ВОССТАНОВЛЕНИЕ ПРОФИЛЯ ТОКА В ТОКАМАКЕ НА ОСНОВЕ МАГНИТНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ С УЧЕТОМ ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ [[1]](#footnote-1)\*)

Зотов И.В., Вертелецкий Н.В.

Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова, факультет ВМК, г. Москва, Россия, [iv-zotov@cs.msu..ru](mailto:email@email.ru), [nikvert322@yandex.ru](mailto:email@email.ru)

В работе рассматривается обратная задача восстановления профиля тока в токамаке с использованием магнитных измерений и дополнительной информации, полученной по различным диагностикам. Известно, что однозначно определить профиль тока в центральной части шнура, основываясь только на магнитных измерениях, затруднительно. Однако, если привлечь дополнительно информацию, такую как распределение электронной температуры, профили плотности, давления, то надежность определения профиля тока из обратной задачи существенно возрастает.

Задача особенно актуальна в связи с подготовкой физического пуска установки токамак Т-15МД в НИЦ "Курчатовский институт". На данной установке предусмотрена обширная система электромагнитной диагностики, включающая в себя более чем 500 датчиков, расположенных в нескольких поперечных сечениях [1-3]. В этот набор входят одно- и двух-компонентные датчики для измерения магнитного поля и магнитного потока, пояса Роговского для измерения тока плазмы и наведенных токов на элементах конструкции, датчики диамагнитного сигнала и др. Кроме этого присутствует диагностика немагнитного характера - комбинированная диагностика CXRS и MSE, позволяющая получать распределения температуры и плотности с хорошим пространственным и временным разрешением. И хотя указанные распределения сами являются результатом решения соответствующей обратной задачи, появляется возможность использовать эти данные для решения задачи восстановления профиля тока.

Таким образом, можно использовать распределение давления для формулировки постановки и разработки алгоритма решения обратной задачи для профиля тока. Численное решение обратной задачи построено на интегро-дифференциальном подходе. Решение прямой задачи МГД-равновесия основано на дифференциальном методе. Решение обратной задачи базируется на линейном интегральном уравнении Фредгольма первого рода. Поскольку задача нелинейна, применяется итерационный процесс последовательных приближений. Интегральное уравнение решается на основе метода регуляризации Тихонова.

Проведено численное исследование зависимости точности восстановления профиля тока от количества магнитных датчиков, погрешности магнитных измерений, погрешности задания дополнительной информации (профиля давления). По результатам моделирования выработаны рекомендации по качеству подготовки исходных данных и необходимым условиям для их получения в эксперименте на установке Т-15МД.

Работа поддержана грантом РФФИ № 20-07-00391.

Литература

1. Melnikov A.V. et al. Physical program and diagnostics of the T-15 upgrade tokamak (brief overview). - Fusion Engineering and Design, 96-97 (2015), pp.306-310.
2. Зотов И.В., Белов А.Г., Сычугов Д.Ю., Лукаш В.Э., Хайрутдинов Р.Р. Численное моделирование системы электромагнитной диагностики токамака Т-15 // ВАНТ. Сер. Термоядерный синтез, 2015, т.38, вып.2, с.51-61.
3. Андреев В.Ф., Балашов А.Ю., Белов А.М. и др. Моделирование магнитных измерений на токамаке Т-15МД с учетом наведенных токов в вакуумной камере // ВАНТ. Сер. Термоядерный синтез, 2021, т.44, вып.4, с.25-42.

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