурация плазмы круглого сечения, которая реализуется во время инициализации плазмы при физическом пуске токамака.

Проведён сравнительный анализ управления положением плазменного шнура в токамаке с использованием нейронной сети и управления со стандартным PID-регулятором.

Преимущество применения нейронной сети в задачах магнитного управления появляется при управлении формой, током и положением шнура одновременно, когда регулятор управления становится матричным и для его разработки потребуются специальные знания и методы, а также будет необходима ручная корректировка матричного регулятора для каждой точки сценария токамака.

Нейронная же сеть позволит разработать матричное управление для всего сценария.

### Литература

- [1]. Degrave J., Felici F., Buchli J. et al. Magnetic control of tokamak plasmas through deep reinforcement learning // Nature 602, 414–419, 2022.
- [2]. Лонца А., Алгоритмы обучения с подкреплением на Python, М.: ДМК Пресс, 2020. – 286 с.
- [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, 109 (1993) 193–201.

<sup>\*)</sup> [DOI – тезисы на английском](#)