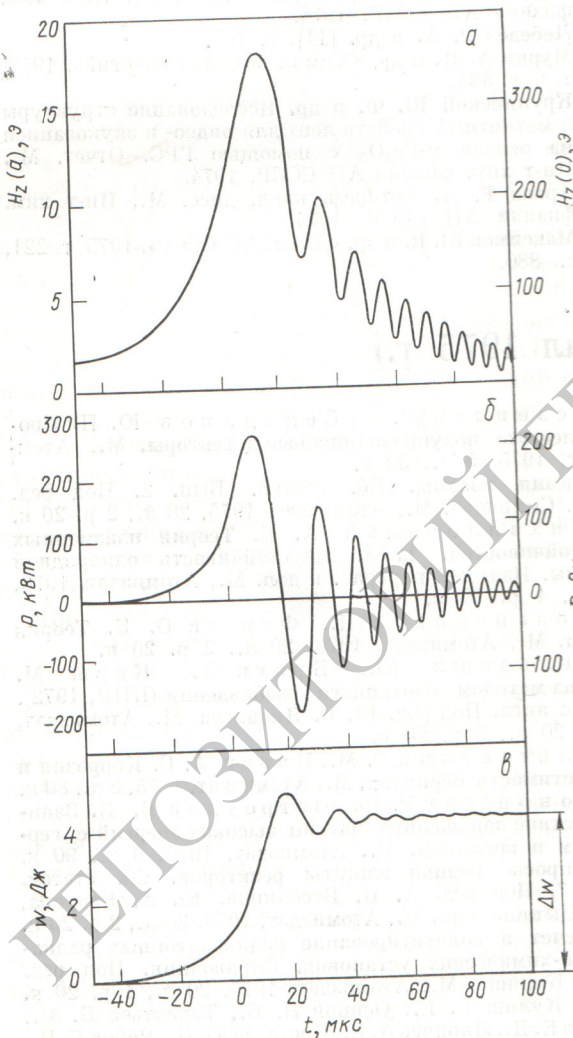


УДК 533.9:621.039.61

## О динамике передачи ВЧ-мощности при магнитно-звуковом нагреве плазмы в токамаке

ИВАНОВ Н. В., КОВАН И. А.



Расчетные динамические характеристики плазменного резонатора:

*a* — амплитуда продольного ВЧ-магнитного поля у стенки камеры  $H_z(a)$  и на оси  $H_z(0)$ ; *б* — ВЧ-мощность  $P$  и вносимое активное сопротивление; *в* — энергия ( $w$ )

Один из перспективных методов дополнительного нагрева плазмы в установках токамак — метод магнитно-звукового резонанса. Он основан на использовании собственных магнитно-звуковых колебаний плазменного шнура, обеспечивающих эффективный ввод ВЧ-энергии вглубь плазмы. Возбуждение колебаний осуществляется обычно с помощью петлевых возбуждителей, размещенных в тени диафрагмы и соединенных с ВЧ-генератором. В условиях резонанса в цепь петли возбуждителя вносится активная составляющая сопротивления, которая определяет нагрузку ВЧ-генератора и зависит от параметров плазмы. Настоящая работа посвящена вычислению этого вносимого сопротивления методом разложения по собственным функциям плазменного резонатора при учете неоднородности его заполнения плазмой и нестационарности во времени, а также сравнению [результатов расчета с экспериментальными данными, полученными на токамаке ТО-1.

Расчеты выполнены для трех случаев резонанса: стационарного (собственная частота плазменного резонатора не меняется со временем), квазистационарного (за «время установленных колебаний»  $2Q/\omega$  фаза колебаний меняется незначительно), динамического (когда условие квазистационарности не выполняется).

Показано, что в то время как в стационарном случае ВЧ-мощность пропорциональна добротности плазменного резонатора в квазистационарном и динамическом режимах средняя во времени ВЧ-мощность не зависит от добротности и растет пропорционально плотности спектра собственных колебаний. При этом передача энергии в плазму происходит отдельными порциями, связанными с последовательным возбуждением различных типов собственных колебаний. Расчетные динамические характеристики плазменного резонатора, полученные для условий эксперимента на токамаке ТО-1, изображены на рисунке.

В настоящей работе получены аналитические формулы для вносимого сопротивления, в которые входят численные коэффициенты, зависящие от формы пространственного распределения концентрации плазмы в токамаке. Коэффициенты вычислены на ЭВМ для 30 низших типов радиальных колебаний путем интегрирования пространственной части волнового уравнения с переменными коэффициентами. Расчеты проводились для модели плазменного цилиндра с различными осесимметричными формами радиального распределения концентрации плазмы. Результаты расчетов представлены графически. На их основании можно сделать



вывод, что при колоколообразном профиле радиального распределения плотности плазмы поля собственных колебаний концентрируются к оси плазменного шнура. По сравнению с однородным распределением плотности это приводит, с одной стороны, к уменьшению связи резонатора с возбудителем, с другой стороны, — к сни-

жению потерь энергии в стенке камеры и периферических областях плазмы.

(№ 832/8210. Поступила в Редакцию 17/II 1975 г., аннотация — 24/X 1975 г. Полный текст 0,8 а. л., 5 рис., 11 библиогр. ссылок).

УДК 533.9:621.039.61

## О применимости метода магнитно-звукового нагрева при термоядерных параметрах плазмы в токамаке

ИВАНОВ Н. В., КОВАН И. А.

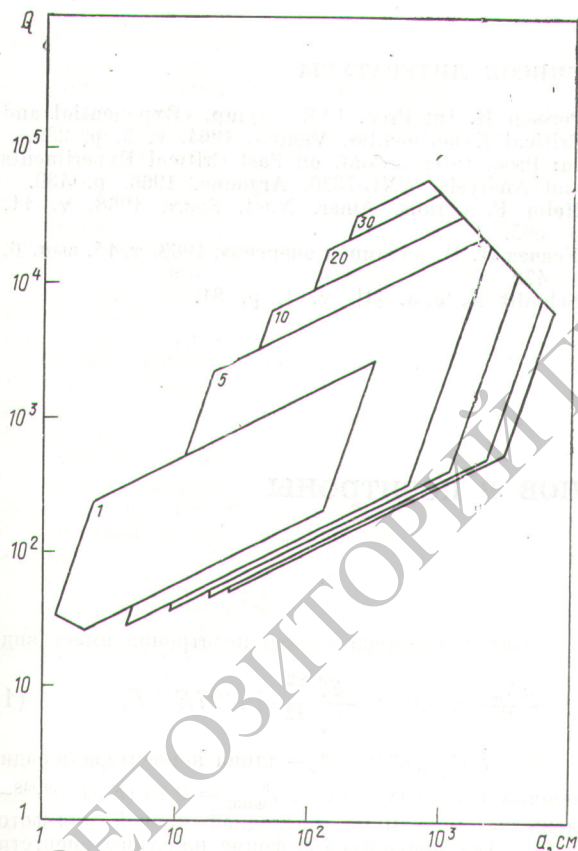
В статье рассматривается применимость метода магнитно-звукового нагрева при термоядерных параметрах плазмы в токамаке. Для этого определяются

пределы, в которых должна лежать добротность плазмы, чтобы обеспечить введение в токамак с помощью одновиткового возбудителя ВЧ-мощности, равной мощности потерь тепловой энергии из плазмы. В качестве примера рассмотрен токамак, работающий на смеси дейтерия и трития, имеющий следующие параметры: температура плазмы  $T = T_e = T_i = 2 \cdot 10^4$  эВ, концентрация заряженных частиц  $n = 10^{14}$  см $^{-3}$ ,  $n\tau = 2 \cdot 10^{14}$  см $^{-3}$ ·с, тороидальное магнитное поле  $H_0 = 50$  кэ, аспектовое отношение  $R/a = 4$ . Предполагается, что стенка камеры токамака и возбуждающая петля изготовлены из материала с проводимостью  $\sigma = 5 \cdot 10^{16}$  единиц CGSE. Хотя выбранные параметры плазмы могут быть получены, по-видимому, лишь в установках достаточно больших размеров, в работе нет ограничения на эти размеры и найдены пределы, в которых должна лежать добротность в зависимости от малого радиуса камеры токамака. Критерии, определяющие добротность, — высокий КПД нагрева, достаточная электрическая прочность и возможность охлаждения петли возбудителя. В статье рассматриваются слабокосые осесимметричные магнитно-звуковые колебания в цилиндрическом приближении. Они в плазме возбуждаются петлей, охватывающей плазменный шнур и размещенной в специальном кольцевом углублении в стенке камеры.

Полученные ограничения добротности плазмы показаны на рисунке для различных типов колебаний для параболического профиля радиального распределения концентрации плазмы. Из рисунка видно, что имеются широкие области значений добротности и размеров токамака, в которых все перечисленные условия удовлетворяются одновременно.

Физические механизмы диссипации энергии магнитно-звуковых колебаний, которым посвящено большое число теоретических и экспериментальных работ, в статье не обсуждаются. Как показывают оценки, в рассматриваемых условиях вполне возможно использование таких бесстолкновительных механизмов, как циклотронный и черенковский. Однако их точный учет в применении к токамаку требует дополнительного изучения.

(№ 833/8332. Поступила в Редакцию 21/V 1975 г., аннотация — 24/X 1975 г. Полный текст 0,45 а. л., 2 рис., 11 библиогр. ссылок).



Области допустимых значений добротности плазмы, пригодные для нагрева. Цифрами обозначены номера радиальных типов колебаний