

## Обнаружение закипания жидкометаллического теплоносителя

АЛЕКСАНДРОВ К. А., АФАНАСЬЕВ В. А., ГАТАУЛЛИН Н. Г., ГОЛУШКО В. В.

Одним из методов обнаружения закипания теплоносителя в активной зоне быстрых реакторов является акустический [1], основанный на регистрации шумов от зарождающихся и «схлопывающихся» паровых пузырей. Основная трудность его использования в энергетических реакторах связана с наличием интенсивного шумового фона, вызываемого работой насосов и течением теплоносителя. Поэтому необходим правильный выбор частотного диапазона регистрации с наилучшим отношением сигнал — шум при сохранении достаточной интенсивности полезного сигнала.

На реакторе БОР-60 исследована регистрация закипания натрия различными датчиками. Использовалась сборка, включающая в себя кипяtilьное устройство и акустические датчики: волноводный (стальной стержень диаметром 10 мм и длиной 7 м с закрепленным на верхнем конце пьезоэлементом из керамики ЦТС-19) и погружные (с пьезоэлементом из керамики ЦТС-19) и погружные (с пьезоэлементом из ниобата лития [2] и керамики ЦТС-19). Диаметр и толщина пьезоэлемента первого погружного датчика составляет 10 и

3 мм, второго — 12 и 1,5 мм. Сборка помещалась над активной зоной; датчики находились на уровне головок пакетов на расстоянии 250 мм от кипяtilьного устройства.

Работа кипяtilьного устройства основана на пропускании переменного тока через трубку с натрием; объем нагреваемого натрия 3 см<sup>3</sup>. При кипении выходящие из трубки паровые пузырьки «схлопываются» в объеме недогретого натрия. Момент вскипания контролируется по скачкообразному уменьшению тока питания. Выход в режим кипения производился 25 раз при различных расходах теплоносителя через реактор.

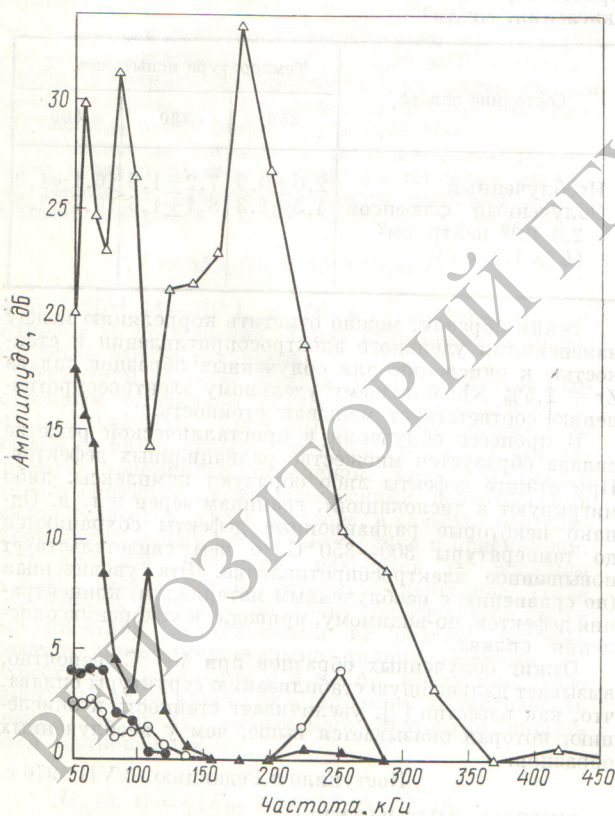
Исследования собственных шумов реактора БОР-60 показали, что эффективное значение амплитуды шума связано только с изменением расхода теплоносителя; форма спектра остается при этом практически неизменной. Изменения температуры и мощности реактора в широком диапазоне не оказывают заметного влияния ни на амплитуду, ни на спектр шума, что согласуется с данными работы [1]. На частотах выше 100 кГц шумов реактора практически нет.

Эксперименты проводились при нулевой мощности реактора и температуре 210 °С, что позволило упростить конструкцию сборки и использовать пьезокерамический погружной датчик, обладающий высокой чувствительностью. Помимо указанных акустических датчиков в экспериментах использовался прижимной датчик с пьезоэлементом из керамики ЦТС-19 диаметром 10 и толщиной 1,5 мм, который устанавливался на крышке реактора. Этот датчик регистрировал наибольший по сравнению с остальными уровень фонового шума на всех частотах.

Сигналы от пьезодатчиков подавались на широкополосный предусилитель, а от него через ВЧ-фильтр с частотой «среза» 50 кГц на основной усилитель. Далее сигнал поступал на анализатор случайных процессов [2], позволяющий проводить амплитудный, временной и параллельный частотный анализы в диапазоне частот 20—500 кГц.

При всех измерениях спектров шумов кипения для избежания регистрации сигналов в отсутствие кипения дискриминационный порог прибора был установлен несколько выше уровня фоновых шумов, зарегистрированных датчиком на крышке при максимальном расходе. На рисунке показаны спектры шумов кипения, зарегистрированных разными датчиками при нулевом и максимальном расходе теплоносителя через реактор. Координаты отдельных точек определяются средней частотой резонансных фильтров анализатора и средней за время измерения амплитудой сигналов, отнесенной к величине порога дискриминации, постоянного во всех экспериментах.

Наиболее успешно сигналы кипения регистрируются погружным датчиком (с пьезоэлементом из керамики ЦТС-19). Следует отметить, что кипение может быть зарегистрировано даже датчиком, установленным на крышке реактора. Для погружного датчика отношение эффективного значения сигнала при кипении к фоновому шуму в диапазоне частот выше 50 кГц составляет не менее 30 дБ при максимальном расходе теплоносителя. Причем это отношение возрастает с увеличением частоты.



Спектры шумов кипения натрия:

● — погружной датчик из ниобата лития (нулевой расход);  
○ — волноводный датчик (расход 960 м<sup>3</sup>/ч); ▲ — прижимной датчик на крышке реактора (нулевой расход); ▲ — погружной датчик из пьезокерамики (расход 960 м<sup>3</sup>/ч)

Измерения показали, что для обнаружения закипания натрия в реакторе наиболее приемлема область частот 80—300 кГц, где наблюдается максимальное отношение сигнал — шум. Использование пьезодатчиков с резонансами на частотах в этой области позволяет более уверенно выделять полезные сигналы. Кипятильное устройство простой конструкции, примененное в экспериментах, может быть удобным средством наладки и контроля акустических систем диагностики

закипания натриевого теплоносителя в быстром реакторе.

Поступило в Редакцию 13/VII 1976 г.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Баранов В. М. Ультразвуковые измерения в атомной технике. М., Атомиздат, 1975.
2. Александров К. А. и др. Препринт НИИАР П-9(275). Димитровград, 1976.

УДК 621.039.6

**Прямое преобразование энергии моноэнергетических пучков ионов с компенсацией объемного заряда**

ВИНОГРАДОВА О. А., ДИМИТРОВ С. К., ЛУЦЬКО А. С., СМЕРНОВ В. М., ТЕЛЬКОВСКИЙ В. Г.

Одним из способов нагрева плазмы в токамаках может служить инжекция в плазму быстрых атомов [4]. Оценки показывают [2], что достаточно высокий энергетический КПД ( $\geq 0,7$ ) можно получить, если применить прямое преобразование энергии ионов, неперезарядившихся в нейтрализаторе.

В настоящей работе рассматривается преобразователь с применением компенсации объемного заряда ионов электронным потоком в скрещенных магнитном и электрических полях ( $E \times H$ ), что позволяет преобразовывать энергию сравнительно плотных ионных пучков. Устройство более компактно, чем предложенные ранее. В настоящее время намечено несколько вариантов расположения преобразователя в системе инжекции. В работе [2] предлагается развернуть пучок неперезарядившихся ионов с помощью отклоняющего магнита приблизительно на  $90^\circ$  и затем преобразовать его энергию. Можно развернуть пучок с помощью магнитного поля токамака. Предложена также система преобразования энергии ионов вдоль тракта потока, т. е. так называемое пролетное преобразование.

Рассматриваемый в настоящей работе преобразователь с  $E \times H$ -полями целесообразно применять в схеме с отклоняющим магнитом. Прибор располагается непосредственно за магнитом и позволяет преобразовать энергию пучка с той плотностью, с какой он выходит

из магнита. В этом случае нет необходимости расширять пучок до низкой плотности, так как в преобразователе с  $E \times H$ -полями объемный заряд компенсируется электронными потоками. Поперечные размеры потока относительно невелики, и для отвода электронов из пучка можно применить не сетки, а линзу, что позволит значительно повысить плотность потока энергии.

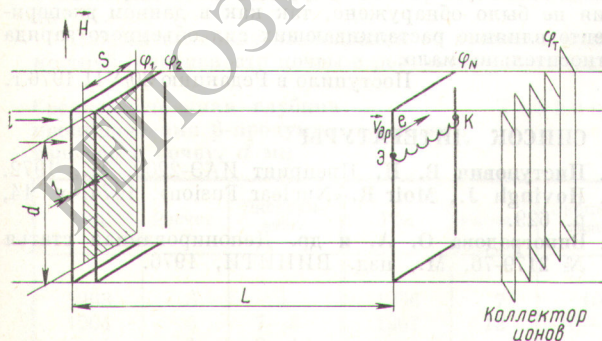
Схема преобразования с  $E \times H$ -полями показана на рис. 1. Поток ионов охватывается рамками, одна сторона которых является эмиттером (Э) электронов, а противоположная коллектором (К). На рамки подаются потенциалы  $\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_N$ , линейно растущие с расстоянием по мере приближения к коллектору ионов, который состоит из пластинок-жалюзи под потенциалом торможения  $\varphi_T$ .

В настоящей работе оценены потери мощности при торможении в такой системе плотного пучка ионов высокой энергии ( $n_i = 10^9 \div 10^{11} \text{ см}^{-3}$  — плотность пучка ионов;  $W_i = 100 \div 200 \text{ кэВ}$  — энергия пучка ионов). Эти значения плотности и энергии характерны для потоков ионов в инжекторе термоядерных реакторов на основе токамака или открытой ловушки. В зависимости от энергии и плотности пучка ионов на параметры преобразователя ( $H$  — внешнее магнитное поле;  $L$  — длина тормозящего промежутка;  $S$  и  $d$  — поперечные размеры пучка ионов вдоль дрейфовой скорости  $v_{др}$  и вдоль  $H$  соответственно;  $l$  — расстояние от рамок эмиттеров до пучка ионов) накладываются ограничения, которые определяются следующими условиями [3]: малость тормозящего промежутка по сравнению

с ларморовским радиусом ионов  $\alpha_1 = r \frac{L}{r_{Li}} \ll 1$ ; малость ларморовского радиуса электронов по сравнению с длиной тормозящего промежутка  $\alpha_2 = r \frac{r_{Le}}{L} \ll 1$ ;

малость мощности, затрачиваемой на нагрев тепловых электронных эмиттеров  $P_\partial$  по сравнению с мощностью пучка ионов  $P_i$ ,  $\alpha_3 = \frac{P_\partial}{P_i} \ll 1$ ; малость потерь на

ускорение электронов, вытягиваемых в пучок с эмиттера, при образовании виртуального анода в области эмиттер — пучок и недостаточной компенсации пучка электронами  $\alpha = P_\partial/P_i$ , где  $P_\partial$  — мощность ускорен-



Р и с. 1. Схема преобразователя с  $E \times H$ -полями