

ОДЕССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

На правах рукописи

Маалуми Муин

АДАПТИВНЫЙ КОНТРОЛЬ ТЕПЛООБМЕНА И ГИДРОДИНАМИКИ В
КАНАЛАХ С КИПЯЩИМ ТЕПЛОНОСИТЕЛЕМ

Специальность 05. 14. 14. - Тепловые и ядерные электростанции и
энергоустановки (тепловая часть)

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Одесса, 1997

621.0397
621.1

ЛННБ України ім.В.Стефаника



00753833 (Т)

Диссертация является рукописью.

Работа выполнена в Одесском государственном политехническом университете.

Научный руководитель : д. т. н. проф. Погосов Алексей Юрьевич

Официальные оппоненты:

- д. т. н. проф. Никульшин Владимир Русланович
- к. т. н. доц. Дикусар Юрий Георгиевич

Ведущая организация: Институт технической теплофизики НАН
Украины, г. Киев.


Защита состоится: "15" мая 1997 г. в 15 ч. 30 мин.

на заседании специализированного ученого совета Д 05.06.02 при
Одесском государственном политехническом университете по адресу:
Одесса, пр. Шевченко, 1

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке Одесского
государственного политехнического университета.

Автореферат разослан "15" апреля 1997 г.

Ученый секретарь специализированного ученого совета:

 А. С. МАЗУРЕНКО

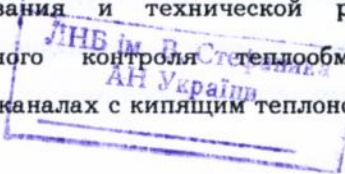
1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

АКТУАЛЬНОСТЬ ПРОБЛЕМЫ. Выработка электроэнергии в стране является одним из важнейших промышленных показателей. В настоящее время задачи развития промышленности требуют надежного, безаварийного и эффективного функционирования тепловых и ядерных электростанций.

Современная энергетика - тепловая и ядерная - развивается в основном на базе парожидкостных циклов. Поэтому проблемы теплообмена и гидродинамики в каналах с вскипающим теплоносителем продолжают оставаться актуальными. Задачи, которые связаны с этими проблемами, в полной мере нельзя считать решенными. К их числу относятся задачи адаптивного автоматизированного контроля теплообменных и гидродинамических процессов.

Именно в каналах с кипящим теплоносителем уместен и необходим такой контроль. Названные каналы функционально могут относиться к элементам котла (с ядерным или неядерным обогревом) или элементами парогенератора. И в том, и в другом случае текущие режимные условия могут меняться. Но используемые ныне методы и средства контроля процессов кипения в каналах недостаточно эффективно работают, часто, именно в силу неспособности к автоадаптации при изменении режимных параметров.

ЦЕЛЬЮ РАБОТЫ является разработка методических основ, а также принципов проектирования и технической реализации адаптивного автоматизированного контроля теплообменных и гидродинамических процессов в каналах с кипящим теплоносителем.



Для достижения поставленной цели в работе были поставлены следующие задачи.

1. Разработать методические основы контроля процессов кипения теплоносителя в каналах на основе комплексного анализа гетерогенных мониторинговых параметров и показателей.

2. Разработать методику преобразования и анализа первичной информации для автоматизированного контроля теплообменных процессов в обогреваемых каналах с недетерминированной гидродинамикой.

3. Разработать принципиальные структуры специализированных контроллеров с функциональной самоадаптацией к временным характеристикам процессов нестационарной гидродинамики

4. Экспериментальные исследования возможности практической реализации методических и структурно-технических разработок на физических моделях каналов с кипящим теплоносителем.

НАУЧНАЯ НОВИЗНА диссертации состоит в

- создании методических основ контроля гидродинамических и теплообменных процессов на основе режимного анализа динамических составляющих мониторинговых параметров и комплексных тензорных показателей.

- разработке методики проектирования и технической реализации адаптивного автоматизированного контроля режимов кипения на базе гетерогенного (акустотермического) анализа измерительной информации.

- анализе и синтезе структур специализированных контроллеров теплообмена с общей функциональной адаптацией к текущим гидродинамическим условиям.

- выполнены экспериментальные исследования возможности реализации предложенных методических и технических принципов адаптивного контроля гидротермических процессов на базе физического (стендового) моделирования.

- исследованы пути повышения эффективности обеспечения адаптивного контроля процессов теплоотдачи в каналах с недетерминированной гидродинамикой путем измерительного преобразования первичной физической информации по принципу частичной автоадаптации внутренних функций контроллеров.

ПРАКТИЧЕСКАЯ ЦЕННОСТЬ РАБОТЫ заключается в том, что ее результаты дают возможность перейти к использованию анализа динамических составляющих параметров и совокупных признаков, характеризующих технологическое качество гидродинамических и теплообменных процессов для осуществления режимного контроля в энергетическом оборудовании. Адаптивный характер такого контроля позволяет учитывать текущие изменения путем автоматической коррекции функционально предусмотренных элементарных операций. В свою очередь, это повышает надежность контроля процессов, связанных с гидродинамикой и теплообменом в каналах с вскипающим теплоносителем, повышает безопасность эксплуатации энергетического оборудования, обеспечивает технологический регламент и эффективность энергоустановок.

Внедрение методических и технических разработок в практику НИР обеспечивает безопасность стендовых исследований гидродинамики и теплообмена. Внедрение в практику ОКР позволяет осуществить конструирование измерительных преобразователей и специализированных контроллеров для обеспечения

соответствующими эффективными техническими средствами энергетических производств.

РЕАЛИЗАЦИЯ РАБОТЫ. Результаты диссертационной работы реализованы в качестве технических приложений и внедрены на межотраслевом уровне - в разработках метрологического обеспечения теплотехнического контроля на Черкасском приборостроительном производственном объединении конверсионной промышленности Украины. Результаты также использованы в программе индивидуальной подготовки специалистов отдела энергетики Академии инженерных наук Украины и в практике научных исследований Одесского политехнического университета на кафедре "Атомные электростанции".

Разработки реализованы в соответствии с планами НИР в рамках раздела 1.3. "Разработка методов и технических средств диагностики текущего состояния" программы "Критические технологии" энергетической отрасли Украины и в соответствии с координационными планами развития энергетики Сирийской Республики и программой Украинско-Сирийского сотрудничества по подготовке научных кадров.

АПРОБАЦИЯ РАБОТЫ. Основные аспекты диссертационной работы докладывались и обсуждались на конференции "Молодежь-ядерной энергетике Украины" Украинского ядерного общества, на рабочем совещании представителей метрологического отдела Черкасского приборостроительного производственного объединения конверсионной промышленности Украины, на научно-методическом семинаре отделения энергетики Академии инженерных наук Украины.

ПУБЛИКАЦИИ: по теме работы опубликовано 6 научных статей.

СТРУКТУРА И ОБЪЕМ РАБОТЫ. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературных источников (охватывающего 160 наименований) и двух приложений (1-программное обеспечение адаптивного контроля процессов кипения, 2-документы об исследованиях, испытаниях и внедрении разработанных систем контроля).

Работа содержит графический материал, помещенный в 10 рисунках, и изложена на 150 страницах машинописного текста.

2. КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ.

Во введении показана связь работы с условиями развития энергетики Сирии и Украины, описывается современное состояние проблемы контроля процессов теплообмена при кипении в каналах. Отмечается связь эффективности контроля кипения, учитывающего переменные условия теплообмена и гидродинамики, с эффективностью парожидкостного цикла, безаварийностью, надежностью и безопасностью эксплуатации энергетического оборудования. Также в этом разделе кратко сформулирована актуальность работы, основные результаты, их новизна, практическая ценность. Изложены сведения об апробации и реализации работы, личном вкладе автора, структуре и объеме диссертации.

В первом разделе диссертации выполнен обзор опубликованных работ, посвященных проблеме динамики теплогидравлических процессов в тепловой и ядерной энергетике, рассмотрены

традиционные методические и технические средства контроля кипения, выполнен их критический анализ. Отмечено, что в большинстве работ, опубликованных в последнее время, момент возникновения кипения в канале и даже момент наступления кризиса кипения определялся по результатам обработки звуковых шумов (спектральной плотности, мощности, частотные спектры и другие характеристики акустического шума в канале). Многие авторы отмечают существенное влияние на процесс принятия решений технологического шума в ЯЭУ (либо в экспериментальной установке) где находится исследуемый канал. Общим недостатком рассмотренных в данном обзоре методик и средств их реализации является то, что они не адаптируются к реальным условиям, когда режимы работы энергоустановок могут изменяться. Вместе с тем, многие из рассмотренных результатов исследования других авторов могут послужить основой для дальнейших разработок. Исходя из этого поставлена цель диссертационной работы и сформулированы задачи, вытекающие из поставленной цели, которые решены в последующих разделах работы.

Во втором разделе диссертации разработаны методические основы контроля теплообменных и гидродинамических процессов на базе комплексного анализа динамических составляющих параметров и гетерогенных показателей, образующих репрезентативный тензор. Дано аналитическое обоснование состава элементов тензора мониторинговых параметров и показателей, предложена методика использования интегро-дифференциальных признаков для осуществления адекватного режимного контроля.

Исходя из аналитического описания плотности теплового потока от греющей стенки к потоку вскипающего теплоносителя:

$$q = \left(T_{CT} - T + \frac{d(T_{CT} - T)}{dt} a_{\Delta T} r^2 / a \right) \cdot \alpha_{KB}, \quad (1)$$

где $\alpha_{KB} = \alpha_{KB}(G, i, p, q, T_{CT})$ - квазистационарный коэффициент теплообмена, T_{CT} - температура греющей стенки со стороны жидкости, T - средняя по сечению потока температура жидкости, и из рассмотрения температуры стенки из уравнения теплопроводности для греющего элемента (стенки)

$$\frac{\partial \tilde{T}}{\partial t} = -q_v / (\rho C)_{CT} + a_{CT} \Delta \tilde{T}, \quad (2)$$

$$\frac{\partial \tilde{T}}{\partial n} = -q_1 / \lambda_{CT} \quad (\text{с внутренней стороны для трубчатого}$$

тепловыделяющего элемента, с внешней - для стержневого),

$$\frac{\partial \tilde{T}}{\partial n} = q_2 / \lambda_{CT} \quad (\text{с наружной стороны для трубчатого}$$

тепловыделяющего элемента),

где n - нормаль к поверхности тепловыделяющего элемента, направленная в сторону теплоносителя; C - удельная теплоемкость; ρ - плотность; λ - теплопроводность; q_v - мощность источников теплоты, а также после записи в возмущениях, как это принято для анализа динамики процесса в линейном приближении, получаем:

$$\begin{aligned} \left(1 - \frac{\partial \alpha}{\partial q} \frac{q}{\alpha}\right) \delta q = \alpha_{KB} (\delta T_{CT} - \delta T) + \frac{\partial \alpha}{\partial p} \frac{q}{\alpha} \cdot \delta p + \frac{\partial \alpha}{\partial T_{CT}} \frac{q}{\alpha} \cdot \delta T_{CT} + \\ + \frac{\partial \alpha}{\partial i} \frac{q}{\alpha} \cdot \delta i + \frac{\partial \alpha}{\partial G} \frac{q}{\alpha} \cdot \delta G, \end{aligned} \quad (3)$$

и соответственно:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \delta \tilde{T}_{CT}}{\partial n} &= \frac{\delta q_1}{\lambda_{CT}}, \\ \frac{\partial \delta \tilde{T}_{CT}}{\partial n} &= -\frac{\delta q}{\lambda_{CT}}, \\ \frac{\partial \delta \tilde{T}}{\partial t} &= a \delta \Delta \tilde{T} + \frac{\delta q_V}{(\rho \cdot C_p)_{CT}}, \end{aligned} \quad (4)$$

После преобразования по Лапласу при нулевых начальных условиях из вышеприведенных соотношений получаем соотношение:

$$\frac{\delta \tilde{T}_{CT}}{T_{CT} - T} = -\chi(s) \frac{\delta \tilde{q}}{q}, \quad (5)$$

определяющее динамику изменения и взаимосвязь параметров температуры стенки канала с кипением теплоносителя и теплового потока. В этом соотношении для плоской стенки канала толщиной b :

$$\chi(s) = \alpha \operatorname{cht} \left[s(b^2/a_{CT})^{\frac{1}{2}} \right] / \left[s(\lambda_{CT}^2/a_{CT})^{\frac{1}{2}} \right], \quad (6)$$

а для круглых стержней:

$$\chi(s) = \left[\alpha J_0(s/a_{CT})^{\frac{1}{2}} R \right] / \left[(\lambda_{CT}^2/a_{CT})^{\frac{1}{2}} J_1(s/a_{CT})^{\frac{1}{2}} R \right], \quad (7)$$

где R - радиус стержня; J_0 , J_1 - функции Бесселя первого рода соответственно нулевого и первого порядков.

Таким образом, можно обоснованно рассматривать динамические составляющие двух параметров-температуры стенки и теплового потока в качестве двух элементов тензора репрезентативных параметров. Такой выбор хорошо согласуется с традиционным использованием стационарных значений параметра температуры стенки и плотности теплового потока для характеристики теплоотдачи. Переход от статических сигналов к динамическим осуществляется, исходя из приведенных соотношений.

В качестве дополнительных многомерных гетерогенных показателей используется интегральное звуковое давление и его производные по указанным выше параметрам и эрмитова матрица когерентности (\mathbb{E}), элементами которой являются спектральные характеристики сигналов различной физической природы (акустические и температурные). В работе показано, что все параметры и показатели должны для адекватного контроля анализироваться комплексно, как тензор:

$$\mathbb{V} = \mathbb{V} \left\{ T_{CT}; P_{ЗВ}; \frac{dP_{ЗВ}}{dq}; \frac{dP_{ЗВ}}{dT}; \mathbb{E} \right\} \quad (8)$$

Рассмотрим вначале случай, когда расход теплоносителя в канале остается в пределах технологических флуктуаций неизменным. При этом методика измерений включает непрерывный контроль динамической составляющей. Интегральный анализ акустического сигнала, расхода, пропорционального $P_{ЗВ}$, дает величину, определяемую количеством импульсных сигналов, имеющих амплитуду выше определенного порога. Поскольку собственная эмиссия реактора, экспериментальной установки, и т.д. имеет стационарный характер, то на этом фоне начало закипания теплоносителя будет отмечаться серией импульсов, связанных с

возникновением и схлопыванием паровых пузырей. При технологическом кипении отдельные импульсы становятся неразличимы, но интегральный уровень $P_{зв}$ может характеризовать режим кипения, если этот интегральный признак рассматривать совместно с анализом дифференциальных значений температур по длине канала.

При гидродинамической неустойчивости, когда расход теплоносителя в канале изменяется во времени, значения температур будут изменяться не только по длине канала, но и во времени. При этом акустическая эмиссия, связанная с кипением, будет маскироваться акустической эмиссией от термических напряжений в элементах конструкции реактора и интегральный признак по параметру $P_{зв}$ для контроля режима теплообмена не может быть включен в анализ. Здесь в качестве контролируемого показателя могут быть использованы элементы тензора $\nabla: \frac{dP_{зв}}{dT}$.

Для каналов, изменение расходов на которых технологически не предусмотрено, бифуркация операций по условиям стабильности может осуществляться по анализу вариаций расхода теплоносителя, определяемых по показаниям дифференциальных термопар. Это показано с использованием нестационарных уравнений энергии греющего и обогреваемого потоков теплоносителей и уравнения теплопроводности.

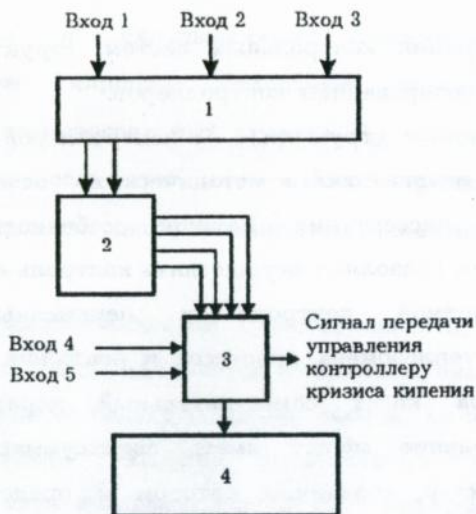
В третьем разделе диссертации разработаны структуры средств адаптивного автоматизированного контроля теплообмена гидродинамики при кипении, реализующие методические основы использования контрольных показателей. Предложены принципы измерительного преобразования первичной информации. Предложены

состав и конфигурация контрольных систем, структурные схемы построения специализированных контроллеров.

Предложенные структуры контроллеров являются конструктивной реализацией методических основ контроля, разработанных в диссертации. Важной особенностью структур является то, что они позволяют осуществить контроль с обеспечением адаптации алгоритмов контроля к переменным условиям гидродинамики и теплообмена процессов в реальном оборудовании. Каждая структура носит самостоятельный характер, но их совместное применение может иметь сверхсуммарный эффект. Применение структур, созданных автором и представленных на рисунках 1-5, для анализа теплообменных процессов с переменными во времени условиями обеспечивает эффективность контроля. Структурирование контроллеров основано на использовании тех признаков идентификации состояний теплообменного оборудования, которые разработаны во втором разделе диссертации. Представленные структуры не являются консервативными и допускают расширение как по составу, так и по характеру интегрированных в них элементов.

В четвертом разделе диссертации рассмотрена экспериментальная (опытная) реализация и применение разработанных средств адаптивного автоматизированного контроля гидродинамики и теплообмена на стендовом оборудовании, проведено их физическое моделирование. Исследование подсистемы, реализующей контроль с анализом показателей, составляющих элементы эрмитовой матрицы функций квадрата модуля когерентности, выполнялось путем моделирования подсистемы на основе компьютерной технологии. Характер изменения функции квадрата модуля когерентности гетерогенных сигналов (акустического

Контроллер для определения состояния
кипения теплоносителя



1-устройство мультипликативного переноса; 2-измеритель элементов арзиматовой матрицы; 3-устройство идентификации; 4- устройство сигнализации.

Вход 1 и 2 - входные сигналы от датчиков; Вход 3 - управляющий сигнал мультипликативного переноса; Вход 4 и 5 - управляющий сигнал контроллера.

Рис. 1

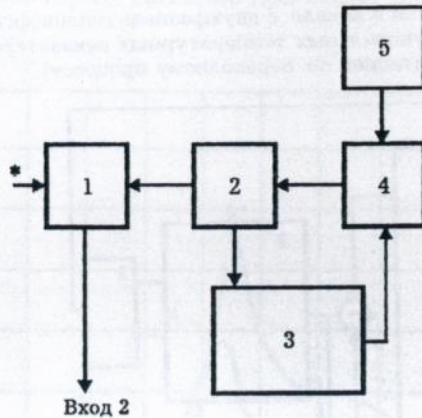
Блок-схема устройства мультипликативного
переноса контроллера кипения



1 и 2-преобразователи временного масштаба;
3-блок управления

Рис. 2

Управляющая система контроллера
кипения теплоносителя

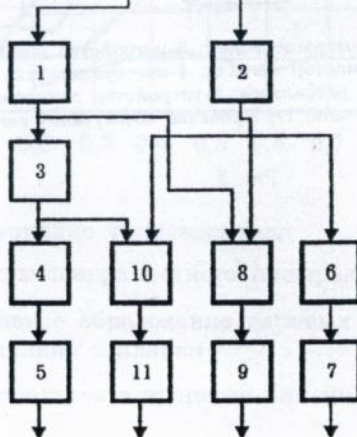


1-преобразователь временного масштаба; 2-код счетчика адреса;
3-блок памяти; 4-делитель частоты; 5-генератор тактовых импульсов.

Рис. 3

Измеритель элементов эрмитовой матрицы когерентности

с выходов устройства мультипликативного
переноса контроллера кипения

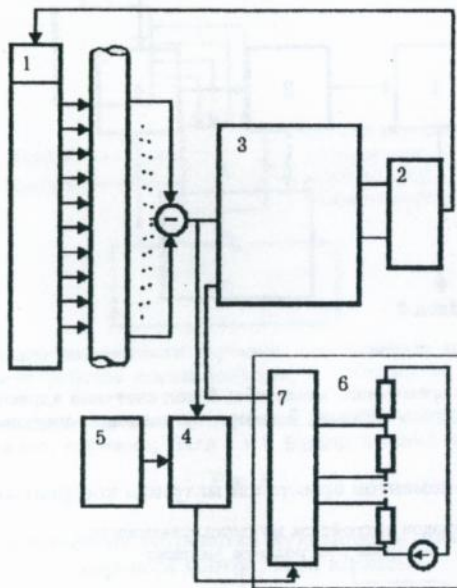


на устройство идентификации режимов кипения

1 и 2-преобразователь временного масштаба; 3-блок управления;
4-управляемый делитель частоты; 5-генератор тактовых импульсов;
6-квадратор; 7-интегратор; 8 и 10-блок умножения 9 и 11-интегратор.

Рис. 4.

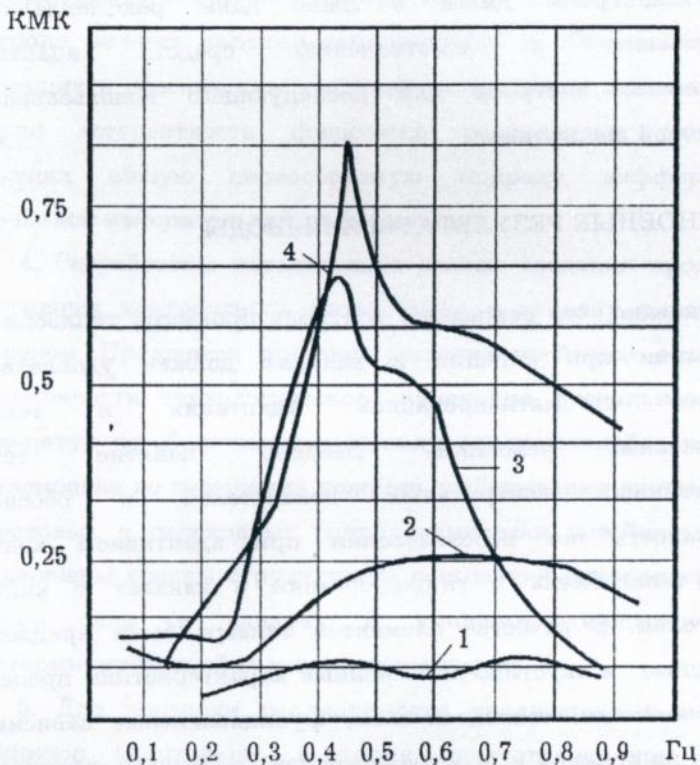
Контроллер теплоотдачи в канале с двухфазным теплоносителем по данным дифференциальных температурных показателей (с автоадаптацией по переходному процессу)



1-система управления тепловыделением; 2-устройство компарирования;
3-преобразователь-унификатор сигнала; 4-преобразователь аналогового
дифференциального разбаланса; 5-устройство синхронизации;
6-делитель напряжения; 7-устройство коммутации сигналов.

Рис. 5.

Функция квадрата модуля когерентности акустических и термических сигналов при смене режимов кипения



1- подкипание теплоносителя

2- режим поверхностного пузырькового кипения

3- активное образование паровых пузырьков
и слияние в пленки

4- теплоотдача в процессе кипения при кризисе

Рис. 6.

и температурного) при смене четырех типовых режимов кипения представлен на рис. 6. Из рисунка видно, что кривые имеют резонансный характер, что может быть использовано в качестве признаков контроля. Далее в главе даны рекомендации по конструированию и изготовлению средств адаптивного автоматического контроля для последующего использования в промышленной энергетике.

3. ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

1. Показано, что режимный контроль процессов теплообмена и гидродинамики при кипении в каналах должен удовлетворять требованиям автоматизированной адаптации к текущим технологическим условиям. Введено понятие тензора репрезентативных контрольных показателей и обоснована целесообразность его использования при адаптивном контроле процессов теплообмена и гидродинамики в каналах с кипящим теплоносителем. В качестве элементов тензора были предложены температурные и акустико-эмиссионные характеристики процесса в каналах с кипящим теплоносителем, функциональные зависимости параметров по времени и пространственной координате, производные звукового давления по температуре и тепловому потоку, а также эрмитовы матрицы функций квадрата модуля когерентности.

2. Положена адаптация контроля процессов кипения в каналах на основе бифуркации последовательности измерительных преобразований по признаку гидродинамической стабильности теплоносителя. Показана возможность использования возмущений параметров температуры для адекватной идентификации

гидродинамически нестационарных режимов адаптивного контроля при отсутствии возможности расходомерии в каналах.

3. Разработаны методические основы создания измерительного преобразования первичных измерительных сигналов для адаптивного контроля режима кипения теплоносителя в обогреваемых каналах, состоящие в обеспечении контроля по признаку величины квадрата модуля когерентности физически разнородных (гетерогенных), имеющих общую первообразную природу дифференциальных источников измерительной информации.

4. Разработаны методические основы создания проектирования адаптивных контроллеров теплообмена в каналах с регулируемым обогревом. Предложен принцип решения проблемы автоподстройки инерционности технологического изменения аксиального градиента температур по обогреваемому каналу, заключающийся в адаптивной балансировке во избежание ложного срабатывания системы контроля в пусковых и переходных гидродинамически устойчивых режимах. Предложены основы структурного построения контроллеров кризиса первого рода в каналах с кипящим теплоносителем при недетерминированной гидродинамике потока.

5. Для проверки реализуемости предложенных методических принципов адаптивного контроля теплоотдачи при кипении в различных гидродинамических режимах, а также принципов проектирования соответствующих систем, исследованы условия их опытного применения на модельных каналах стенда с кипением теплоносителя. Моделирование контроллеров режимов кипения и проведенные исследования в стендовых условиях показало их реализуемость и работоспособность с достаточной для практики точностью (до 9%). Опытная реализация систем контроля с автоадаптацией к гидродинамическим условиям теплообмена

показала результативность контроля при использовании предложенных принципов структурного проектирования, и возможность применения в его рамках стандартных схемотехнических решений на современной элементной базе. Экспериментирование на уровне физического моделирования показало перспективность использования методических и технических решений на промышленном энергетическом оборудовании с обеспечением адаптации контроля теплообмена и гидродинамики к реальным режимным условиям.

6. Результаты разработок и исследований внедрены в отделе теплотехнического контроля на Черкасском приборостроительном объединении конверсионной промышленности.

4. ОПУБЛИКОВАННЫЕ РАБОТЫ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Мазлуми М., Погосов А. Ю., Демидов О. А. Методы и технические средства диагностики запасов устойчивости процессов ЯЭУ по шумам параметров // Молодежь - ядерной энергетике Украины.- Изд. Укр. Ядерного Общества, 1995. - с. 32-34.
2. Мазлуми М. Адаптивный контроль процессов в теплообменном оборудовании. // Научные труды молодых ученых. Одесский политехн. ун-т. 1997. - с. 40-43
3. Мазлуми Муин. Методы и средства внутриканального контроля теплогидравлических процессов // Научные труды молодых ученых. Одесский политехн. ун-т. 1997. - с. 112-117.
4. Мазлуми Муин. Обоснование состава элементов тензора репрезентативных динамических сигналов и показателей //

Научные труды молодых ученых. Одесский политехн. ун-т. 1997. - с. 109-112.

5. Мазлуми М. и Погосов А. Ю. Адаптивные системы диагностики кризиса теплоотдачи при кипении в физических моделях обогреваемых каналов ЯЭУ /Одесс. политехн. ун-т. Деп. в ГНТБ Украины 15.02.1996г. Пер. №575УК96. - с ил., 11 с.
6. Мазлуми М. и Погосов А. Ю. Средства практической расходомерии и контроля распределения фаз при исследовании гидродинамики и теплообмена в каналах с кипящим теплоносителем /Одесс. политехн. ун-т. Деп. в ГНТБ Украины 15.02.1996 г. Пер. №576УК96. - с ил., 12 с. ,

Mazlumi Muin. Adaptive control heat-transfer and hydrodynamic in channel with boiling flow Ph. Doctor Thesis (Manuscript) of technical sciences on speciality 05.14.14 - Thermal and Atomic Power Plants and Nuclear Power Stations (thermal part).

Politechnical University of Odessa (Ukraine), 1997. Methodical basis creation of adaptive control by acoustic and temperature signals analyses and special system for control in boiling flow in thermal energy equipment are defended (6. scientific publications).

Мазлуми Муин Адаптивный контроль теплообмена и гидродинамики в каналах с кипящим теплоносителем. Диссертация (в форме рукописи) на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.14 - Тепловые и атомные электростанции и энергоустановки (тепловая часть).

- Одесский политехнический университет (Украина), 1997. Защищаются методические основы создания адаптивного контроля по анализу акустических и термических сигналов и специализированные системы для контроля кипящих потоков в тепловом энергетическом оборудовании (6 научных публикаций).

Мазлумі Муїн. Адаптивне контролювання теплообміну та гідродинаміки в каналах з киплячим теплоносієм. Дисертація (у формі рукопису) на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.14.14 - Теплові і ядерні електростанції та енергоустановки (теплова частина). Одеський державний політехнічний університет (Україна), 1997. Защищаются методичні основи створення адаптивного контролю за аналізом акустичних та термічних сигналів і спеціалізовані системи для контролю киплячих потоків у тепловому енергетичному обладнанні (6 наукових публікацій).

Ключові слова: теплообмін, контролювання, акустична емісія.

СЕРГЕЕВ

Подписано к печати 30.02.97г. Формат
60x84 1/167. Объем 0,7 уч. изд. л.
Заказ N54-3. Тираж 100 экз.

1000

АВ 37.459

АВ 37.459

Содержание: [Illegible text]

Материал [Illegible text]

[Illegible text]

Получено в [Illegible text]