Восстановление сопротивления вакуумной камеры Т-15МД из магнитных измерений на основе решения обратных задач [[1]](#footnote-1)\*)

1Андреев В.Ф., 1,2Недбайлов К.О.

1НИЦ «Курчатовский Институт», Москва, Россия, vfandreev@gmail.com
2МФТИ (НИУ), Долгопрудный, Россия, nedbaijlov.ko@phystech.edu

В настоящее время в НИЦ «Курчатовский институт» идет подготовка к пуску Т-15МД. Вакуумная камера (ВК) токамака толстая с малым омическим сопротивлением, поэтому в ней наводятся большие индукционные токи. Эти токи влияют на равновесие плазмы и, соответственно, на работу алгоритмов управления разрядом. Учет токов с максимальной точностью, является важной задачей для успешного проведения экспериментов на Т-15МД.

При расчете сценариев разряда и в системах управления плазменным разрядом используется двумерная модель ВК токамака Т-15МД. Однако она может сильно отличаться от реальной трехмерной вакуумной камеры. Поэтому использованием такой модели может приводить к большим ошибкам при расчете наведенных токов в ВК токамака. Возникает задача, улучшения и оптимизации двумерной модели ВК токамака Т-15МД.

Двумерная модель ВК заключается в следующем. ВК разбивается на *N* тороидальных витков, для определения наведенных токов в них записываются уравнения Кирхгофа:

  (1)

где *Lij* – коэффициенты взаимной индукции тороидальных витков ВК между собой, *Ij* – ток в *j*-ом витке, *Ri* – сопротивление *i*-го витка, *Lim* – коэффициент взаимной индукции *i*-го тороидального витка и полоидальной обмотки с током, *Im* – ток в полоидальной обмотке.

Отметим, что одним из наиболее чувствительных элементов модели ВК является сопротивления отдельных тороидальных витков, на которые она разбивается в двумерной модели. Для оптимизации модели ВК используются магнитные измерения в специально поставленных экспериментах, для анализа которых формулируется обратная задача.

Зададим в одной из полоидальных обмоток нарастающий ток с фиксированной производной по времени. Тогда спустя резистивное время ток в *i*-ом тороидальной витке ВК выйдет на стационарное значение, т.е. первый член в уравнении (1) обратится в ноль. В этом случае из (1) можно найти ток в каждом *i*-ом тороидальном витке

  (2)

Зная токи в каждом тороидальном витке ВК, можно вычислить магнитное поле в местах расположения магнитных датчиков

  (3)

Зная магнитное поле , которое измеряют датчики, запишем функционал невязки

  (4)

Минимум функционала (4) дает решение задачи, т.е. сопротивление каждого тороидального витка ВК токамака Т-15МД.

На основе «квазиреального» эксперимента были проведены следующие исследования: а) определен оптимальный сценарий эксперимента, т.е. скорость нарастания тока в полоидальной обмотке; б) исследована зависимость точности восстановления сопротивления ВК от погрешности в измерениях магнитными датчиками; в) исследована зависимость точности восстановления сопротивления ВК в зависимости от количества используемых магнитных датчиков. По результатам «квазиреальных» экспериментов даны рекомендации по проведению реального эксперимента на токамаке Т-15МД.

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