ПРИМЕНЕНИЕ КЛЕТОЧНЫХ АВТОМАТОВ В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ ТОКАМАКОМ-РЕАКТОРОМ

Капралов В.Г., Седов К.С., Шаров И.А.

Cанкт- Петербургский политехнический университет Петра Великого, г. Санкт-Петербург, Россия, [v.kapralov@spbstu.ru](mailto:v.kapralov@spbstu.ru)

В настоящее время продолжаются активные исследования по разработке и созданию систем управления плазмой (PCS) в установках реакторного масштаба, прежде всего в ИТЭР [1]. Отличительными особенностями таких установок являются, во-первых, существенное превышение запасенной в плазме энергии над энерговооруженностью активных систем, которые могут использоваться для управления плазменным разрядом и, во-вторых, меньший набор доступных диагностических систем, что связано как с возможностью применения только диагностик, устойчивых к нейтронным потокам в реакторе, так и с уменьшением количества датчиков по мере перехода от исследовательских установок к опытным промышленным образцам.

В докладе рассматривается возможность применения теории клеточных автоматов к управлению системами с недостаточной мощностью мгновенного управления. Клеточный автомат - это набор клеток (ячеек), образующих решетку с определенными законами перехода, определяющими состояние клетки в следующий момент времени через состояние клеток в текущий и предыдущие моменты времени. Для простоты без потери общности рассматривается двумерная решетка, в узлах которой располагаются ячейки с параметрами установки и системы управления. Ряды решетки соответствуют последовательным моментам времени. В каждом ряде располагаются ячейки трех типов: (1) - хранят текущее состояние актюаторов (параметры магнитной и вакуумной систем, газонапуска, инжекции, дополнительного нагрева и т.п.); (2) - хранят текущие данные задействованных диагностик; (3) - расчетные параметры, необходимые для управления, определенные по данным в ячейках предыдущего ряда. Следует отметить, что для ячеек второго типа не надо задавать законы изменения состояния при переходе на следующий временной слой, их состояние определяется экспериментальными данными диагностик. Ячейки третьего типа должны включать расчеты необходимых параметров на текущий момент времени, но и прогнозируемых величин, например, вероятность срыва плазмы через заданный момент времени.

При формировании законов перехода необходимо минимизировать численные решения систем уравнений и стремиться к возможности распараллеливания вычислений. Такую возможность предоставляет замена PID-контроллеров на контроллеры с использованием нечеткой логики или нейронных сетей, а также методы вычислений с применением опорных векторов или символьной регрессии. В этом случае ресурсоемкое численной решение уравнений заменяется на более простые вычисления в работы системы управления, а продолжительное обучение системы управления выполняется априорно.

По мере увеличения запасенной энергии в плазме установки нарастают требования к прогнозированию эволюции разряда. В случае, когда мощность воздействия актюатора за время его упреждающего включения достаточна для возвращения плазмы в приемлемое состояние, есть шанс предотвратить срыв плазмы. В противном случае, единственным вариантом управления будет немедленное начало вывода энергии из плазмы, т.к. мощности современных активных систем по гашению разряда существенно превышают мощности нагрева и управления плазмой.

Литература

1. J.A. Snipes et al., Nucl. Fusion, 2017, **57,** 125001