

## ОПЕРАЦИОННЫЕ ПРЕДЕЛЫ И СООТНОШЕНИЕ СИГНАЛ-ШУМ РЕФЛЕКТОМЕТРА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ПРОФИЛЯ ЭЛЕКТРОННОЙ ПЛОТНОСТИ СО СТОРОНЫ СИЛЬНОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ ДЛЯ УСТАНОВКИ ТОКАМАК Т-15МД<sup>\*)</sup>

<sup>1</sup>Шелухин Д.А., <sup>1</sup>Вершков В.А., <sup>1</sup>Молчанов Д.С., <sup>1</sup>Лукьянов В.В., <sup>1,2</sup>Владимиров И.А.,  
<sup>1,2</sup>Логинов А.А.

<sup>1</sup>НИЦ «Курчатовский Институт», г. Москва, Россия

<sup>2</sup>Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет), г. Долгопрудный, Россия

Диагностика «Рефлектометрия» широко применяется для измерения профиля плотности на действующих и сооружаемых термоядерных установках (см. ссылки в [1]). К преимуществам рефлектометрии относится высокое временное разрешение и пространственное разрешение. В 2022 году рефлектометрия с частотной модуляцией и непрерывной волной (Frequency Modulation Continuous Wave – FMCW) была предложена для поведения измерений плотности на установке Т-15МД [1]. Было предложено использовать схему измерений, предлагаемую для ИТЭР, а именно – сочетание зондирования со стороны сильного магнитного поля и отражения от нижней отсечки необыкновенной (Х) волны [2].

В данной работе была проведена оценка возможности проведения измерений на установке Т-15МД в широком диапазоне плотностей и значений тороидального поля. Из-за сложностей при интеграции внутрикамерной части приемно-передающего тракта в окружение было принято решение о применении в качестве элементов волноводного тракта прямоугольных волноводов с внутренним сечением  $16 \times 8$  мм вместо запланированных волноводов сечением  $23 \times 10$  мм. Это привело к необходимости ввода в состав диагностики канала для измерения профиля со стороны сильного магнитного поля на обыкновенной (О) волне. Диапазон измерений на О- и Х-волне в диапазоне частот от 12 до 66 ГГц обеспечивает корректное восстановление профиля в режимах с плотностью на сепаратрисе выше  $4 \cdot 10^{18}$  м<sup>-3</sup>.

Показано, что в режимах с магнитным полем на оси  $B_T = 2$  Тл диагностика может осуществлять измерения в центре плазменного шнура вплоть до плотностей порядка  $7 \cdot 10^{19}$  м<sup>-3</sup> при использовании СВЧ-источников с частотой до 66 ГГц. Ограничение максимальной измеряемой плотности связано с поглощением зондирующей волны на фундаментальной частоте электронного циклотронного резонанса. Измерения во внешней половине шнура возможны вплоть до плотности порядка  $1 \cdot 10^{20}$  м<sup>-3</sup>. Следует отметить, что в режимах с меньшим тороидальным полем ожидается снижения диапазона измеряемых плотностей до  $\sim 4 \cdot 10^{19}$  м<sup>-3</sup>.

Анализ влияния мелкомасштабных возмущений плотности на измерения был выполнен с использованием аналитических оценок, приведенных в [3]. Показано, что измерения профиля электронной плотности возможны при уровне флуктуаций, не превышающих 0,2% – 0,4% в центральной части плазменного шнура, что примерно на 20% – 30% ниже наблюдаемого уровня флуктуаций в современных установках.

Для диагностики был проведен анализ баланса СВЧ мощности и соотношения сигнал-шум. Показано, что в ожидаемых режимах работы Т-15МД соотношение сигнал-шум для диагностики составит 35 – 45 дБ.

Работа проведена в рамках выполнения государственного задания НИЦ «Курчатовский Институт»

### Литература

- [1]. Шелухин Д.А., Субботин Г.Ф., и др. // Физика плазмы, 2022, Т. 48, № 7, С. 579-598.
- [2]. Вершков В.А., Солдатов С.В., Шелухин Д.А., Уразбаев А.О. // ПТЭ, 2004, № 2, С. 54.
- [3]. Mazzucato E., Nazikian R. // Rev. Sci. Instrum., 1995, 66 (2), P. 1237–1240.

<sup>\*)</sup> DOI – тезисы на английском