АКУСТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ, 1995, том 41, № 4, с. 638 - 639

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 534.26

О СОГЛАСОВАНИИ ЧАСТОТ КОЛЕБАНИЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ И ТЕРМОАКУСТИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ В ПАРОГЕНЕРИРУЮЩИХ КАНАЛАХ

© 1995 г. И. Л. Бошкова, В. В. Зродников, Л. Г. Калинин, Г. Ф. Смирнов

Одесская государственная академия холода

270100 Одесса, ул. Петра Великого, 1/3

Поступила в редакцию 26.06.94 г.

Охлаждение мощной аппаратуры, содержащей теплонагруженные элементы с большими (порядка 10^6 - 10^7 Вт/м^2) плотностями тепловых потоков, обеспечивается, как правило, в режиме кипения недогретой жидкости при ее вынужденном движении по гидравлическим каналам. Кипение недогретой жидкости в каналах сопровождается колебаниями давления значительной амплитуды, получившими название "термоакустические колебания". В задачах, связанных с охлаждением аппаратуры, это явление рассматривается как негативное, приводящее к выходу из строя аппаратов [1 - 3].

Термоакустические колебания давления исследовались авторами в течение ряда лет на каналах прямоугольного и круглого сечения с эквивалентным диаметром 1 - 4 мм при давлениях 0.1 - 0.6 МПа, скоростях потока 0.5 - 16 м/с и больших недогревах жидкости 40 - 180°С. В результате систематических исследований установлены закономерности этого явления и разработана математическая модель, в соответствии с которой термоакустические колебания при кипении недогретой жидкости в каналах суть резонансные колебания в упругой парожидкостной среде, ограниченной стенками и сечениями входа–выхода канала, возбуждаемые и поддерживаемые источниками вынужденных механических колебаний, роль которых выполняют действующие центры парообразования [4 - 6].

В ходе экспериментов на рабочих участках, имитирующих гидравлические каналы реальных приборов (рис. 1), в которых тепловая нагрузка q создавалась путем пропускания электрического тока через токопроводящую стенку канала, было обнаружено существенное влияние частоты питающего электрического тока на амплитудно-частотные характеристики колебаний давления. В экспериментах собственная частота колебаний парожидкостного столба в канале изменялась в пределах 120 - 1800 Гц в зависимости от режимных параметров кипения (паросодержания) и геометрии канала, а частота вынужденных колебаний определялась частотой действующих центров парообразования и находилась в пределах 10^2 - 10^3 Гц. При обогреве постоянным электрическим током резонансные режимы (резкое увеличение амплитуды колебаний при монотонном изменении варьируемого параметра) возникали при согласовании частот собственных и вынужденных колебаний, а частота главного максимума в спектре колебаний была равна или кратна собственной частоте колебаний парожидкостного потока (рис. 2). При обогреве переменным электрическим током резонансные режимы не возникали, а частота главного максимума соответствовала удвоенной частоте питающего тока во всем диапазоне изменения режимных и геометрических факторов. Указанные особенности в спектре колебаний давления проявлялись в том

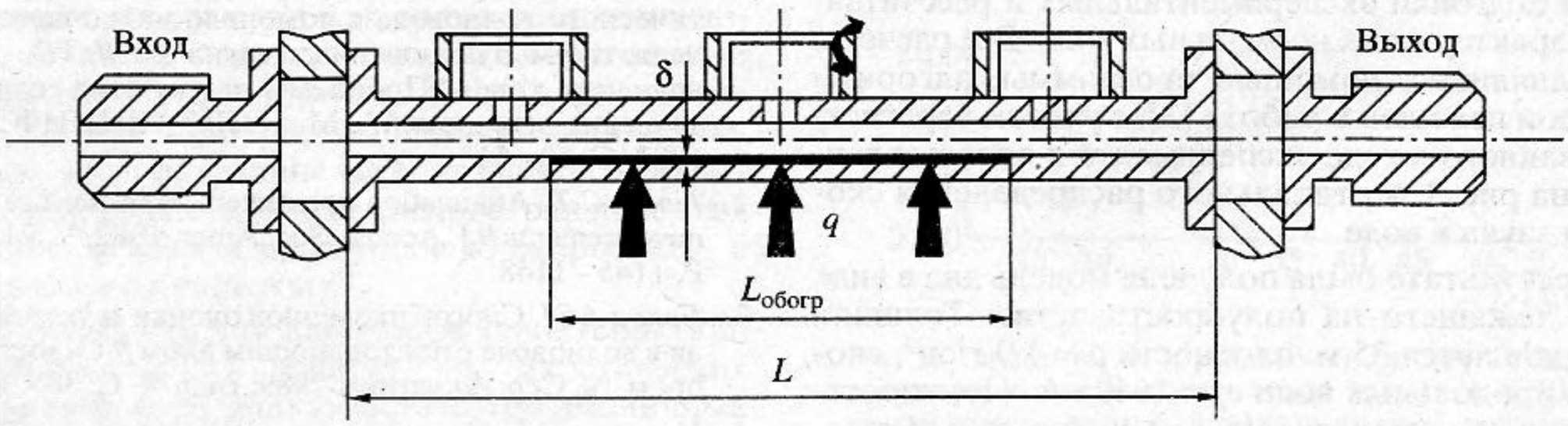

Рис. 1. Схема рабочего участка с подводом теплового потока q по длине рабочего участка.

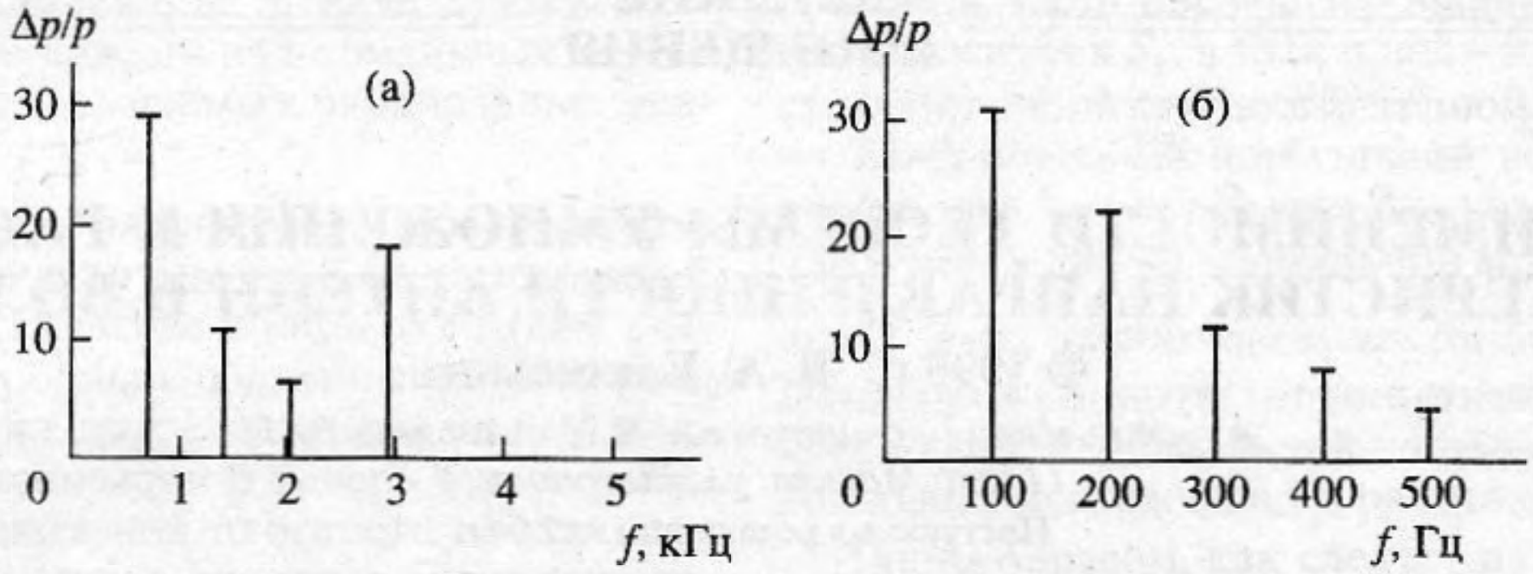

Рис. 2. Типичный спектр акустических колебаний в канале при обогреве постоянным (а) и переменным (б) электрическим током.

случае, когда толщина тепловыделяющей стенки канала удовлетворяла условию

$$\frac{a}{\delta^2} > f_n,$$

где a – коэффициент температуропроводности стенки, δ – толщина тепловыделяющей стенки, f_n – частота образования пузырей (частота действия центров парообразования).

Несмотря на то, что по техническим причинам опыты с обогревом переменным электрическим током проводились при фиксированной частоте (50 Гц), авторы полагают, что данный экспериментальный факт свидетельствует о возможности формирования необходимого спектра термоакустических колебаний путем изменения частоты питающего тока, а сам факт можно рассматривать как новый эффект, связанный с трансформацией электрической энергии в энергию термоакустических колебаний давления.

Полученный эффект представляет интерес с позиций его использования для преобразования электрической энергии колебаний в акустическую. Возможность динамического управления спектром акустических колебаний путем изменения частоты источника электрической энергии может быть положена в основу создания генераторов акустических сигналов, у которых отсутствуют движущиеся механические части. Практическое применение такие генераторы могут найти в гидроакустике, в частности, в задачах по созданию системы когерентных источников колебаний. Привлекательными представляются перспективы применения указанного эффекта в различных технологических процессах, связанных с подводом тепла к обрабатываемому в жидких средах материалу (химическая, фармацевтическая, пищевая промышленность), в которых возбуждение колебаний определенной частоты способствует их интенсификации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Кафенгауз Н.Л., Федоров М.И.* О разрушениях труб ВЧ колебаниями давления, возникающими при теплообмене // Атомная энергия. 1967. Т. 23. № 2. С. 147 - 148.
2. *Хмара В.А., Манкеев В.П., Войцеховский А.И.* Акустические пульсации давления при кипении охлаждающей жидкости – причина усталостного разрушения теплонагруженных элементов ЭВП // Электронная техника. Сер. I. Электроника СВЧ. 1974. № 6. С. 78 - 81.
3. *Кафенгауз Н.Л., Пантелеев В.В.* Анализ исследования термоакустических автоколебаний при теплоотдаче к жидкости в большом объеме и к турбулентному потоку жидкости в трубах. М.: Информэнерго, 1976. 44 с.
4. *Зродников В.В., Калинин Л.Г., Смирнов Г.Ф., Тихонов А.А.* Исследование пульсационных режимов движения в каналах систем жидкостного охлаждения РЭА // Вопросы радиоэлектроники. Сер. ТРТО. 1982. № 3. С. 97 - 100.
5. *Зродников В.В.* Расчетные зависимости для определения колебаний давления в каналах с поверхностным кипением теплоносителя // Вопросы радиоэлектроники. Сер. ТРТО. 1988. № 13. С. 107 - 110.
6. *Зродников В.В., Смирнов Г.Ф.* Резонансные термоакустические явления при кипении недогретой жидкости в каналах // Тез. докл. II Минского международного форума "Тепломассообмен в двухфазных системах". Минск, 1992. Т. 4. Ч. 2. С. 36 - 39.