Исследование предсказания срыва в плазме токамака с применением свёрточных нейронных сетей [[1]](#footnote-1)\*)

Богданов А.М., Капралов В.Г., Кривошеев А.Н.

СПбПУ, Санкт-Петербург, Россия, [bogdanov\_am@spbstu.ru](mailto:bogdanov_am@spbstu.ru)

Управление гашением плазменного разряда является актуальной проблемой исследований по управляемому термоядерному синтезу. Необходимость предсказания срыва плазменного разряда с достаточным упреждением для запуска систем его предотвращения и/или смягчения показана в работах [1, 2]. Сигнал вероятности срыва через определенный промежуток времени нужно формировать в течение всего разряда. Триггер запуска системы гашения плазменного разряда вырабатывается, когда вероятность срыва превысит пороговое значение.

Разработаны системы массивной газовой инжекции с подвижным клапаном, для активации которого требуется время около 4 мс. Это требует предсказания срыва плазмы с упреждением не менее 5 мс.

Существует несколько методик предсказания срыва. Из наиболее часто использующихся стоит выделить нечеткую логику, различные виды нейронных сетей, машины опорных векторов, байесовские алгоритмы. Для расчета вероятности срыва в системах нечеткой логики происходит переход к лингвистическим переменным, которые обрабатываются с помощью базы продукционных правил, а затем выполняется переход к численному значению выходных переменных.

В случае применения нейронных сетей входные сигналы объединяются в векторный сигнал, задается топология нейронной сети, как правило, представляющей направленный граф, и на основе обучающих примеров подбираются весовые коэффициенты, связывающие узлы графа.

В машине поддержки опорных векторов выполняется отображение обучающих данных в N-мерное пространство, в котором возможно разделение данных на классы гиперплоскостью и задача предсказания сводится к задаче классификации.

Первый подготовительный этап включает отбор измеряемых сигналов и расчетных величин, которые будут использоваться в реальном времени для вычисления вероятности срыва через заданное время [3, 4]. Сначала определяются доступные для измерения в реальном времени сигналы установки и расчетные параметры. Затем выполняется корреляционный анализ с тем, чтобы выявить сильно коррелирующие величины и оставить в формируемом наборе только одну из них.

Для решения задачи предсказания срыва плазменного разряда предложена методика применения сверточной нейронной сети. Дополнительно появляется возможность использовать сигнал вероятности срыва для управления положением оборудования с целью защиты от тепловых нагрузок или ионизирующих излучений, а также для формирования сигналов готовности для других диагностик и элементов системы управления токамаком.

Работы поддержаны ГК Росатом и Минобрнауки России в рамках Федерального проекта 3 (U3), проект № FSEG-2023-0018 «Разработка и создание систем струйной и пеллет инжекции с повышенными производительностью и ресурсом».

Литература

1. Kapralov V.G. et al., Journal of Physics: Conf. Series, 2017, **907**, 1, 012010.
2. Dremin M M et al., Problems of Atomic Science and Tech., Ser. Th. Fusion, 2012 , **4**, 58.
3. Kapralov V.G. et al., Journal of Physics: Conf. Series, 2017, **907**, 1, 012027.
4. Gusev V.R. et. al., Proc of the 21st IAEA FEC. 2006, **16**, 21

1. \*) [DOI – тезисы на английском](http://www.fpl.gpi.ru/Zvenigorod/L/Mu/en/CZ-Bogdanov_e.docx) [↑](#footnote-ref-1)