

Авторефер
Т66

ОДЕССКИЙ ИНСТИТУТ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ
ТЕХНИКИ И ЭНЕРГЕТИКИ

На правах рукописи

~~Для служебного пользования~~

Экз. № 071

Третьяков Сергей Вячеславович

ЭКСПРЕССНЫЙ ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ РАБОТОСПОСОБНОСТИ
НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ТЕПЛОВЫХ ТРУБ

Специальность 05.14.05 - теоретические основы теплотехники

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Одесса - 1991

xv 1017
ИНСТИТУТ ХОЛОДА
ОНАХТ
БІБЛІОТЕКА

Работа выполнена в НПО прикладной механики (г. Красноярска) и в Одесском институте низкотемпературной техники и энергетики.

Научный руководитель : доктор технических наук,
профессор Смирнов Г.Ф.

Официальные оппоненты: доктор технических наук,
начальник лаборатории
Алексеев В.А.
кандидат технических наук,
доцент Сасин В.Я.

Ведущая организация: НПО "Шторм", г. Одесса

Защита диссертации состоится "24" 02 1992 г.
в _____ часов на заседании специализированного совета № 068.27.01
при Одесском институте низкотемпературной техники и энергетики
(270100 г.Одесса, ул. Петра Великого, 1/3, ОИНТЭ).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

Автореферат разослан " _____ " _____ 1991 г.

Ученый секретарь
специализированного совета

Р.К. Никульшин

№ 60-03 809
08.01.92

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Расширение использования тепловых труб в различных областях техники требует эффективных методов контроля и диагностики их состояния. Основными проблемами, обуславливающими необходимость создания новых методик контроля работоспособности ТТ, являются:

- 1) ужесточение требований по ресурсу тепловых труб, что приводит к увеличению объемов как экспериментальных исследований, так и приемосдаточных испытаний серийных изделий;
- 2) необходимость контроля ТТ в составе систем охлаждения или терморегулирования. Тепловые трубы космических аппаратов являются одними из немногих устройств, работоспособность которых вследствие отсутствия соответствующих методик не контролируется ни после сборки изделий, ни в процессе контрольных проверок в цехе-изготовителе, ни на технической позиции перед пуском;
- 3) в случае изготовления тепловых труб в условиях серийного или массового производства контроль их состояния должен быть быстрым, т.е. экспрессным.

Анализ научно-технической литературы, посвященной тепловым трубам, а также патентного фонда СССР и развитых стран мира позволяет сделать вывод о том, что в настоящее время отсутствуют простые и достаточно надежные экспрессные методы контроля ТТ как автономно, так и в составе теплопередающих систем, что свидетельствует об актуальности настоящей научно-исследовательской работы.

Цель диссертационной работы - создание эффективных методов экспрессного неразрушающего контроля работоспособности тепловых труб и термосифонов, позволяющих оперативно и надежно регистрировать потерю их герметичности, накопление НКГ и отклонение в заправке теплоносителя как отдельно для теплопередающих труб, так и в составе изделия.

Научная новизна:

1. Предложены методы экспрессного контроля работоспособности ТТ, защищенные авторскими свидетельствами, эффективность которых подтверждена экспериментально.
2. Получены результаты экспериментальных исследований, впервые выявившие влияние различных факторов на эффективность экспрессных методов контроля работоспособности ТТ.
3. Разработаны модели нестационарных режимов работы ТТ в условиях реализации экспрессного метода контроля работоспособности ТТ, проведены теоретические исследования, результаты которых достаточно хорошо согласуются с опытными данными.

В работе защищается следующее научное положение: экспрессный неразрушающий контроль состояния низкотемпературной ТТ может быть реализован нестационарным методом - приложением к объекту контроля нештатного источника тепла и регистрации температуры стенки ТТ на границе зоны его теплового влияния или путем приложения стока тепла и регистрации температуры стенки непосредственно под стоком тепла; при этом суждение о состоянии ТТ осуществляется путем сопоставления полученных показаний датчиков с соответствующими эталонными характеристиками ТТ.

Практическая значимость настоящей научно-исследовательской работы:

- 1) Создан автоматизированный комплекс для экспресс-контроля ТТ непосредственно перед установкой на изделие, позволяющий сократить время контроля в 40 - 50 раз, и в составе изделия, впервые реализующий возможность контроля ТТ в таких условиях.
- 2) Спроектирован автоматизированный комплекс для экспресс-контроля ТТ в условиях серийного их производства для бытовых холодильников, позволяющий в 20 - 30 раз сократить длительность процедуры контроля при одновременном снижении материальных затрат на испытательное оборудование в 6 - 8 раз.

Апробация работы. Основные результаты работы докладывались на: 58-й научно-технической конференции профессорско-преподавательского состава и научных сотрудников ОИНТЭ (г. Одесса - 1988г.); выездных научно-технических совещаниях подсекции "Тепловые трубы" Научного совета по комплексной проблеме "Теплофизика и теплоэнергетика" АН СССР (г. Одесса 1985, 1987 г.г.); Всесоюзных научно-технических конференциях по тепловым трубам (г. Киев 1987г., г. Истра 1989г.); 7-ой Международной конференции по тепловым трубам (г. Минск 1990г.).

Публикации. По теме диссертации опубликовано три статьи, получено три авторских свидетельства на изобретение.

Структура и объем работы. Работа состоит из введения, четырех глав, выводов, списка литературы и приложения. Диссертация содержит 144 страницы машинописного текста.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе на примере таких организаций, работающих в области ТТ, как ИТМО АН БССР, БР НПОПИ, НИТИ (г. Рязань), НИИ "ШТОРН", НИИ ТП (г. Москва), ОВ НИИЗМ (г. Истра), НПО им. С. А. Лавочкина, НПО ЛМ (г. Красноярск) рассмотрен опыт применения ТТ и вытекающие из него задачи по контролю характеристик ТТ. Основным способом контроля качества ТТ является стационарный метод проверки их работоспособ-

ности. Известные нестационарные методы контроля работоспособности ТТ не позволяют диагностировать состояние ТТ в сборке с системой терморегулирования при произвольной ориентации ТТ в пространстве.

Проанализированы основные причины нарушения работоспособности ТТ, дан обзор существующих методов их контроля. Изучение публикации по методам контроля ТТ показывает, что исследования, посвященные теоретическому описанию процессов контроля, практически отсутствуют, также как и целенаправленные экспериментальные исследования влияния различных факторов на такие параметры методик контроля как чувствительность, воспроизводимость, надежность и др.

В результате анализа состояния вопроса по контролю работоспособности низкотемпературных тепловых труб сделаны следующие выводы:

1. Исходя из имеющегося опыта применения ТТ, а также из перспектив их дальнейшего развития, выявляется настоятельная необходимость в создании простых, надежных и экспрессных методов контроля качества ТТ, позволяющих производить проверку их работоспособности как автономно, так и в сборе с термостатируемыми устройствами.

2. Известные причины нарушения работоспособности ТТ, такие как некачественная подготовка внутренних поверхностей ТТ, отслоение капиллярно-пористой структуры, неточная заправка могут быть исключены или выявлены в процессе поэтапного технологического контроля.

3. Накопление в ТТ в процессе ее длительного хранения или эксплуатации НКГ и потеря герметичности являются основными причинами серьезных нарушений характеристик ТТ.

4. Методы, позволяющие контролировать наличие НКГ или его влияние на характеристики ТТ, включают сложные и длительные операции по их реализации и требуют демонтажа ТТ из изделия. Методов экспрессного контроля работоспособности ТТ, позволяющих проводить проверку без изъятия ТТ из системы, в состав которой они входят, в настоящее время не существует.

5. Отсутствуют теоретические и экспериментальные исследования влияния различных факторов на основные параметры предлагаемых методик контроля работоспособности ТТ, такие как чувствительность, воспроизводимость, устойчивость к малым возмущениям и др.

На основе выводов из анализа состояния проблемы сформулированы задачи исследований:

1. Разработать эффективные методы экспрессного контроля работоспособности ТТ, позволяющие за ограниченные интервалы времени устанавливать нарушения герметичности, появление НКГ в ТТ и нарушения в объеме заправки теплоносителя, как для отдельной ТТ, так и при их расположении в составе изделия.

2. Разработать и создать экспериментальные установки и методики экспериментальных исследований для изучения влияния различных факторов на предлагаемые методы и устройства контроля работоспособности ТТ.

3. Разработать теоретические модели для предлагаемых методов контроля работоспособности, выполнить теоретические и экспериментальные исследования их возможностей.

4. Реализовать на практике наиболее эффективные методы и устройства контроля работоспособности ТТ, в том числе в составе изделия.

Во второй главе описаны экспериментальные методы и средства исследований.

Так как контроль работоспособности ТТ стационарным методом при серийном их производстве отрицательно сказывается на производительности и трудоемкости технологического процесса, а контроль ТТ в составе изделия стационарным методом вообще невозможен, решение поставленных в главе 1 задач возможно только на основе применения нестационарных методов контроля. Поэтому разрабатываемые методы ЭКРТТ должны формулироваться следующим образом:

1. Для ТТ данного типа, для которой гарантируется отсутствие нарушений (перепад температур, термическое сопротивление, и т. д.), подбираются экспериментальным и расчетно-теоретическим путем такие нестационарные характеристики ТТ, которые не зависят, или мало зависят от таких факторов как место расположения устройства контроля, характер его установки, наличие или отсутствие "навесных элементов" и т. п., но сильно зависят от контролируемых нарушений ТТ, таких как негерметичность, появление НКГ. Эти характеристики являются "эталонными".

2. Процедура экспресс-контроля строится как процесс снятия нестационарных характеристик контролируемой ТТ в условиях идентичных снятию их "эталонных" аналогов и сравнения с последними. Суждение о работоспособности ТТ строится по результатам этого сравнения.

Если в задачу контроля входит не только получение ответа на вопрос "годен - не годен", но и оценка состояния, т. е. диагностика работоспособности ТТ, тогда необходимо иметь не только эталонные характеристики ТТ без нарушений, но и "эталонные" нарушения.

Таким образом, исследованиям и разработкам подлежат методы и устройства определения нестационарных и стационарных характеристик ТТ.

В работе представлены две нестационарные методики: методика экспресс-контроля с источником тепла и методика экспресс-контроля со стоком тепла.

При использовании источника тепла (рис. 1. а) предусматривается создание теплового импульса и определение динамики температуры насыщения. Так как при локальном тепловом воздействии вся остальная поверхность ТТ является зоной конденсации, а наличие НКГ ведет к блокировке

части поверхности ТТ и, следовательно, к повышению давления и температуры насыщения, то по динамике температуры насыщения можно судить о наличии в трубе НКГ, т. е. о работоспособности трубы. Измерять температуру насыщения непосредственно невозможно и в рамках экспресс-контроля необходимо определять температуру в той точке, которая меньше всего отличается от температуры насыщения, т. е. на границе зоны теплового влияния источника тепла. Масштаб зоны теплового влияния согласуется с характерным размером площади контакта между нештатным источником теплового воздействия и ТТ.

Методика экспресс-контроля со стоком тепла (рис. 1. б) основывается на следующем. При организации стока тепла локально на ТТ в месте заколаживания формируется участок отвода тепла - зона конденсации, вся остальная поверхность ТТ при этом является зоной испарения. При этом НКГ экранирует зону конденсации и этап быстрого заколаживания будет тем больше, чем больше газа. На этом этапе имеем наибольшую скорость снижения температуры, которая резко уменьшается как только температурная волна достигает парового объема и в процесс заколаживания включается вся поверхность ТТ.

Т. е. уровень охлаждения и значение интервала времени могут являться своеобразными "эталонными" нестационарными характеристиками ТТ.

В главе представлены развернутые принципиальные схемы стенда для снятия стационарных характеристик, стенда заправки ТТ рабочим телом и установки для дозирования НКГ. На рис. 2 и 3 представлены схемы стендов для снятия нестационарных характеристик методом экспресс-контроля с источником тепла и со стоком тепла соответственно.

В третьей главе представлены результаты экспериментальных исследований и их обсуждение. Общий объем проведенных экспериментов показан в таблице.

В результате экспериментальных исследований стационарных характеристик ТТ со штатными устройствами отвода и подвода тепла получены "эталонные" характеристики как ТТ без нарушений, так и с различной дозировкой НКГ. Определены предельно допустимые концентрации НКГ для данных ТТ, обеспечивающие выполнение ими своего функционального назначения.

Результаты опытов по определению принципиальной возможности контроля работоспособности ТТ по их нестационарным характеристикам с источником тепла показывают, что при одинаковой подводимой мощности у ТТ, заправленной НКГ повышается скорость роста температуры стенки трубы под нагревателем (рис. 4). Повышение мощности, подводимой к ТТ, приводит к увеличению различия скорости роста температуры в обычной и

газоуполненной трубе. С другой стороны рост тепловой мощности штатного источника тепла приближает кризис теплообмена в ТТ в зоне источника тепла, и поэтому существуют рациональные значения тепловой мощности, величина которой для ТТ каждого типа может быть установлена экспериментально.

Результаты экспериментов при вертикальном расположении ТТ также показывают увеличение скорости роста температуры стенки при наличии газа. Т. е. для фиксированной ориентации ТТ и фиксированного расположения источника тепла температурные характеристики поверхности ТТ под нагревателем отличаются заметным увеличением темпа роста температуры при наличии газа в ТТ, по сравнению с соответствующими условиями пуска той же ТТ без газа.

Представлены результаты экспериментальных исследований нестационарных тепловых режимов съемной конструкции, имеющие наибольший интерес для практического применения и связанные с дополнительным термическим сопротивлением контакта между ТТ и элементами съемной конструкции.

Результаты опытов при различных условиях контакта: без теплопроводной пасты и с пастой, свидетельствуют, что при отсутствии пасты термическое сопротивление контакта оказывается определяющим, а воспроизводимость нестационарных температурных характеристик съемного устройства и ТТ неудовлетворительной. Применение теплопроводной пасты позволило исключить указанные последствия влияния контакта (рис. 4).

Приведены результаты экспериментов по выбору места измерения температуры.

Сопоставление данных показало, что наибольшая чувствительность и воспроизводимость соответствует измерению температуры на диаметрально противоположной нагревателю стороне ТТ.

Таким образом проведенные исследования подтверждают принципиальную возможность контроля наличия НКГ в ТТ по ее нестационарной характеристике путем теплового воздействия на произвольном участке ТТ источником тепла, измерения температуры ТТ и сравнения ее с аналогичными характеристиками "эталонной" ТТ. Причем, если тепловое воздействие осуществлять на участке транспорта ТТ, то метод позволит производить контроль ТТ в составе системы терморегулирования.

Проверка контроля работоспособности ТТ методом нагрева, выполненная в стенде, имитирующем штатные условия эксплуатации ТТ, показала, что контроль ТТ в сборе с системой охлаждения и термостатируемым изделием может быть реализован по разрабатываемому методу экспресс-контроля.

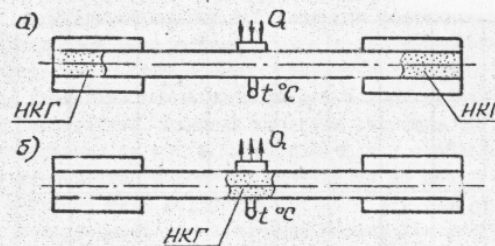


Рис. 1. Принципиальные схемы ЭКРТТ:
а) метод нагрева (с источником тепла);
б) метод охлаждения (со стоком тепла)

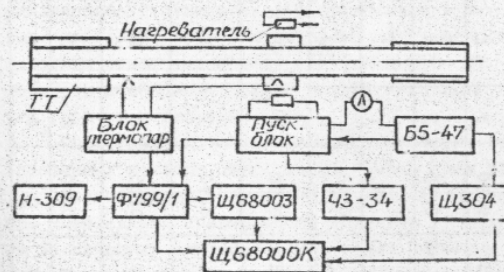


Рис. 2. Схема ЭКРТТ с источником тепла

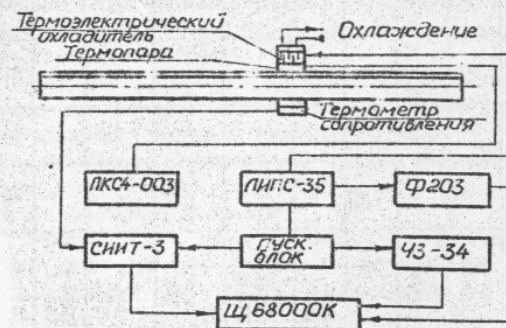


Рис. 3. Схема ЭКРТТ со стоком тепла

Таблица объема экспериментов

Метод ЭКРТТ	Тепловая труба		Исследуемые факторы										Анализ качества	
	Тип	К-во шт	Кон-такт						ДТ	ИТ-охлаждение	СУ ЭКРТТ	В системе охлаждения	Восприимчивость	Чувствительность
С источником тепла	2037-0 (верх. ст)	3	-	4	9	2	0:90	1	1	-	-	-	+	-
	2037-0 (прямая)	4	+	5	3	3	0:90	3	2	3	+	+	+	+
	2037-0 (гнутая)	8	+	3-6	3-6	3	1-2	0:90	3	2	4	+	+	+
	2037-0 (для РИ)	22	+	1	1	1	0	1	1	1	+	+	+	-
	2947-0 (ал.)	4	+	4	2	2	0:90; 15	2	2	3	-	-	+	+
	ТТ для камер НТО (ал.)	4	+	2	4	2	0:90	2	2	2	-	-	+	+
Со стоком тепла	ТТ с камерой НТО	25	+	1-2	1	1	0:90	1	1	1	+	+	+	-
	ТТ для камер НТО	6	+	3	-	2	1	2	2	1	-	+	+	
	2047-0 (ал.)	3	+	2	-	2	1	2	2	1	-	+	+	
	2037-0	2	+	2	-	1	0	2	1	1	-	+	+	

Экспериментальные исследования нестационарных характеристик ТТ при тепловом воздействии стоком тепла проводились на двух ТТ, предназначенных к применению в морозильной камере бытового холодильника.

Приведены результаты экспериментов по определению места измерения температуры, влияния качества контакта. Результаты экспериментов, приведенные на рис. 5, показывают, что с появлением НКГ в ТТ изменение температуры в зоне ее охлаждения по сравнению с таким же изменением в ТТ без газа возрастает в 1,5...1,9 раза, что подтверждает возможность применения предлагаемого метода для диагностики состояния ТТ.

Таким образом, экспериментальные исследования показали принципиальную возможность контроля работоспособности ТТ по их нестационарным характеристикам методом стока тепла. Причем чувствительность этого метода на порядок выше, чем метода с источником тепла. При этом охлаждение ТТ целесообразно осуществлять термоэлектрическим охладителем, измерение температуры производить непосредственно в зоне контакта холодных спаев охладителя с поверхностью ТТ, а заключение о работоспособности необходимо делать по максимальному масштабу разности температур горячих и холодных спаев.

Представлены эксперименты по проверке возможности применения разработанных методик ЭКРТТ на различные типы ТТ.

Представлены результаты экспериментов по контролю заправки ТТ. Для определения правильности заправки ТТ целесообразно ориентироваться на методику контроля с локальным нагревом ТТ на уровне, соответствующем минимально допустимой дозе заправки рабочим телом. На рис. 6 представлены зависимости температуры ТТ под источником тепла от времени при контроле заправки ТТ. Кривые 1, 2, 3 свидетельствуют о наличии рабочего тела на участке теплового воздействия - все трубы заправлены правильно. Постоянный и быстрый рост температуры на участке нагрева свидетельствует об отсутствии рабочего тела на участке нагрева. Данная ТТ неработоспособна.

В четвертой главе представлены результаты математического моделирования и расчетно-теоретических исследований режимов экспресс - контроля работоспособности ТТ.

Одномерная математическая модель контроля качества НКГ с источником тепла основывается на методе сосредоточенных параметров и содержит следующие допущения:

1. Предполагается, что с начального момента времени происходит формирование двух подвижных парогазовых фронтов, находящихся на расстояниях X_1 и X_2 от центра источника тепла.
2. В процессе нагрева ТТ происходит деформация парогазовых объемов. Динамика этой деформации $d(X_1 + X_2)/dt$ описывается в предположении равенства давлений между паровой фазой и парогазовой

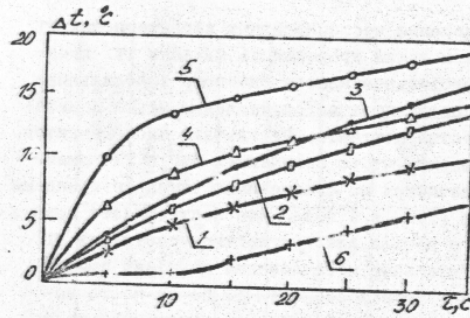


Рис. 4. Зависимость температуры стенки ТТ под нагревателем от времени при контроле наличия НКГ: 1,2,3,6-ТТ без газа; 4,5-ТТ с НКГ; 1,2,4,6-Q=30Вт; 3,5-Q=54 Вт; 1,3,4,5,- контакт с пастой; 2-контакт без пасты; 1,2,3,4,5-измерение температуры на границе зоны теплового влияния нагревателя; 6-измерение температуры на расстоянии 240 мм от нагревателя.

ние температуры на границе зоны теплового влияния нагревателя; 6-измерение температуры на расстоянии 240 мм от нагревателя.

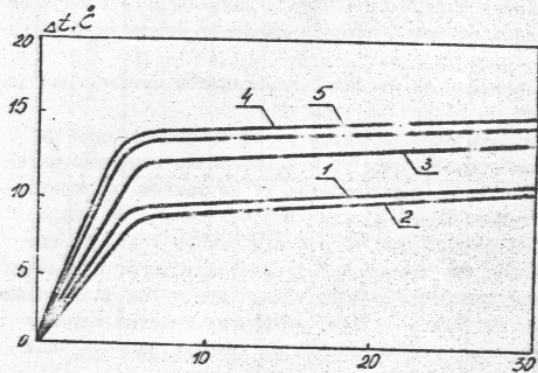


Рис. 5. Зависимость температуры стенки ТТ под охладителем от времени: 1,2-ТТ без газа, контакт с пастой; 3-ТТ без газа, контакт без пасты; 4,5-ТТ с НКГ, контакт с пастой.

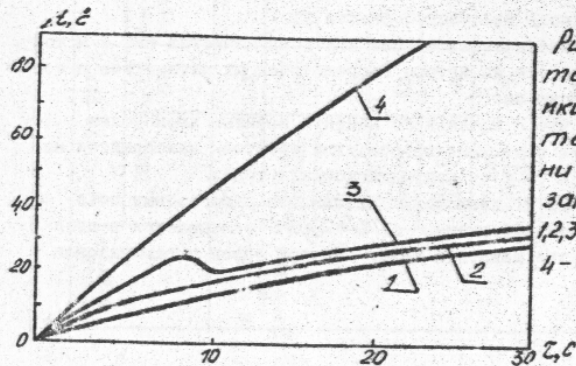


Рис. 6. Зависимость температуры стенки ТТ под нагревателем от времени при контроле заправки: 1,2,3-ТТ заправлена, 4-сухая ТТ.

смесью за парогазовым фронтом уравнением:

$$\frac{d(x_1+x_2)}{d\tau} = (x_1+x_2) \left(\frac{P_{oc,с}}{P_{сr}} \cdot \frac{1}{T_{oc}} \cdot \frac{dV_{сr}}{d\tau} \cdot \frac{T_{oc} \cdot V_{сr} \cdot P_{oc,с}}{P_{сr}^2} \cdot \frac{dP_{сr}}{d\tau} \cdot \frac{dV_{сr}}{d\tau} \right) \quad (1)$$

где $dP_{сr}/d\tau$ определяется уравнением кривой упругости для данного теплоносителя; $P_{сr}$ и T_{oc} - давление и температура насыщения в начальный момент времени $V_{сr} = T_{сr} - T_{oc}$.

3. Предполагается, что при формировании парогазовых фронтов газ распределяется между двумя парогазовыми объемами по закону:

$$\frac{dx_1}{d\tau} = \frac{K}{1-K} \frac{dx_2}{d\tau} \quad \text{где } K = \frac{l_1}{l_1+l_2} \quad (3)$$

l_1 и l_2 - длины участков ТТ по обе стороны от источника тепла.

4. Уравнения (1) и (3) дополняются уравнением сохранения энергии

в форме:

$$\left[\sum_{i=1}^{l=n(x_1)} l_i m_i c_i + \sum_{j=1}^{j=m(x_2)} l_j m_j c_j \right] \frac{dV_{сr}}{d\tau} + \left[\sum_{i=1}^{l=n(x_1)} l_i n_i d_i + \sum_{j=1}^{j=m(x_2)} l_j n_j d_j \right] V_{сr} -$$

$$- \left[(mC)_{i=n(x_1)} \frac{dx_1}{d\tau} + (mC)_{j=m(x_2)} \frac{dx_2}{d\tau} \right] V_{сr} = Q_{н} \quad (4)$$

Начальные условия

$$\tau=0; \quad x_1=l_1+l_1/2; \quad x_2=l_2+l_2/2; \quad T_{сr}=T_{oc}$$

$$\tau \rightarrow \infty; \quad x_1, x_2, T_{сr} \rightarrow x_{1c}, x_{2c}, T_{сr}^c$$

Система уравнений (1), (3), (4) решалась численно для типичных условий экспериментальных исследований.

Удовлетворительное совпадение результатов расчета и экспериментальных данных свидетельствует о справедливости сделанных допущений и физических представлений.

В приложении 1 и 2 приведены типичные для НПО ПМ технология производства низкотемпературных ТТ, методы и приемы их операционного контроля, а также методы контроля ТТ как готовых изделий.

В приложении 3 приводятся практические формы реализации экспрессных методов контроля и перспективы их развития.

В приложении 4 приведены таблицы типичных экспериментальных данных и результаты расчета по модели.

Результаты настоящей диссертационной работы реализованы на практике кроме НПО ПМ, также в НПО им. С.А. Лавочкина (г. Химки Московской обл.) и в НИТИ (г. Рязань) при проверке ТТ разработки этих организаций.

ВЫВОДЫ

1. Известные методы, средства и устройства контроля работоспособности ТТ как реализованных на практике, так и изложенных в статьях и авторских свидетельствах известных авторов, исключают возможность экспрессного контроля работоспособности ТТ по ее нестационарным характеристикам, в том числе тепловой трубы, расположенной в составе узла, изделия, системы. Этим определяется актуальность и практическое значение работы.

2. Опыт экспериментальной отработки методов контроля работоспособности ТТ, по существу отсутствует и поэтому большое внимание при выполнении данной работы уделено отработке методик контроля нестационарных температурных характеристик ТТ, методик имитации нарушения их работоспособности, автоматизированному сбору и обработке информации.

3. Физический анализ, математическое моделирование, экспериментальные исследования показали, что может быть реализован экспрессный метод контроля работоспособности ТТ по их нестационарным характеристикам путем как теплового воздействия штатным источником тепла, так и со стоком тепла при захлаживании ТТ твердотельным электронным микроохладителем.

4. Основные принципы, определяющие сущность метода контроля тепловым воздействием с источником тепла:

- малая инерционность источника тепла и низкое термическое сопротивление его контакта с ТТ;
- расположение источника тепла на транспортном участке ТТ;
- расположение контролирующего датчика температуры вблизи источника тепла, но за пределами зоны его теплового влияния;
- заключение о работоспособности ТТ проводится на основе сравнения скоростей изменения температуры с их эталонными значениями при идентичных условиях.

5. Основные принципы, определяющие сущность метода контроля со стоком тепла:

- охлаждение должно осуществляться охладителем при низком термическом сопротивлении его контакта с ТТ;
- расположение охладителя на транспортном участке ТТ;
- измерение температуры должно производиться непосредственно в зоне контакта холодных спаев микроохладителя с ТТ при термостабилизации горячих спаев на уровне температуры окружающей среды;
- заключение о работоспособности ТТ должно проводиться на основе сравнения разности температур горячих и холодных спаев микроохладителя с их эталонными значениями при идентичных условиях.

6. Методику контроля тепловым воздействием с источником тепла необходимо использовать для ТТ, допускающих сравнительно большое количество НКГ (свыше 10% от зоны конденсации). В тех же случаях, когда даже малое количество НКГ (менее 1%) оказывает существенное влияние на термическое сопротивление ТТ, целесообразно использовать метод контроля со стоком тепла.

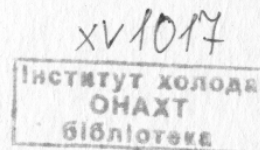
7. Для определения правильности заправки ТТ необходимо ориентироваться на методику экспресс-контроля с локальным нагревом ТТ, на уровне, соответствующем минимально допустимой дозе заправки рабочим телом.

8. На основе разработанных методик в НПО ПМ создан автоматизированный испытательный комплекс на базе микроЭВМ "Электроника МС-0125", разработано и апробировано программное обеспечение, позволяющее полностью автоматизировать экспериментальную отработку методик экспресс-контроля при их распространении на другие типы ТТ, что обеспечивает значительное снижение материальных и временных затрат.

Методики экспресс-контроля работоспособности ТТ реализованы в стендовом оборудовании для контроля качества термосифонов и в оборудовании для ресурсных испытаний ТТ.

Экономический эффект от внедрения методик и средств ЭКРТ в НПО ПМ составил 202,9 тыс. рублей.

9. В настоящее время находятся в стадии разработки испытательный комплекс для экспресс-контроля ТТ непосредственно перед установкой на космический аппарат и автоматизированный испытательный комплекс экспресс-контроля ТТ в составе камер низкотемпературного отделения абсорбционного холодильника, в которых реализованы разработанные методики, позволяющие повысить надежность космического аппарата в целом и значительно снизить материальные и трудовые затраты при массовом выпуске ТТ.



ПЕРЕЧЕНЬ ПУБЛИКАЦИИ И АВТОРСКИХ СВИДЕТЕЛЬСТВ
ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Афанасьев Б. А., Головенкин Е. Н., Третьяков С. В. и др. Исследования влияния неконденсирующегося газа на режимы пуска тепловых труб для разработки методов диагностики их работоспособности. - Вопросы радиотехники. Серия ТРТО, вып. 5, 1988г.
2. А. С. 251536 (СССР). / Смирнов Г. Ф., Афанасьев Б. А., Чернышов В. Ф., Решетнев М. Ф., Головенкин Е. Н., Третьяков С. В., Двирный В. В.
3. А. С. 1553818 (СССР). Устройство для экспресс-контроля тепловых труб / Чернышов В. Ф., Соколов Г. М., Третьяков С. В., Смирнов Г. Ф., Афанасьев Б. А.
4. А. С. 299155 (СССР). / Чернышов В. Ф., Третьяков С. В., Москалев В. С., Никитин А. А.
5. Третьяков С. В., Смирнов-Васильев К. Г., Смирнов Г. Ф., Афанасьев Б. А., Чернышов В. Ф. Экспрессный метод контроля работоспособности тепловых труб. Тезисы докладов II научно-технической конференции "Устройства и системы автоматизации автономных объектов". г. Красноярск, 1990г.
37. Smirnov-Vasiljev K. G., Tretjakov S. V., Tcherryshov V. F., Dvirny V. V., Smirnov G. F., Afanasjev B. A. Thermotechnical problems of express-method of efficiency control of heat pipe's. Preprints 7th international heat pipe conference. May 21 (Mon) - 25 (Fri) 1990.

Условные обозначения: α - коэффициент теплоотдачи; λ - коэффициент теплопроводности; Z - скрытая теплота парообразования; Q - тепловой поток; C_v - теплоемкость 1 п. м. тт. C^* - концентрация газа; P - давление; V - объем; T - температура; L, l - длина; m - масса; τ - время; F - площадь; Π - периметр; R - газовая постоянная; ΔT - перепад температур.

