

ВЛИЯНИЕ ЭЦР-НАГРЕВА НА МГД-АКТИВНОСТЬ ПЛАЗМЫ НА УСТАНОВКЕ ТОКАМАК-10

В.В.Аликаев, М.М.Степаненко

На термоядерной установке Т-10 изучено влияние ЭЦР-нагрева на поведение МГД-моды $m/n = 2/1$ вблизи резонансной поверхности $q = 2$. Показано, что нагрев плазмы вне (внутри) поверхности $q = 2$ стабилизирует (дестабилизирует) моду $(2/1)$.

В работе ¹ были рассчитаны профили распределения тока в установках типа токамак, для которых в рамках линейной теории разряд оказывается стабильным по отношению к МГД-неустойчивостям. Эти результаты в дальнейшем были подтверждены расчетами нели-

²⁾ См. в связи с этим работу ⁷, где рассматриваются колебания ЦМД с БЛ без учета изгиба ДГ.

нейной теории ², которые показали, что подавление МГД-мод $m/n = (2/1)$ и $(3/2)$ возможно увеличением температуры (и следовательно плотности тока) снаружи резонансной поверхности $q = 2$. Наконец, в ³ были проведены расчеты влияния нагрева плазмы на электронно-циклотронном резонансе (ЭЦР), из которых следовало, что поглощение мощности $\sim 1 \text{ Вт/см}^3$ вблизи поверхности с $q = 2$ гасит моды $(2/1)$ и $(3/2)$ в течение нескольких десятков микросекунд.

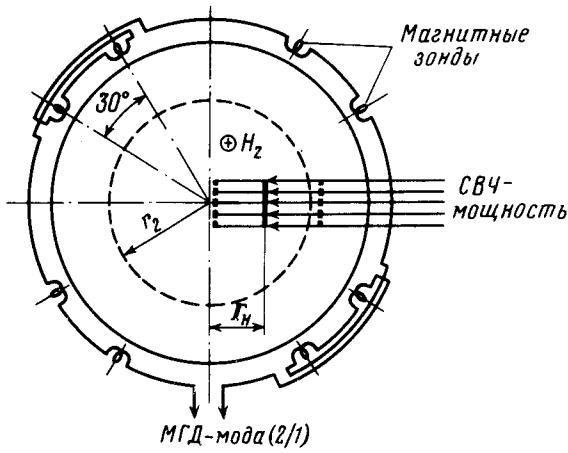


Рис. 1

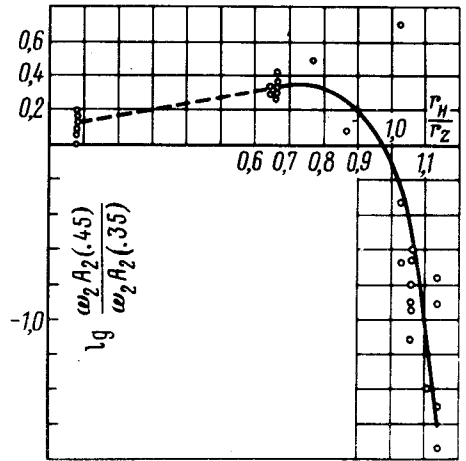


Рис. 3

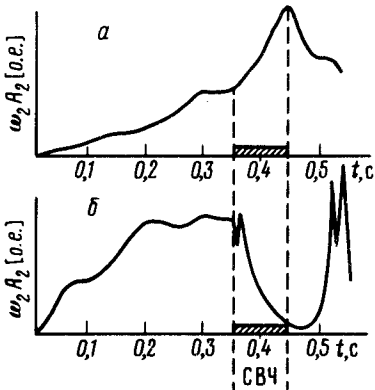


Рис. 2

На установке Т-10, на которой ведется большая программа по ЭЦР-нагреву плазмы ⁴, была проведена серия экспериментов по его влиянию на интенсивность моды $(2/1)$ при нагреве вблизи резонансной поверхности $q = 2$. Положение радиуса нагрева r_H задавалось величиной тороидального магнитного поля H_z , которое в данных экспериментах варьировалось от 30,4 до 34,0 кЭ, что соответствовало смещению ЭЦР от 2 до 21 см наружу от геометрической оси малого сечения тора (рис. 1). Мощность вводимой энергии 650 кВт на длине волны 3,6 мм, плотность мощности – приблизительно 2 Вт/см^3 , длительность 0,1 с. Радиус резонансной поверхности $q = 2$ был рассчитан из рентгеновских измерений температуры и эффективного заряда и равнялся 18 см при $H_z = 34 \text{ кЭ}$. Мода $(2/1)$ регистрировалась при помощи системы магнитных зондов, расположенных и соединенных так, как показано на рис. 1. Измерения проводились в следующем режиме работы Т-10: ток 225 ... 280 кА, магнитное поле 30,4 ... 34,0 кЭ, плотность $(3 \dots 4,5) \cdot 10^{13} \text{ см}^{-3}$, радиус подвижной диафрагмы 34,5 и 28 см, запас устойчивости на диафрагме 3,2 ... 4,7.

На рис. 2, а показана осциллограмма огибающей сигнала моды $(2/1)$ в режиме с ЭЦР-нагревом внутри поверхности $q = 2$, а рис. 2, б – вне поверхности $q = 2$ ($r_H = 21 \text{ см}$). Видно, что в первом случае нагрев воздействует на моду $(2/1)$ дестабилизирующе (увеличивает сигнал в два раза), а во втором – стабилизирует ее (уменьшает сигнал приблизительно на порядок). Значение сигнала пропорционально произведению амплитуды и частоты наведенной

на катушке ЭДС. Измерение частоты моды показало, что при ЭЦР-нагреве частота изменяется в фазе с МГД-сигналом. Существенно отметить, что при "внутреннем" нагреве (рис. 2, а) увеличение уровня сигнала обязано в основном росту частоты, а при "внешнем" нагреве (рис. 2, б) уменьшение сигнала — уменьшению амплитуды.

На рис. 3 представлены экспериментальные данные по совокупности измерений: по абсциссе отложено отношение радиуса ЭЦР r_H к радиусу r_2 поверхности $q = 2$, по ординате — логарифм отношения сигнала моды $(2/1)$ в конце нагрева (на 0,45 с) к его величине до нагрева (на 0,35 с).

Из приведенных данных можно сделать вывод о принципиальной правильности концепции стабилизации и даже подавления МГД-неустойчивости $(2/1)$ путем увеличения электронной температуры вне рациональной поверхности $q = 2$. Это дает основание надеяться на использование ЭЦР-нагрева в целях предупреждения неустойчивостей, приводящих к большому срыву, а также на расширение рабочего диапазона запаса устойчивости на диафрагме в область с $q < 2$.

Данная работа является по существу результатом коллективных усилий группы Т-10 и авторы выражают ей свою благодарность.

Литература

1. Glasser A.H., Furth H.P., Rutherford P.H. Phys. Rev. Lett., 1977, 38, 234.
2. Holmes J.A. et al. Nucl. Fusion, 1979, 19, 1333.
3. Chan V., Guest G. Nucl. Fusion, 1982, 22, 272.
4. 10-th Europ. Conf. on Contr. Fusion and Pl. Phys., Moscow, 1981, v. 2, p. 11.

Поступила в редакцию
7 июля 1984 г.