Автореф
3-90

ОДЕССКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ ХОЛОДА

На правах рукописи

Бродников Владимир Васильевич

ТЕРМОАКУСТИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ В ПАРОГЕНЕРИРУЮЩИХ КАНАЛАХ ЭЛЕКТРОННЫХ ПРИБОРОВ

Специальность 05.14.05 – Теоретические основы теплотехники

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук

XV 1079
Інститут холоду
ОНАХТ
бібліотека

Одесса-1995

Работа выполнена в НИИ "Шторм".

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор СМИРНОВ Г.Ф.

Официальные оппоненты – доктор технических наук, профессор БАРАНЕНКО В.И.

доктор технических наук, профессор БУРДО О.Г.

Ведущее предприятие – Одесский государственный политехнический университет

Защита диссертации состоится "20" марта 1995 года в 11 часов на заседании специализированного Совета К.068.27.01 при Одесской государственной академии холода по адресу: 270100, г.Одесса, ул.Петра Великого, 1/3 - ОГАХ.

С диссертационной работой можно ознакомиться в библиотеке ОГАХ.

Автореферат разослан "18" февраля 1995 года.

Ученый секретарь
специализированного Совета,
докт.техн.наук,проф. Р.К.Никульшин

...-03-05 от 17.02.95

...да с ПИ-регулятором

...ские характер

...о к печати 10.02.9...
...-95

Изм.	Листа	№ докум.	Подпись	Дата

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. Эксплуатация многих теплонагруженных приборов, в частности приборов СВЧ-диапазона, лазерных устройств, связана с применением жидкостного охлаждения в условиях кипения недогретой жидкости. При этом в гидравлических каналах приборов возникают высокочастотные (от десятков герц до десятков тысяч герц) колебания давления, получившие в литературе название "термоакустические колебания" (ТАК). В зависимости от режимных, физических и геометрических параметров эти колебания могут стать соизмеримыми с уровнем рабочего давления жидкости в канале и привести к снижению прочностных и надежностных характеристик устройств. Опыт эксплуатации устройств, спроектированных без учета этого явления, свидетельствует о возможности резкого (в десять и более раз) снижения ресурса их работы. Непродолжительная эксплуатация заканчивается, как правило, разгерметизацией гидравлического контура и выходом из строя охлаждаемого прибора.

Можно утверждать, что достигнуть существенного увеличения мощности и ресурса рассматриваемого класса приборов не удастся, если не раскрыть физический механизм, закономерности и особенности этого явления в такой степени, чтобы уверенно прогнозировать характеристики колебаний и на этой основе решать проблему их подавления.

Цель работы: определение закономерностей высокочастотных колебаний давления в условиях, характерных для теплонагруженных каналов приборов, охлаждаемых кипящей жидкостью, и создание на этой базе основ расчета и прогнозирования надежных тепловых режимов.

Научная новизна. Выполнены систематические экспериментальные исследования высокочастотных колебаний давления в широком диапазоне геометрических (диаметр $d = 0,5 \div 4$ мм, длина $L = 60 \div 725$ мм, каналы круглого и прямоугольного сечения), режимных (скорость потока $w = 0,2 \div 10$ м/с, давление $P = (1 \div 10) \cdot 10^5$ Па, недогрев жидкости $\Delta t_{нед} = 6 \div 180$ °С, тепловые потоки $q = 0 \div q_{кр}$ при равномерном и неравномерном тепловыделении по длине и периметру рабочего канала) параметров, характерных для охлаждения СВЧ- и лазерных приборов. Предложена новая физическая модель возникновения и развития интенсивных ТАК давления в парогенерирующих каналах.

Впервые экспериментально установлен спектральный термоакус-

тический эффект, проявляющийся в синхронизации частот термоакустических колебаний и частоты электрического тока при прямом электрическом обогреве малоинерционных (тонкостенных) нагревателей. Разработана методика расчета резонансных колебаний давления в парогенерирующих каналах.

Научное положение. Физическая природа высокочастотных колебаний давления в парогенерирующих каналах, охлаждаемых кипящей, недогретой до состояния насыщения жидкостью, определяется специфической формой гидродинамических резонансных явлений, в которых упругим объектом является объем парожидкостной среды, ограниченный стенками канала и сечениями входа и выхода, а источниками вынужденных колебаний являются действующие центры парообразования. Наступление резонанса происходит при согласовании собственной частоты упругих колебаний объекта с частотой действия центров кипения, что характеризует особенности данного явления как происходящего в системе с распределенными источниками вынужденных колебаний.

Практическая ценность. Результаты исследований использованы в шести научно-исследовательских и опытно-конструкторских работах при создании опытных образцов изделий новой техники в 1979-91 гг. Инженерная методика прогнозирования резонансных режимов ТАК входит в состав проектной документации при разработке СВЧ- и лазерных устройств и их систем охлаждения. Результаты исследований используются при выборе способа охлаждения и рациональных режимов эксплуатации устройств охлаждения радиоэлектронной аппаратуры в соответствии с руководящими документами "Обеспечение тепловых режимов радиоэлектронных средств. Методы выбора вида охлаждения" РД 107.460084.092-89.

Апробация работы. Основные результаты работы докладывались на отраслевом семинаре "Тепловые процессы в электронных приборах" (Москва, 1981г.), III-й отраслевой научно-технической конференции по обеспечению тепловых режимов РЭА (Одесса, 1985г.), VII-й Всесоюзной конференции "Двухфазный поток в энергетических машинах и аппаратах" (Ленинград, 1985г.), Республиканском семинаре "Акустические методы исследования процессов кипения и гидродинамики двухфазных потоков" (Киев, 1986г.), Республиканском семинаре "Моделирование и оптимизация динамики технологических процессов в энергетике" (Киев, 1986г.), IV-й отраслевой научно-технической конференции (Одесса, 1988г.), II-й Всесоюзной конференции по теплофизике и гидродинамике процессов кипения и конденсации (Рига, 1988г.), Отраслевой научно-технической конференции (Тула, 1990г.), II-м Минском международном форуме по тепло- и массообмену (Минск, 1992г.), Первой Российской национальной конференции по теплообмену (Москва, 1994г.).

По теме диссертации опубликовано 14 печатных работ.

Автор защищает: экспериментальные данные по амплитудно-частотным характеристикам колебаний давления в парогенерирующих каналах при кипении недогретой жидкости, научное положение и физическую модель расчета резонансных режимных параметров и высокочастотных колебаний давления.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, выводов, заключения и списка использованной литературы из 60 наименований. Работа изложена на 135 стр. машинописного текста и иллюстрируется 41 рис. и 8 табл.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе проводится обзор работ по экспериментальным исследованиям ТАК давления при поверхностном кипении недогретой жидкости, движущейся в обогреваемых каналах малого диаметра. Анализируются известные физические представления о механизме этих колебаний. Отличительной особенностью имеющихся экспериментальных данных является неоднозначная зависимость амплитудно-частотных характеристик (АЧХ) высокочастотных колебаний (ВЧК) от режимных параметров, противоречивость полученных результатов. С увеличением теплового потока амплитуда колебаний давления в канале по одним данным монотонно возрастает, по другим - имеет два максимума, в третьем случае - три максимума, в четвертом такая зависимость отсутствует. Частота колебаний при плавном изменении режимных параметров может изменяться в сторону увеличения или уменьшения своего значения как монотонно, так и дискретно (скачкообразно), а абсолютные значения отличаются более чем в 100 раз.

Известные физические представления о механизме возникновения и развития ВЧК весьма разнообразны, но не могут удовлетворительно описать наблюдаемые в экспериментах закономерности. Для объяснения исследуемого явления привлекаются теория устойчивости, модели параметрического резонанса, теория самовозбуждающихся колебаний. В качестве главных критериев называются: наличие процесса конденса-

ции пара, градиент температуры по длине канала, изменение средней по сечению температуры жидкости в канале и др. В конечном счете авторы этих работ в явной или неявной форме исходят из физических предпосылок, в основе которых лежат представления о природе ВЧК как явлении самовозбуждения колебаний. При этом результаты теоретического анализа не сопоставляются с экспериментальными данными или это сопоставление носит косвенный характер.

Существующие модели ВЧК при вынужденном течении жидкости игнорируют структурные изменения потока кипящей жидкости и не учитывают зависимость внутренних характеристик процесса кипения от режимных параметров, что не позволяет учесть особенности формирования АЧХ ВЧК в обогреваемых каналах для рассматриваемых условий. Неоднозначность интерпретации наблюдаемого явления и отрывочные экспериментальные данные не позволяют расчетным путем прогнозировать характеристики ВЧК и обоснованно рекомендовать меры борьбы с ВЧК для повышения надежности рассматриваемого класса приборов.

Указанные проблемы определили цели и задачи настоящего исследования.

Во второй главе проводится описание стенда, методика экспериментального исследования высокочастотных колебаний давления и методика обработки опытных данных.

В экспериментах использовались три конструкции рабочих участков, имитирующих гидравлические каналы реальных радиоэлектронных приборов. Гидравлический контур стенда типичен для жидкостной системы обеспечения тепловых режимов радиоэлектронной аппаратуры и снабжен традиционными средствами измерения температуры, давления и расхода жидкости. Для измерения колебаний давления при кипении жидкости на рабочем участке применялись тензометрические и пьезометрические датчики давления. Тепловая нагрузка на рабочем участке создавалась методом прямого обогрева переменным или постоянным током. Формы каналов представлены в табл. I.

Система измерения, регистрации и обработки результатов измерения колебаний давления при использовании тензометрических датчиков давления содержала тензометрический усилитель, выход которого соединен с шлейфовым осциллографом, электролучевым осциллографом, анализатором спектра или магнитографом. При использовании пьезометрического датчика давления сигнал с датчика поступал непосредственно на магнитограф, анализатор спектра или электроннолу-

Таблица I

Типичные формы каналов охлаждения и распределение теплового потока по длине и периметру канала

Форма канала	Распределение теплового потока	Мощность, Вт
		30
		50
		10
		5
Прочие	-	5

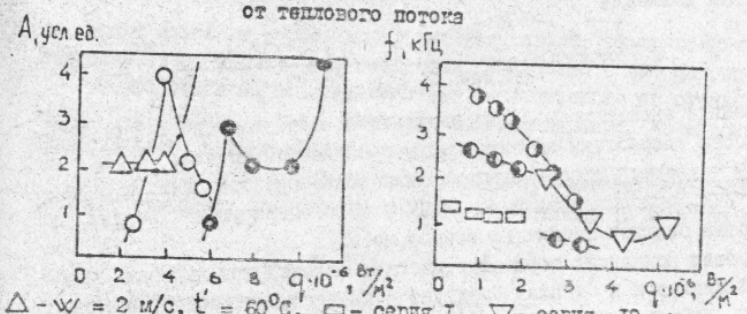
чевой осциллограф. При обработке результатов эксп ментов проводилось графическое построение функциональной связи между АЧХ и режимными параметрами, затем устанавливались их эмпирические за - висимости.

В третьей главе представлены экспериментальные результаты, анализ и эмпирическое обобщение опытных данных. Для выяснения физической природы ВЧК при кипении недогретой жидкости в условиях вынужденной циркуляции необходимо их выделение в "чистом" виде, для чего предпринимались специальные меры по исключению влияния на ВЧК "фоновых" пульсаций давления, источником которых является насос циркуляционного контура.

Эксперименты на коротких каналах ($0,5<d<3,0$ мм, L =60÷120мм) при постоянной по длине и периметру тепловой нагрузке, на длинном канале круглого сечения (d= 4 мм, L = 725 мм) при переменной по длине тепловой нагрузке и на канале прямоугольного сечения (3x5x410)мм при неравномерной по длине и периметру тепловой на - грузке показали, что на всех режимных параметрах кипения в кана - лах возникают ВЧК давления, а при определенных режимных парамет - рах - стоячие волны давления как одна из форм ВЧК. Полученные зависимости подтверждают тот факт, что при кипении недогретой жид - кости в каналах изменения амплитуды и частоты колебаний давления могут носить монотонный или скачкообразный характер (рис.I), как это имело место в экспериментах других авторов при иной геометрии каналов. Амплитуда колебаний давления достигала 70-100% от уровня рабочего давления в канале.

В опытах на канале прямоугольного сечения применялись тонкостенные ($\delta<50$ мкм) нагреватели, для которых при пропускании переменного электрического тока колебаниям теплового потока соответствовали колебания перегревов стенки и, как следствие, происходило согласование частоты действия центров кипения с частотой переменного электрического тока, чем и определялся спектр колебаний. Для одинаковых условий при обогреве постоянным или электрическим переменным током спектры термоакустических колебаний существенно отличались (рис.2) во всем диапазоне режимных параметров, что можно характеризовать как экспериментально установленный спект - ральный термоакустический эффект. Эксперименты также показали возможность активного влияния на характер и интенсивность ВЧК путем рационального выбора режимных параметров охлаждения при конструировании аппаратуры.

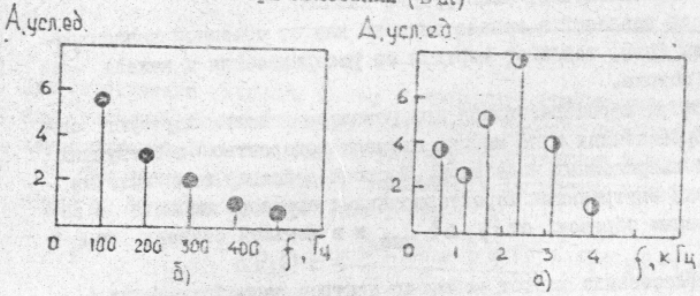
Зависимость амплитуды и частоты ВЧК от теплового потока



△ - W = 2 м/с, t' = 60°С, ▭ - серия I, ▽ - серия I9,
○ - W = 2 м/с, t' = 30 °С, ◐ - серия 22, ◑ - серия 20,
● - W = 3 м/с, t = 60°С

Рис. I

Спектры колебаний (ВЧК)



а - постоянный ток, б - переменный ток

Рис. 2

Расчетная схема канала

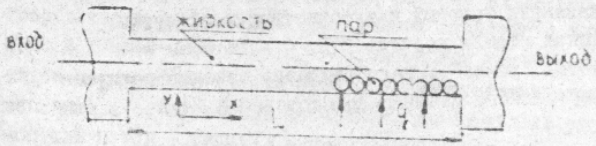


Рис. 3

Эмпирическое обобщение полученных и известных опытных данных проведено для нижней границы существования значительных по амплитуде ВЧК давления

$$w' \geq 190 \frac{q}{\Delta t_{нед} \cdot \rho' C'_p} \left(\frac{q\, d_{экв}}{r \rho' \nu'} \right)^{0.2}$$

Полученные экспериментальные результаты свидетельствовали о необходимости разработки эффективной теоретической модели.

В четвертой главе изложены физические представления о механизме ВЧК, приближенная модель ВЧК в парогенерирующих каналах и обработка опытных данных на основе модели.

Общая концепция термоакустических явлений при кипении недогретой жидкости в каналах базируется на следующих представлениях:

1. Действующие центры парообразования являются источниками вынужденных колебаний давления в каналах с поверхностным кипением недогретой жидкости.

2. Упругой средой, воспринимающей действие источников вынужденных колебаний, является парожидкостная среда, ограниченная стенками канала и "жесткими" или "мягкими" границами на входе и выходе (в зависимости от конструкции канала).

3. Поле давлений в канале зависит как от объемной концентрации паровой фазы, так и от картины ее распределения в канале – структуры потока.

4. Центры парообразования при развитом кипении образуют систему распределенных и во многих случаях когерентно действующих источников вынужденных колебаний. Частоты действия этих источников являются внутренними характеристиками процесса кипения и зависят, главным образом, от P_s, $\Delta t_{нед}$ и в меньшей степени от q и w.

5. Согласование частот действия центров парообразования с собственными частотами колебаний парожидкостной среды в канале создает благоприятные предпосылки для развития резонансных колебаний. Конкретные формы этих резонансных явлений, величины амплитуд, места расположения максимумов и минимумов зависят от структуры потока, вышеуказанных условий и диссипативных эффектов.

Основные положения модели расчета ВЧК:

1. Рассматриваются "узкие" каналы круглого сечения радиусом ($\frac{d}{2} < 0{,}61\lambda$) и прямоугольного сечения со стороной h ($h < \frac{\lambda}{2}$) при одномерном движении среды. Все характеристики волн давления удовлетворяют линейным уравнениям и зависят только от координаты X, зависимость от времени гармоническая (расчетная схема на рис.3).

2. Фазовый переход определяется теплоподводом от стенки канала. Под действием волны давления фазовый переход не вносит существенного вклада в эволюцию пузырей.

3. Сжимаемость парожидкостной среды $\beta'^{-\prime\prime}$ определяется при известных значениях адиабатической сжимаемости фаз β' и β'' по схеме

$$\beta'^{-\prime\prime} = \varphi \beta'' + (1-\varphi)\beta'$$

4. Дисперсия волн давления отсутствует.

5. Объем паровых пузырей изменяется по закону

$$V(\tau) = V_{max} \cdot \exp(i\omega\tau)$$

6. Скорость распространения волн давления принимается средней по длине канала в случае наличия участков с однофазным и двухфазным состоянием теплоносителя

$$\bar{C} = \frac{L}{\frac{L - L_{кип}}{C'} + \frac{L_{кип}}{C'^{-\prime\prime}}}$$

При определении величины $L_{кип}$ и координат границ участка кипения, значений режимных параметров начала парообразования и появления паровой фазы в потоке используются известные корреляции.

Получаемая в результате зависимость амплитуды колебаний давления от основных факторов имеет вид

$$\Delta P(x) = \frac{\rho \bar{C} \bar{V}_{max} f Z \Pi}{kS \sin kL} \cdot \mathcal{F}[kx, k(L-x)\ldots]$$

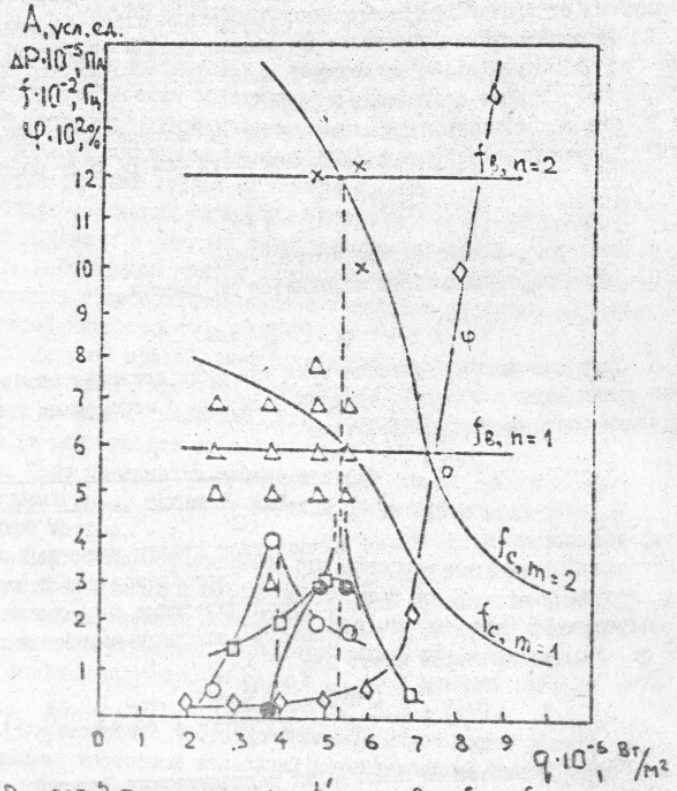
где $\mathcal{F}[kx, k(L-x)\ldots]$ – известная комбинация периодических функций.

Расчетно-теоретический анализ показывает:

1. Во всех случаях, за исключением случая равномерно распределенных центров парообразования по всей длине канала (ситуация, теоретически реализуемая при кипении насыщенной жидкости), резонанс в канале наступает при согласовании частоты действия источников переменного объема жидкости (действующих центров парообразования) с собственными частотами колебательной системы "парожидкостный поток – канал"

$$kL = n\pi \; ; \quad m f_c = n f_в$$

Резонансное повышение амплитуды колебаний давления в канале



$P = 3\cdot10^5$ Па; $w = 2$ м/с; $t' = 30$ °С; f_c и $f_в$ – расчетные значения; Δ – экспериментальное значение частоты I гармоники, x – то же, II гармоники; □ – расчетная амплитуда колебаний давления по I гармонике; ○ – экспериментальное значение амплитуды колебаний давления на основной частоте; ● – экспериментальное значение амплитуды колебаний по II гармонике; ◊ – истинное объемное паросодержание φ

Рис. 4

XV 1079
Інститут холоду
ОНАХТ
бібліотека

2. Координаты участка кипения относительно входа и выхода канала и, следовательно, относительно пучностей и узлов стоячих волн давления играют существенную роль в формировании энергетического спектра колебаний в канале. Наибольшая амплитуда колебаний давления соответствует расположению участка кипения симметрично относительно пучности стоячей волны давления, определяемой через собственную частоту колебательной системы при фиксированных режимных параметрах кипения. В зависимости от номера моды колебаний, в пучность которой попадает участок кипения, в канале могут поочередно или одновременно возбуждаться различные моды колебаний.

3. При изменении одного из режимных параметров, например q, соответствующая зависимость, к примеру $\Delta P(x_1) = f(q)$, может иметь один или несколько локальных максимумов, либо монотонно изменяться. При этом спектр колебаний может изменяться плавно или скачком.

Сопоставление экспериментальных и расчетно-теоретических результатов представлено на рис. 4.

ВЫВОДЫ

I. Термоакустические явления при кипении недогретой жидкости в каналах следует рассматривать как резонансные явления в парожидкостных средах при наличии источников вынужденных колебаний – распределенных по обогреваемой поверхности центров кипения. Резонанс наступает при согласовании частоты действия этих центров с собственными частотами колебаний потоков в каналах, зависит от структуры потока, геометрии канала, паро- и газосодержания потока.

2. Физическая природа термоакустических явлений в нагревающих каналах не зависит от способа их обогрева. Но при прямом обогреве переменным электрическим током с частотой $f_э$ стенок канала, обладающих малой тепловой инерционностью ($f_э < a/\delta^2 < f_в$), частотные характеристики центров кипения согласуются с частотой электрического тока, чем и определяется спектр колебаний. Этот факт может быть охарактеризован как новый спектральный термоакустический эффект, имеющий важное прикладное значение.

3. Разработанные физические основы расчета АПУ ВЧК при кипении недогретой жидкости в тепловыделяющих каналах позволяют

перейти к проектированию теплотехнических устройств с улучшенными против существующих показателями надежности, массогабаритными и энергетическими характеристиками путем рационального выбора режимных параметров процесса кипения с учетом возможности существования высокочастотных колебаний давления в каналах.

В диссертации указываются направления дальнейших исследований и их практическое применение.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах:

I. Зродников В.В., Калинин Л.Г. Определение пульсационной составляющей давления теплоносителя в напорной магистрали системы жидкостного охлаждения РЭА // Вопросы радиоэлектроники. Сер.ТРТО. - I980, вып.I. - С.29-34.

2. 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.- I982, вып.2. - С.97-I00.

3. Калинин Л.Г., Зродников В.В., Михайлов С.Т., Швед Е.Г. Пульсационные характеристики потока жидкости в каналах РЭА при работе центробежного насоса системы охлаждения // Вопросы радиоэлектроники. Сер. ТРТО. - I983, вып.3. - С.55-58.

4. Зродников В.В., Калинин Л.Г., Михайлов С.Г. Термоакустические колебания давления в каналах прямоугольного сечения// Вопросы радиоэлектроники. Сер. ТРТО. - I985, вып. 2. - С.78-80.

5. Зродников В.В., Швед Е.Г. Внутренние характеристики развитого кипения при вынужденном течении недогретой воды // Вопросы радиоэлектроники. Сер. ТРТО. - I985, вып.I. - С.II3-II7.

6. Зродников В.В., Калинин Л.Г., Швед Е.Г., Михайлов С.Т. Выбор режимных параметров при жидкостном охлаждении тепловыделяющих элементов РЭА // Вопросы радиоэлектроники. Сер. ТРТО. -I986, вып.4. - С.I04-I08.

7. Зродников В.В., Смирнов Г.Ф. Исследование термоакустических колебаний при вынужденном течении недогретой жидкости в области малых (от 0,I до I МПа) давлений // Тез. докл. УП Всесоюзной конференции "Двухфазный поток в энергетических машинах и аппаратах". - Ленинград, I985. - Т.2. - С.409-4II.

8. А.с. 86I693 СССР, МКИ F 25 B 19/04. Устройство для отвода тепла от охлаждаемого объекта / В.В.Андриянов, Л.Г.Калинин, И.Н.Медведев, В.В.Зродников. - Заявлено I4.I2.79г.; Опубликовано 07.09.8I,БИ №33. I98I. - С.

9. Зродников В.В. Расчетные зависимости для определения колебаний давления в каналах с поверхностным кипением теплоносителя // Вопросы радиоэлектроники. Сер. ТРТО. - I988, вып.I3. - С.I07-II0.

I0. Зродников В.В., Бошкова И.Л. Математическое исследование процесса генерации колебаний давления высокой частоты в каналах с поверхностным кипением теплоносителя // Вопросы радиоэлектроники. Сер. ТОВР. - I990, вып.4. - С.39-45.

II. Зродников В.В., Смирнов Г.Ф. Резонансные термоакустические явления при кипении недогретой жидкости в каналах //Доклады II Минского международного форума "Тепломассообмен в двухфазных системах". - Минск, I992. - Т.IУ, ч.2. - С.36-39.

I2. Бошкова И.Л., Зродников В.В., Смирнов Г.Ф. Анализ термоакустических явлений недогретой жидкости с учетом потерь механической энергии // Кипение, кризисы кипения, закризисный теплообмен: Тр. Первой Российской национальной конференции по теплообмену. - М., I994, т.4. - С.38-42.

Условные обозначения

a - коэффициент температуропроводности, $м^2/с$; C - скорость звука, м/с; C_p - массовая теплоемкость, Дж/(кг.К); d - диаметр,м; f - частота, Гц; k - волновое число, $м^{-1}$; L - длина, м; P - давление, Па; q - плотность теплового потока, $Вт/м^2$; r - теплота парообразования, Дж/кг; S - площадь, $м^2$; t - температура, ^oC; V - объем, $м^3$; w - скорость, м/с; x и y - координаты; Z-число центров парообразования, $м^{-2}$; β - сжимаемость, $Па^{-1}$; δ - толщина, м; Π - периметр, м; ν - кинематическая вязкость, $м^2/с$; ρ - плотность, $кг/м^3$; λ - длина волны, м; τ - время, с; φ - истинное объемное паросодержание; A - амплитуда колебаний, усл. ед; ω - круговая частота, $с^{-1}$;

Индексы

$'$ - жидкость; $''$ - пар; $\overline{\ }$ - средняя величина; s - насыщение; нед - недогрев; max - максимальная величина; кип - кипение; с - собственный; экв - эквивалентный; b - действующие центры парообразования; Δ - разность, переменность; m, n - действительные числа; кр - критический.

АНОТАЦІЯ

Зродніков В.В. Термоакустичні явища у парогенеруючих каналах електронних приладів. Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук з фаху 05.14.05 "Теоретичні основи теплотехніки". Одеська державна академія холоду. Одеса, 1995 р.

Систематизовані експериментальні дослідження теплових режимів на натурних макетах теплонавантажених каналів електронних приладів, які охолоджуються киплячою рідиною, виявили в них наявність термоакустичних коливань /ТАК/ тиску значної амплітуди. Запропонована та доведена до розрахунку модель, яка дозволяє, на відзнаку від інших відомих моделей, пояснити без суперечностей відомі та одержані автором дослідні факти. Модель грунтується на уявленні ТАК як наслідка резонансного узгодження частот власних коливань парорідинного середовища у каналі з частотами джерел вимушених коливань, котрими є діючі центри кипіння. Результати досліджень застосовані при проектуванні електронної апаратури та її охолоджуючих пристроїв.

Ключові слова: кипіння, термоакустичні явища, частота коливань, резонанс, модель.

ANNOTATION

Zrodnikov V.V. "The electronic devices vapor generated channels thermoacoustic phenomenon".The desertation thesis for a scientific degree of Condidate of science (Engineering) on the speciality 05.14.05."The thermal engineering theoretical foundations". Odessa Refrigeration State Academy.Odessa,1995.

The thermal regimes of electronic equipment with high heat fluxes channels,which are cooled with boiling liquid systematic experimental investigations showed the considerable amplitude thermoacoustic pressure oscillations existence.It was proposed and developed before calculation new mathematical model.This model allows to explain without contradictions all known and authors obtained experimental facts.The model is grounded on the thermoacoustic pressure oscillations imagination as result of the resonance interactions between vapor-liquid media natural oscillations in the channel and forced pressure oscillations.The forced pressure oscillations sources are the vaporization centers.

Key words: boiling; thermoacoustic phenomenon; oscillations frequency; resonance; model.

30