

На правах рукописи

ПОГОСОВ Алексей Юрьевич

**ТЕОРИЯ И МЕТОДЫ ДИАГНОСТИКИ ЗАПАСОВ УСТОЙЧИВОСТИ
ПРОЦЕССОВ В ЯЭУ ПО ШУМАМ РЕЖИМНЫХ ПАРАМЕТРОВ**

Специальность 05.14.14. - Тепловые и ядерные
электростанции и энергоустановки (тепловая часть)

А в т о р е ф е р а т

диссертации на соискание ученой степени

доктора технических наук

А.Погосов

АВ 34.131

Диссертацией является рукопись.

Работа выполнена на кафедре Атомных электростанций Одесского государственного политехнического университета.

Научный консультант: доктор технических наук, профессор Герлига Владимир Антонович.

Официальные оппоненты:

1. Доктор технических наук, профессор Никульшин Владимир Русланович.
2. Доктор технических наук, профессор Огородник Станислав Станиславович.
3. Доктор технических наук, профессор Сухов Андрей Константинович.

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

Защита состоится "28" марта 1996 года в 14⁰⁰ часов на заседании специализированного ученого совета Д 05.06.02 при Одесском государственном политехническом университете по адресу: 270044 г.Одесса, пр.Шевченко, 1.

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

Автореферат разослан "25" февраля 1996 г.

Ученый секретарь
специализированного совета

МАЗУРЕНКО А.С.

ЛННБ України ім.В.Стефаніка



00740270 (К)

ЛННБ ім. В. Стефаніка
АН України

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ И АКТУАЛЬНОСТЬ. Надежность, безопасность и эффективность ЯЭУ остается глобальной научно-технической проблемой. Развитие теории, методов и средств получения достоверной оперативной информации о динамике процессов в ЯЭУ - часть этой проблемы. Одним из основных вопросов динамики процессов в энергоустановках является их устойчивость, как способность сохранять значения параметров в пределах допустимых отклонений.

Еще до создания первых реакторов исследование неустойчивости, как явления двухфазной гидродинамики, составляло истоки рассматриваемой проблемы. С началом эксплуатации ЯЭУ, проблема теплогидравлической устойчивости стала частью стратегии надежного тепловодства из активной зоны, приобретая еще большую сложность с учетом влияния на теплогидравлику также нейтронно-физических процессов. Обширные эксперименты и различные расчетные методики позволили добиться определенного успеха в плане обеспечения устойчивости процессов ЯЭУ с достаточно большими запасами на стадии проектирования. Но в процессе эксплуатации проектные запасы могут претерпевать изменения и нуждаться в диагностике на основе реальной измерительной информации. Величины запасов устойчивости определяются сочетанием режимных и конструктивных параметров или обобщенными показателями. На изменение запасов устойчивости могут оказывать влияние эволюция условий, переходы на другие режимы, различные негативные ситуации. Снижение запасов устойчивости до нуля может обусловить неустойчивые процессы, наблюдаемые в виде опасных отклонений режимных параметров от номинальных значений (низкочастотные колебания значительной амплитуды таких параметров как расход, давление, температура, реактивность и др.), что может привести к аварии или снизить эффективность технологического процесса. Объективная тенденция увеличения единичных мощностей АЭС (удельного энерговыделения в активной зоне) также ведет к уменьшению

запасов до критических (граничных) значений всех основных параметров технологических процессов в ЯЭУ. Но при этом и чрезмерное завышение запасов неэффективно.

Очевидно, что как увеличение, так и уменьшение запасов устойчивости должно сопровождаться постоянным контролем их реальных текущих значений и рассматриваться с позиций классической теории устойчивости. Поскольку натурные испытания для выявления истинной степени близости рабочих режимов к граничным в ЯЭУ как правило недопустимы, а при математическом моделировании или стендовых экспериментах (с построением карт устойчивости) невозможно учесть все особенности реальной эксплуатации, — только диагностика текущих запасов устойчивости, основанная на использовании технологически обоснованных и репрезентативных источников информации, позволяет сделать девиацию запасов устойчивости оперативно контролируемой и управляемой.

Источником информации для диагностики в номинальных режимах могут служить шумы режимных параметров, представляющие собой низкочастотные маломплитудные стохастические колебания параметров вокруг соответствующих стационарных значений. Шумы, как правило естественным образом сопровождающие процесс нормальной эксплуатации (в некоторых задачах контроля и управления рассматриваемые как помехи), содержат в себе всю полноту информации о динамике процессов. Многообразие картин шумов в ЯЭУ и сложные нелинейные, взаимозависимые, естественно-дисперсные обратные связи (что наряду с другими особенностями отличает эту проблематику в ЯЭУ от аналогичной в других классах систем — например, в САУ), долгое время не позволяло сделать однозначный выбор для анализа таких шумов параметров, которые были бы адекватны механизмам рассматриваемых неустойчивых процессов (в элементах контуров ЯЭУ и контурах в целом). Выбор информационно репрезентативных шумов, алгоритмы их измерительного преобразования, отвечающие и целевому определению искомых характеристик (запасов устойчивости), и реальным условиям эксплуатации, а также соответствующие теоретические основы, методы и средства оставались до выполнения

настоящей диссертационной работы неудовлетворительно разработанными. Таким образом, для решения рассматриваемой проблемы ранее не было обоснованной базы, позволяющей эффективно использовать на практике шум, как инструмент диагностики запасов устойчивости в ЯЭУ.

Другие концепции диагностики, использующие результаты шумометрии, которые сводятся к анализу связи изменения характера шумов с исследуемыми процессами для выявления возникших дефектов и интерпретации шумовых сигналов как признаков при обнаружении появившихся аномалий в ЯЭУ, привели к развитию другого направления, основанного на применении теории распознавания образов. Это расширило область знаний о самих процессах и способствует раннему диагностированию возникших аномалий, но к решению проблемы диагностики и анализа именно запасов до потенциально аномальных (неустойчивых) процессов в ЯЭУ эти концепции диагностики пока не привели.

Таким образом, исключительная важность диагностики по шумам запасов устойчивости рабочих процессов в ЯЭУ с одной стороны и недостаточная разработанность концептуальной, методической и технической базы для ее разрешения с другой — определяют актуальность данной работы.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ состоит в разработке теории диагностики запасов устойчивости процессов в ЯЭУ по шумам режимных параметров, а также разработке методов, объединенных данной теоретической основой, и принципов создания соответствующих диагностических средств.

НАУЧНАЯ НОВИЗНА РАБОТЫ И ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ.

1. Разработана теория диагностики по шумам режимных параметров запасов докризисной теплотдачи, межканальной и общесистемной теплогидравлической устойчивости с учетом влияния нейтронно-физических процессов, межконтурных эффектов и возможной пространственной подвижности ЯЭУ (в случае транспортного варианта ЯЭУ или с учетом вибро-сейсмического влияния на АЭС).

В основу теории положено использование аппарата передаточных функций, однако отличие теории от других

известных теорий, как, например, теории "гармонических возмущений" состоит в том, что для измерения частотных передаточных функций используются реализации шумов, информационно-репрезентативный выбор которых осуществляется аналитически, но с учетом физики реальных процессов. В отличие от статистического анализа шумов, не связанного с определением запасов устойчивости, выбор измеряемых передаточных функций, исходя из положений теории, не может быть произвольным, а является в каждом типичном случае таковым, чтобы по ним, как конечный результат шумомерной, могли быть измерены оценки характеристических функций. Для определения запасов устойчивости применимы частотные критерии без размыкания систем, в основе которых лежит принцип аргумента.

2. На базе разработанной теории предложены методические основы диагностики запасов устойчивости в ЯЭУ, ориентированные на выборочное использование информативных технологических шумов режимных параметров. Избирательность шумомерии обеспечивается, исходя из рассмотрения аналитического описания диагностируемых процессов и практического анализа когерентной (корреляционной) связи реальных шумов. На этой основе определяемые по результатам практической избирательной шумомерии передаточные (характеристические) функции отражают реальную (фактическую) динамику диагностируемых процессов и соответствующие реальные запасы устойчивости.

3. Разработан новый метод диагностики запасов межканальной теплогидравлической устойчивости. Основными шумами, измерение и анализ которых используется для определения искомым передаточных функций и в конечном счете - запасов устойчивости, являются: шум расхода и шум перепада давления или другая равносильная пара: шум перепада давления на входном необогреваемом участке канала и шум перепада давления на участке, последующем за входным.

4. Разработан новый метод диагностики докритических запасов устойчивости теплоотдачи в парогенерирующих системах. Основными шумами, измерение и анализ которых используется для определения искомым передаточных функций

и в конечном счете - запасов устойчивости являются шум температуры стенки канала (ТВЭЛ) и шум теплового потока.

5. Разработан новый метод диагностики запасов общесистемной устойчивости в контурах. Для диагностики запасов обтекательной устойчивости циркуляционных петель с контролируемой подпиткой (контролируемой утечкой) основными шумами являются: шум расхода подпитки и шум расхода на необогреваемой ("холодной") части контура. Для контуров без подпитки (утечки) - это разностный шум расхода на обогреваемой и необогреваемой частях контура и шум на необогреваемой части петли.

6. Предложены новые принципы осуществления режимной тестовой диагностики для определения запасов устойчивости с использованием синтезируемого зондирующего шума в условиях возможного технологического шумоподавления.

7. Впервые поставлена и решена задача применения шумовой диагностики запасов устойчивости в условиях коррелированности (когерентной связи) реакторных шумов, в том числе - адаптация к условиям стохастической подвижности ЯЭУ при транспортном исполнении или при работе АЭС в сейсмической зоне.

8. Разработаны новые принципы проектирования и создания диагностических систем промышленного назначения, исходя из которых предложен ряд различных технических решений для осуществления диагностики запасов устойчивости в ЯЭУ по шумам режимных параметров.

9. Выполнена опытная проверка предложенной концепции диагностики запасов устойчивости, ее основных теоретических положений, а также методических и системотехнических решений на экспериментальных установках и в промышленных условиях шумометрии на АЭС.

Новизна и приоритет предложенных принципов диагностики и соответствующих методов подтверждена авторскими свидетельствами на способы, а новизна и приоритет предложенных принципов проектирования диагностических систем - авторскими свидетельствами на устройства.

ПРАКТИЧЕСКАЯ ЦЕННОСТЬ результатов работы состоит в

следующем. Разработанная теория впервые позволила обосновать выбор анализируемых шумов режимных параметров при диагностике запасов устойчивости потока кипящего (подкипающего) теплоносителя — как в каналах, так и в контурах.

Эти результаты, в свою очередь, обеспечивают возможность целенаправленной, а не всевозможной ("поисковой" или методом случайного выбора из всей совокупности шумов) регистрации тех сигналов в процессе шумометрии, обработка которых дает информацию о запасах устойчивости исследуемых процессов. Практически это сводит к минимуму затраты времени и средств на поиск способов получения достоверной информации об удаленности текущего стационарного режима от режима граничного (кризисного).

При этом ценность оперативного знания запасов теплогидравлической устойчивости (в том числе — с учетом нейтронных эффектов) или запасов до кризиса теплоотдачи заключается в возможности повышения эффективности работы энергооборудования благодаря увеличению энергонапряженности при обоснованном допущении снижения рабочих запасов.

Практическая ценность другого плана заключается в возможности учета при диагностике запасов по шумам влияния стохастической пространственной подвижности оборудования ЯЭУ, например, при землетрясении с задержкой во времени, что обуславливает практический интерес для сейсмических районов сосредоточения АЭС. Практическая заинтересованность в этом плане проявилась в Японии, где автором проводились исследования по этой части работы.

Опосредованный практический эффект за счет эффективности диагностики состоит, кроме того, в повышении надежности установок и безопасности исследований на базе натуральных измерений, а также снижении затрат на ремонтно-восстановительные работы.

Побочный эффект заключается в возможности совместить в практике НИР и ОКР по безопасности и надежности ЯЭУ изучение вопросов динамики и статики на одном теплогидравлическом оборудовании, что благоприятствует повышению эффективности исследований на дорогостоящих стендах.

РЕАЛИЗАЦИЯ РАБОТЫ. Диссертационная работа в целом и по частям выполнялась с использованием ее результатов в соответствии с Украинской научно-технической программой РН.01.09 (раздел У.04.Н18) "Исследовать теплогидравлическую устойчивость параллельно работающих каналов" (1984-1986гг.), в соответствии с общесоюзным (в период СССР) заданием 0.01.04 "Создать новые виды энергоблоков с ядерными реакторами для выработки электроэнергии и тепла" (совместное постановление ГКНТ и АН СССР № 537/137 от 10.11.85), в соответствии с координационным планом СССР/СНГ по теме I.9.3.3.4 "Динамика процессов теплообмена в энергетических установках при нормальных и аварийных режимах" (1986-1991гг.), в соответствии с международными программами, координируемыми МАГАТЭ в области безопасности ядерных технологий, в рамках планов работ Токийского университета (1992-1994гг.) и согласно национальной программе Украины "Критичные технологии" по направлению "Технология повышения безопасности и развитие атомной энергетики Украины" (подраздел I.3 "Разработка методов и технических средств диагностики текущего состояния", 1995г.)

Результаты работы нашли реализацию также в развитии учебных дисциплин "Технические системы диагностики АЭС" и "Проектирование, монтаж и наладка оборудования АЭС" Одесского политехнического университета.

Основные разработки и результаты исследований внедрены в практику научно-исследовательских работ отдела высокофорсированного теплообмена, гидродинамики и диагностики двухфазных потоков Института технической теплофизики НАН Украины, использованы на крупномасштабном стенде высокого давления "Кольцо" НАН Украины (г.Киев), внедрены на предприятиях ПЭО "Одессазерго" (г.Одесса), НПО "Криогенмаш" (г.Балашиха), НИКИЭТ (г.Москва), НПО "Аврора" (г.Санкт-Петербург), на Запорожской и Южно-Украинской АЭС и в др. предприятиях и организациях.

Ограниченно результаты работы реализованы также в рамках технических предложений и практических рекомендаций

в лаборатории Ядерных реакторов Токийского университета, где проводились исследования автором по данной тематике в течение двух лет по приглашению японской стороны.

АПРОВАЦИЯ РАБОТЫ. Различные аспекты диссертационной работы представлялись и обсуждались в различных странах (в том числе США, Японии, Австралии, Польше, Литве, Украине, России и др.), на международных, Всесоюзных и Всеукраинских конференциях, семинарах и симпозиумах по автоматике, диагностике и проблемам ядерной энергетики - в том числе:

на научно-технической конференции общества Энергетики и электротехнической промышленности им. Г. М. Кржижановского (Свердловск-1985, Одесса-1986), на семинаре "Моделирование и оптимизация динамики технологических процессов в энергетике" (Киев-1986), на научно-технической конференции "Актуальные проблемы моделирования и управления системами с распределенными параметрами" (Киев-1987), на научно-технической конференции "Процессы теплообмена в одно- и двухфазных системах" (Днепропетровск-1987), на научно-технической конференции "Безопасность эксплуатации судовых энергетических установок" (Севастополь-1988), на научно-технической конференции "Теплообмен в энергетических установках и технологических агрегатах" (Днепропетровск-1988), на научно-технической конференции ЭИИИ и семинаре "Автоматизация проектирования и производства радиоэлектронных устройств и систем управления" (Москва-1988), на семинаре "Двухфазные потоки в тепловом оборудовании АЭС" (Одесса-1988), на конференции "Теплообмен в парогенераторах" (Новосибирск-1988), на международном симпозиуме "Комплексная автоматизация промышленности" (Польша, Вроцлав-1988), на научно-практическом семинаре АН СССР "Динамика теплофизических процессов в элементах энергетических аппаратов" (Челябинск-1989), на международном научно-практическом семинаре "Эргономика и эффективность систем "человек-техника" (Вильнюс, Игналина-1990, 1991г.), на научно-практическом семинаре "Комбинаторно-статистические методы анализа и обработки информации"

(Киев-Одесса-1990), на научно-технической конференции "Двухфазные потоки в энергетических машинах и аппаратах" (Санкт-Петербург-1991), на научно-технической конференции Ядерных обществ и стран - пользователей атомной энергией "Проектирование и безопасность перспективных ядерных энергетических установок" (Япония, Токио-1992), на международном конгрессе по автоматике /секция энергетики (Австралия, Сидней-1993), на конференции по проблемам надежности и безопасности АЭС - Американского Ядерного общества (США, Питсбург-1994) и др.

ЛИЧНЫМ ВКЛАДОМ АВТОРА В РАБОТУ является следующее:

1. Выбор научного направления, изучение проблематики, критический анализ современных теорий и методов, постановка цели и задач диссертационной работы.

2. Разработка теории диагностики по шумам параметров запасов докритической теплоотдачи, межканальной и общесистемной теплогидравлической устойчивости с учетом влияния нейтронно-физических процессов, межконтурных эффектов и возможной пространственной подвижности ЯЭУ.

3. Разработка ряда методов на базе объединяющей их теории и совокупности различных способов их практической реализации для диагностики запасов устойчивости процессов в ЯЭУ по шумам режимных параметров.

4. Разработка устройств и систем технического осуществления шумопараметрической диагностики запасов устойчивости.

5. Создание специального опытного оборудования, руководство экспериментами и личное участие в экспериментальных исследованиях, направленных на подтверждение результативности предложенных принципов диагностики.

6. Практические рекомендации, перспективы дальнейших работ и выводы по работе.

Личный творческий вклад автора подтвержден рядом научно-технических отчетов, 56 опубликованными научными трудами, в том числе 23 авторскими свидетельствами (патентами) на изобретения. Некоторые положения работы использованы в ряде монографий и учебников.

СТРУКТУРА И ОБЪЕМ РАБОТЫ. Диссертация содержит список сокращений, предисловие, введение, 7 глав, выводы по работе, заключение, приложения и изложена на 300 страницах, исключая 53 рисунка и 5 таблиц (не помещенные в приложения), исключая приложения (3 прил.) и список литературы (526 источников).

В ПРЕДИСЛОВИИ к диссертационной работе обозначены ее теоретические истоки и область ее приложения, а также связь с известными научными направлениями и место данной работы в общей системе знаний. Отмечены обстоятельства, способствующие выполнению работы.

Во ВВЕДЕНИИ обозначен класс объектов, на которые ориентированы предлагаемые теоретические и прикладные разработки, сформулирован предмет диссертации и проблематика работы, ее отличия от подобной проблематики в других классах систем, например в системах автоматического управления (неявные взаимосвязанные естественно-дисперсные обратные связи, неоднозначность и неочевидность выбора возмущений для анализа динамических процессов, интерпретация шумов режимных параметров не как помех, а как информационных временных функций, диагностический ракурс проблемы, существенные ограничения в использовании гармонических возмущений и др.). Во введении также обоснована актуальность вопросов, связанных с диагностикой запасов устойчивости процессов в ЯЗУ, сформулирована цель и дана общая характеристика работы.

ПЕРВАЯ ГЛАВА диссертации посвящена исследованию возможных подходов и альтернативных методов оценки запасов устойчивости в ЯЗУ в рамках различных научных направлений.

ВТОРАЯ ГЛАВА диссертации посвящена разработке теории и соответствующего метода диагностики запасов устойчивости теплогидравлических процессов по шумам режимных параметров в параллельных парогенерирующих каналах.

ТРЕТЬЯ ГЛАВА диссертации посвящена разработке теории и соответствующего метода диагностики запасов до кризиса устойчивой теплоотдачи по шумам режимных параметров.

ЧЕТВЕРТАЯ ГЛАВА диссертации посвящена разработке теории и соответствующего метода диагностики запасов

общесистемной устойчивости теплогидравлических процессов по шумам режимных параметров в контурах ЯЭУ.

ПЯТАЯ ГЛАВА диссертации посвящена вопросам учета динамики нейтрального вливания и механических эффектов возможной пространственной подвижности ЯЭУ при диагностике запасов устойчивости по шумам режимных параметров.

ШЕСТАЯ ГЛАВА диссертации посвящена экспериментальной проверке теоретических и методических принципов диагностики по шумам режимных параметров запасов устойчивости.

СЕДЬМАЯ ГЛАВА диссертации посвящена разработке принципов построения, структуры и состава специализированных систем промышленного применения в ЯЭУ для диагностики запасов устойчивости технологических процессов по шумам режимных параметров.

В дополнение к основным главам диссертации в приложениях помещены решения задач, связанных с программным обеспечением систем автоматизированной диагностики, расширением функциональных возможностей разработанных методов, часть экспериментального материала и некоторые математические выкладки.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Содержание диссертации составляет решение совокупности задач, определенных проблематикой работы и поставленной целью, по следующим основным аспектам: теоретическое обоснование и методические вопросы использования шумов режимных параметров для диагностики запасов устойчивости процессов в ЯЭУ (локальных и общесистемных), создание диагностических алгоритмов измерительного преобразования шумов с адаптацией к условиям реальной эксплуатации, опытная (экспериментальная) проверка выдвинутых аналитических положений, разработка принципов построения специализированных диагностических систем, разработка базовых конструктивных решений диагностических систем,

используемых информативность шумов параметров для суждения об устойчивости процессов в ЯЭУ.

Прежде всего, для формирования самого подхода к разрешению основной проблемы поставленных в этой связи задач в диссертации исследованы фактические и гипотетические аномалии процессов, связанные с уменьшением запасов устойчивости процессов в ЯЭУ и проанализирована неэффективность чрезмерного завышения запасов, показана целесообразность оценки текущих (реальных, а не расчетных) запасов устойчивости в процессе эксплуатации для их контроля, управления и оптимизации.

На основе обзора опубликованных источников по данному кругу вопросов выполнен критический анализ традиционных методов и средств решения подобных задач, а именно: аналитических и качественных методик, математического (численного) моделирования, экспериментального испытания физических моделей или натуральных объектов с построением карт устойчивости, тестовой диагностики при помощи гармонических возмущений и всевозможные попытки использования шумов режимных параметров для функциональной диагностики процессов в ЯЭУ. Выводы сделаны по результатам обзора источников, опубликованных с конца 40-х до начала 90-х годов. При анализе известных разработок особое внимание уделено тем идеям и методам, которые связаны с практической направленностью шумопараметрической диагностики процессов в энергетических установках, начиная от общих замечаний Фреденберга в совместных с Дираком работах по стохастической кинетике реактора, до узких аспектов технической реализации диагностических систем, разработанных ведущими научно-техническими коллективами в мировой практике.

В результате выявлены необходимость и возможность преодоления недостатков существовавших ранее известных подходов путем развития принципиально иного научно-технического направления, ориентированного на определение запасов устойчивости процессов в ЯЭУ с позиций классической теории устойчивости (в смысле Ляпунова), но исходя из реальных данных шумометрии, обоснована целесообразность этих разработок и детализированы задачи,

вытекающие из поставленной в работе общей цели.

Далее, в первую очередь, в диссертации решены задачи, посвященные теоретическим основам адекватного выбора подлежащих анализу шумов режимных параметров, способом их измерения и алгоритмической обработки для нахождения по результатам шумометрии, опытным путем, информативных частотных передаточных функций, описывающих потенциально неустойчивые процессы с фазовым переходом, для суждения о запасах межканальной теплогидравлической устойчивости.

Так, для выбора режимных параметров, анализ шумов которых может дать информацию об устойчивости стационарных режимов работы парогенерирующих каналов (ПГК) используется система исходных уравнений (неразрывности, сохранения энергии и количества движения), описывающих состояние рабочего тела в ПГК при общепринятых допущениях. После записи системы исходных уравнений в возмущениях на стационарном режиме, линеаризации и преобразования по Лапласу при нулевых начальных условиях, с учетом обозначений

$$Y(z, s) = \text{colon} \left\{ \delta \tilde{G}_{\text{вмк}}, \delta \tilde{T}_{\text{вмк}}, \delta \tilde{P}_{\text{вмк}} \right\}. \quad (1)$$

$$Y(z, s) = \text{colon} \left\{ \frac{\partial \delta \tilde{G}}{\partial z}, \frac{\partial \delta \tilde{T}}{\partial z}, \frac{\partial \delta \tilde{P}}{\partial z} \right\} \quad (2)$$

где $\delta \tilde{G}_{\text{вмк}}, \delta \tilde{T}_{\text{вмк}}, \delta \tilde{P}_{\text{вмк}}$ - изображения по Лапласу соответственно возмущений параметров расхода, энтальпии и давления, а $\frac{\partial \delta \tilde{G}}{\partial z}, \frac{\partial \delta \tilde{T}}{\partial z}, \frac{\partial \delta \tilde{P}}{\partial z}$ - преобразованные по Лапласу производные указанных выше временных функций возмущений соответствующих параметров, система уравнений первого приближения может быть записана в матричной форме;

$$Y(z, s) = AY(z, s), \quad (3)$$

где A - матрица коэффициентов. Решение (3) может быть представлено в каноническом виде:

$$Y(z, s) = \Phi_0(z, s) \cdot Y(0, s), \quad (4)$$

где

$$Y(0, s) = \text{colon} [\delta \tilde{\sigma}_{\sigma\kappa}, \delta \tilde{\tau}_{\sigma\kappa}, \delta \tilde{p}_{\sigma\kappa}].$$

При этом фундаментальная матрица решений $\Phi_0(z, s)$ имеет вид:

$$\Phi_0(z, s) = \begin{bmatrix} \Pi_{\sigma\sigma}(z, s) & \Pi_{\sigma i}(z, s) & \Pi_{\sigma p}(z, s) \\ \Pi_{i\sigma}(z, s) & \Pi_{ii}(z, s) & \Pi_{ip}(z, s) \\ \Pi_{p\sigma}(z, s) & \Pi_{pi}(z, s) & \Pi_{pp}(z, s) \end{bmatrix} \quad (5)$$

Элементы матрицы (5) индексированы символами, характеризующими координаты векторов соотношения (4), связанных с соответствующими физическими параметрами. Это позволяет рассматривать элементы матрицы, которая преобразует координаты вектора $Y(0, s)$ в координаты вектора $Y(z, s)$, в качестве матричной передаточной функции.

Поскольку для исследования теплогидравлической устойчивости при значительных давлениях (более 5 МПа) в соответствии с условиями технологического процесса рабочее тело в ПТК принято считать практически несжимаемым, для $z=H$ (H - длина ПТК) было получено важное промежуточное соотношение;

$$\delta \bar{P}_{\text{вых}} - \delta \bar{P}_{\text{вх}} = \Pi_{\text{р.о.}}(z, s) \delta \bar{G}_{\text{вх}} + \Pi_{\text{р.т.}}(z, s) \delta \bar{T}_{\text{вх}}. \quad (6)$$

Для рассматриваемого случая динамически изолированного ПТК с необогреваемым участком на входе граничные условия принимают вид:

$$\begin{cases} \Delta \bar{P}_{\text{вх}} = f(\bar{G}_{\text{вх}}), \\ \bar{P}_{\text{вых}} = \text{const}, \\ \bar{P}_{\text{вх}} = \text{const}, \end{cases} \quad (7)$$

где $\Delta \bar{P}_{\text{вх}} = P_{\text{о}} - P_{\text{вх}}$ - перепад давления на входном участке, $\bar{P}_{\text{вых}}$ и $\bar{P}_{\text{вх}}$ - осредненные по времени значения давлений на входе и выходе. После записи граничных условий (7) в возмущениях, с последующей линеаризацией и преобразованием по Лапласу при нулевых начальных условиях с учетом того факта, что при одинаковом порядке относительных возмущений расхода и энтальпии (температуры) на входе в ПТК реакция перепада давления на возмущения расхода превосходит реакцию перепада давления на возмущение энтальпии, было получено конечное упрощенное соотношение:

$$\frac{\delta \Delta \bar{P}}{\delta \bar{G}_{\text{вх}}} = - \Pi_{\text{о.р.}}(s) + \frac{d \Delta \bar{P}}{d \bar{G}_{\text{вх}}}, \quad (8)$$

где $\Delta P = P_{\text{о}} - P_{\text{вх}}$. Правая часть этого выражения математически представляет собой характеристическую функцию (левую часть характеристического уравнения ПТК), которая в силу полученного соотношения пропорциональна отношению двух преобразованных по Лапласу возмущений режимных параметров.

Данные возмущения, на основе используемого подхода, в контексте решаемой задачи рассматриваются как изображения реализаций шумов соответствующих параметров, поскольку

соответствующие изображениям физические реализации шумов по своей природе суть стохастические стационарные функции времени. Таким образом, выражение (8) — по определению передаточная функция $\Pi_{\text{одр}}(s)$ "расход — перепад давления на канале", которая при изложенном подходе может быть найдена путем измерений и обработки реализаций шумов соответствующих параметров, регистрируемых в процессе реальной эксплуатации без нарушения нормального режима. Режимный поиск ее путем шумомерии рабочего процесса представляет интерес постольку, поскольку это дает возможность судить о характеристической функции с учетом реальных условий, соответственно, о действительном текущем запасе межканальной устойчивости рабочих обогреваемых каналов.

Знание текущих значений указанных запасов позволяет контролировать степень близости рабочего режима работы многоканальной обогреваемой системы к режиму, сопровождаемому колебаниями расхода в параллельных каналах со сдвигом фаз. При этом, критерий оценки запасов устойчивости (по Ляпунову), вытекает из принципа аргумента, лежащего в основе известных частотных критериев (Найквиста и Михайлова). Соответственно, в условиях данной проблематики может использоваться равносильный частотный критерий для измеряемой по шумам режимных параметров передаточной функции

$$\Pi_{\text{одр}}(s) = \frac{\Delta P}{\Delta P_{\text{ок}}} \quad (9)$$

Таким образом, в диссертации доказано, что в случае устойчивой замкнутой системы — ПЧК в реальных условиях, с учетом условий (7) — необходимо и достаточно, чтобы годограф (9) не охватывал начала координат комплексной плоскости, поскольку только в этом случае приращение аргумента соответствующего характеристического вектора равно нулю в диапазоне изменения частот от нуля до бесконечности. Данный критерий включает как частный случай так называемый Д — критерий (обобщающий критерий Петрова),

разработанный в ФЭИ, если выполнить упрощения в выражении для левой части характеристического уравнения, направленные на устранение функциональной зависимости от частоты и положить ее равной некоторому числу. Использование соотношения (9) позволяет осуществлять шумопараметрическую диагностику на основе реализации подхода, принятого в теории систем автоматического регулирования для рассматриваемого класса систем и дает возможность по результатам измерений шумов режимных параметров, путем избирательной шумометрии, без нарушения технологического процесса, диагностировать текущий запас устойчивости контролируемого стационарного режима тепломассообмена в многоканальных системах ЯЭУ.

Далее, в тех главах диссертации которые, посвящены критичности теплообмена и диагностированию запасов до кризиса, а также общесистемной стабильности циркуляции в контуре и соответствующим запасам устойчивости, кроме того - влиянию нейтронно-физических возмущений при диагностике искомых запасов, представленные выше теоретические положения обобщается на указанные случаи локальной (по кризису теплоотдачи) и общесистемной (по стабильности циркуляции в контуре) устойчивости.

На основе полученных теоретических результатов разработаны конкретные практические методы и алгоритмы как функциональной (использующей функционально-свойственные процессу шуму), так и тестовой (использующей зондирующее шумовое воздействие) диагностики запасов устойчивости реальных процессов ЯЭУ.

Так, для диагностики запасов устойчивости, связанных с механизмами возбуждения межканальных колебаний практические диагностические алгоритмы предусматривают: измерение и регистрацию текущих значений параметров расхода и перепада давления на ПК, детектирование переменных составляющих соответствующих сигналов, полосовую фильтрацию для формирования исходных реализаций шумов, последующий спектральный анализ и определение по его результатам искомой частотной передаточной функции, содержащей оперативную информацию об искомом запасе устойчивости. Базовым алгоритмическим соотношением для

определения по результатам спектрального анализа шумов режимных параметров является:

$$P_{\text{одр}}(f\omega) = \frac{S_{\text{одр}}(f\omega)}{S_{\text{оо}}(\omega)}, \quad (10)$$

где $S_{\text{одр}}(f\omega)$ - комплекснозначная взаимная спектральная плотность мощности шума расхода и шума перепада давления, а $S_{\text{оо}}(\omega)$ - автоспектральная плотность мощности шума расхода. Это соответствует рассмотрению объекта диагностики в виде трибьюального объекта с одним входом и одним выходом, причем входным возмущением и реакцией служат определенные на основе изложенного выше шуму соответствующих параметров.

В диссертации и теоретически, и экспериментально - на стендовом оборудовании - показано, что выбор в качестве анализируемых шумов, кроме рекомендуемых, не является результативным для диагностики искомых запасов устойчивости.

В части опытной реализации принципиальным отличием тестовой диагностики от функциональной как при диагностике локальных, так и общесистемных запасов устойчивости является то, что в этом случае шум, выступающий в роли возмущающего воздействия, задается генератором псевдослучайных (случайных на заданном интервале времени) искусственных флуктуаций (шумов), а не измеряется. Причем, это дает возможность формировать тестовое воздействие с заданной (желаемой) спектральной мощностью сигнала. Основываясь на этом положении, для случая тестовой диагностики предложена методика синтеза шумов параметров и экспериментально доказана возможность реализации такого подхода.

В плане разработки метода диагностики запаса до кризиса кипения, рассматривается динамика процессов в системе "греющая стенка - теплоноситель". Такая модель не противоречит гидродинамической теории кризиса, она описывает динамику процессов после разрушения поверхности

раздела. Таким образом, в этой системе потеря устойчивости в смысле Ляпунова интерпретируется как кризис теплоотдачи. Этот подход, не связан с попыткой пересмотра теории Кутателадзе, но предпринят в диссертации для расширения функциональных возможностей диагностики, основанной на шумометрии, - с одной стороны и для возможности рассмотрения запасов до кризиса кипения как с позиций теории автоматического регулирования, так и в связи с физической природой кризиса.

Такая интерпретация, основанная на идее о связи кризиса кипения с устойчивостью параметра температуры, основанная на работах Адыutori и Стефана и развитая С.А.Ковалевым, предложившим решать задачу путем анализа корней соответствующего характеристического уравнения, позволила автору диссертации показать связь левой части характеристического уравнения с функцией комплексного переменного, определяемой для реального объекта отношением изображений возмущений теплового потока и возмущений температуры обогреваемой стенки :

$$P_{qr}(j\omega) = \frac{\delta \tilde{q}}{\delta T_{cr}} \quad (II)$$

которое представляет собой частотную передаточную функцию, подлежащую определению по результатам шумометрии и спектрального анализа без учета влияния шума расхода по алгоритмическому соотношению:

$$P_{qr}(j\omega) = \frac{S_{qr}(j\omega)}{S_T(\omega)} \quad (I2)$$

где $S_{qr}(j\omega)$ - комплексная взаимная спектральная плотность мощности шума температуры и флуктуаций теплового потока, а $S_T(\omega)$ - автоспектральная плотность мощности шума температуры. Это соответствует рассмотрению системы "греющая стенка-теплоноситель" в качестве объекта

диагностики, на входе которого действует возмущение (шум) температуры, а на выходе - возмущение теплового потока (выбор наблюдаемого входа и выхода может быть реверсивным в зависимости от того, какой из параметров рассматривается в качестве регулируемого).

В диссертации исследован общий случай присутствия на входе объекта диагностики шумов параметра, коррелированного с основным входным возмущением. Для таких случаев обоснована необходимость учета дополнительного входного возмущения. Так, при диагностике запасов до кризиса ипшения роль дополнительного (коррелированного) возмущения может играть шум расхода, а при диагностике запасов межканальной устойчивости - шум температуры на входе зоны обогрева, шум нейтронного потока или аксиальные составляющие вариаций ускорения силы тяжести. Последнее обстоятельство имеет место, например, в условиях реальной эксплуатации АЭС в зоне возможной сейсмической активности или в случае транспортного варианта использования ЯЭУ (когда может иметь место пространственная стохастическая подвижность энергоустановки).

О необходимости учета дополнительных шумов, как показано в диссертационной работе на основе исследований реальных процессов эксплуатации АЭС (автором исследовались процессы влияния сейсмической активности при диагностике по шумам реакторных установок на территории Японии), целесообразно судить на основе анализа шумов с определением функций когерентности, имея в виду измерительное преобразование регистрируемых шумов, приводящее к анализу в частотной, а не временной области. В качестве показателя степени когерентной связи шумов (в частотной области), эквивалентного нормированной корреляционной функции (во временной области), предложено проводить обязательный анализ квадрата модуля когерентности шумов перед алгоритмическим преобразованием их реализаций, включающим спектральный анализ, для измерения искомым частотных передаточных функций. Это позволяет повысить оперативность диагностики.

В случае ненулевых (идеально - стремящихся к единичной величине) значений квадрата модуля когерентности

шумов рекомендовано обобщенное алгоритмическое соотношение для определения передаточных функций:

$$P_{av}(f\omega) = \frac{S_{av}(f\omega)S_{NN}(\omega) - S_{NV}(f\omega)S_{aV}(f\omega)}{S_{VV}(\omega)S_{NN}(\omega) - S_{NV}(f\omega)S_{VN}(f\omega)}, \quad (13)$$

где спектральные оценки имеют прежний смысл, полагая индексы v, a, n соответственно относящиеся к шуму входного параметра, шуму выходного параметра и аддитивного (когерентно-связанного) шума.

При стремлении значения квадрата модуля когерентности к нулевому значению алгоритмическое соотношение (13) теоретически вырождается в (10) или (12), при этом практическая реализация диагностического алгоритма упрощается за счет автоматического обнуления соответствующих спектральных оценок.

В случае диагностики запасов теплогидравлической устойчивости циркуляционных контуров, как обосновано в диссертации, структура упрощенного алгоритмического соотношения сохраняется. Установлено, что в качестве пары шумов, действующих на виртуальных (модельных) входе и выходе контура циркуляции теплоносителя, как объекта диагностики, измеряемых и используемых для определения частотной передаточной функции, выступают дифференциальный шум расхода в контуре (разностные флуктуации расхода на обогреваемой и "холодной" частях контура) и шум расхода в "холодной" нитке.

Универсальная структура алгоритмических соотношений для измерительного преобразования шумов позволила создать унифицированную диагностическую аппаратуру при осуществлении в рамках задач диссертации экспериментальной проверки теоретических и методических принципов диагностики запасов устойчивости по шумам режимных параметров. В качестве объектов пробного применения разработанных методов диагностики технологических процессов ЯЭУ (различных по локализации потенциальных механизмов неустойчивости) были выбраны различные

исследовательские и промышленные установки, в том числе - стенд "Петля", сконструированный в машзале кафедры АЭС Одесского политехнического университета, стенд НПО "Криогенмаш" (г.Балашиха), стенд "Кольцо" ИГТФ НАН Украины, и др. (экспериментальные испытания проводились в рамках выполнявшихся по теме диссертации договорных работ).

В диссертации описаны особенности экспериментальной, пробной реализации разработанных методов и проверки алгоритмов диагностики применительно к различным диапазонам значений режимных параметров, геометрических характеристик конструктивных элементов и условиями эксплуатации ЯЭУ, подробно представлена методика экспериментирования и результаты опытного диагностирования запасов устойчивости по результатам шумометрии. В ходе экспериментов нашли практическое подтверждение основные теоретические положения. Было доказано, что предложенным алгоритмам шумометрии, на основе регистрации и последующего спектрального анализа реализаций шумов, последующего измерительного преобразования результатов этого анализа, как описано выше, могут быть определены (измерены) запасы устойчивости в различных стационарных режимах. Для анализа достоверности и точности определяемых (диагностируемых) таким образом запасов они сопоставлялись с реальной степенью близости рабочих режимов к граничным. Испытания проводились на стендах с высокой степенью автоматизации для обеспечения качества и безопасности экспериментов, что обеспечивалось разработкой и применением специализированных систем контроля и автоматической защиты.

Эксперименты, составившие значительную часть работы, показали практическую результативность методических и технических разработок, их реализуемость и эффективность. Исследования разработанных методов показали, что при диагностике запасов устойчивости на тех режимах, где возможно было оценить численные показатели погрешности результатов диагностики, указанная оценка находилась в интервале значений от выполных 10% до примерно 22,5% с доверительной вероятностью 0,95 при среднестатистическом

значении порядка 16%. Проведенные экспериментальные исследования дают основания полагать, что диагностика запасов устойчивости по шумам режимных параметров реализуема с ошибками, которые находятся в допустимых для практики подобных измерений пределах, и в равных условиях учета аддитивных шумов практически инвариантна по отношению к средствам ее практической реализации при соблюдении одинаковых требований к точности и чувствительности первичных, а также быстродействию вторичных измерительных преобразователей.

Теоретические положения и практические результаты экспериментирования послужили основой для разработки - в завершающей части диссертационной работы - принципов конструирования и осуществления практического исполнения отдельных технических решений для создания специализированных диагностических систем промышленного назначения. Принципы конструирования состоят в том, что структура и состав диагностических систем жестко определяются методами избирательной шумометрии для определения текущих запасов устойчивости потенциально нестабильных процессов в ЯЭУ и соответствующими целевыми функциями диагностики. При этом диагностические системы должны включать устройства предварительного анализа результатов шумометрии для обеспечения указанной избирательности на основе спектрального анализа для определения функций когерентности. Совокупность функциональных блоков диагностических систем определяется соответствующими алгоритмами диагностирования и является адаптивно изменяемой. Первичные измерительные преобразователи, работающие в составе систем, должны отвечать требованиям малоинерционности (соразмерно частотному диапазону шумометрии), линейности и точности для обеспечения удовлетворительного качества диагностики. Разработка базовых структур и конструктивных элементов диагностических систем (вплоть до изготовления опытных образцов) рассматривалась в качестве обязательной части работы как в связи с необходимостью проверки общей концепции диагностики и отдельных положений на практике, так и в целях логического завершения работы, поскольку

практическая ценность и предложенных теоретических положений, и основанных на них разработанных методов диагностики действительно высока в том случае, когда теория и методы дополнены разработками соответствующих технических средств.

На основе комплексного подхода, сочетающего теоретические и опытно-экспериментальные исследования, разработаны различные базовые конструктивные варианты систем шумопараметрической диагностики и элементов таковых систем (датчики, устройства преобразования и анализа результатов шумомерии), реализующие соответственно новые конструктивно-методические принципы. Показана техническая возможность практического исполнения измерительно-анализирующих устройств, воплотивших предложенные конструктивно-методические принципы, и устройств локального автоматического управления (защиты) при выявлении по результатам диагностики критически малых величин запасов устойчивости. Исследованы принципиальные схемотехнические решения для улучшения динамических характеристик шумопараметрических датчиков, работающих в составе синтезированных диагностических систем. Также разработаны новые средства автоматизированного метрологического контроля ряда первичных измерительных преобразователей и новые средства спектрального анализа шумов на основе гибридной технологии, сочетающие достоинства аналоговых и цифровых принципов преобразования информации.

Таким образом, суть выполненных исследований и разработок, выдвинутые научные положения и полученные результаты стали решением поставленных задач как в теоретическом, так и в практическом аспектах соответствии с целью работы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертации изложены результаты многолетних теоретических и экспериментальных исследований автора, связанных с проблемой диагностики запасов устойчивости

процессов в ЯЭУ по шумам режимных параметров, как направления, альтернативного расчетному анализу и прямым экспериментальным испытаниям, а также дополняющего названные подходы. Благодаря комплексному подходу выполненные разработки дают новый инструмент для решения проблемы, известной разработчикам и эксплуатационникам ядерного энергетического оборудования, опираются на современные достижения в области физики процессов в ЯЭУ, диагностики, автоматики и схемотехники.

По результатам диссертационной работы можно сформулировать следующие основные выводы.

1. Разработана теория диагностики, позволяющая идентифицировать по шумам режимных параметров текущее состояние запасов докризисной теплоотдачи, межканальной и общесистемной теплогидравлической устойчивости с учетом влияния нейтронно-физических процессов, межконтурных эффектов и возможной пространственной подвижности ЯЭУ.

2. На базе предложенной теоретической концепции разработана совокупность практических методов диагностики определения запасов устойчивости процессов в ЯЭУ, а именно:

- метод диагностики запасов межканальной теплогидравлической устойчивости;
- метод диагностики докризисных запасов устойчивости теплоотдачи в парогенерирующих каналах;
- метод диагностики запасов общесистемной устойчивости в контурах;

3. Созданы диагностические алгоритмы (методики, способы) определения запасов устойчивости процессов, предусматривающие регистрацию не только комплекса нейтронно-теплогидравлических шумов, но также шумов, вызванных возможной пространственной подвижностью энергоустановки (транспортный вариант применения или в условиях землетрясения).

4. Доказана принципиальная пригодность теории и методов шумовой диагностики запасов устойчивости в условиях множественности коррелированных реакторных шумов.

5. Исходя из теоретических и методических положений шумовой диагностики запасов устойчивости, разработаны

методика и средства опытной проверки, выполнена их экспериментальная отладка на стендовом оборудовании.

6. Проведена опытная проверка предложенных принципов диагностики запасов устойчивости, ее основных теоретических положений, а также методических и схематехнических решений.

7. На основе выдвинутых теоретических и методологических положений, а также опытной отладки средств диагностики в процессе экспериментирования, разработаны принципы технической реализации и варианты схематехнических решений систем диагностики запасов устойчивости промышленного назначения, использующих информативность шумов режимных параметров ЯЭУ.

ОСНОВНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ
ОПУБЛИКОВАНЫ В РАБОТАХ

1. Погосов А.Ю., Герлига В.А., Роговский В.Т. Информационно-измерительный комплекс для оперативного определения устойчивости теплоносителя в парогенерирующем канале // В сб. Актуальные проблемы атомной науки и техники. - Свердловск, 1985. - С.41.
2. Погосов А.Ю. Теоретическое обоснование возможности использования спектрального анализа шумов параметров для определения устойчивости каналов: Отчет о НИР. Инв.№ 02870056016. - Одесс.политехн.ин-т, 1987. Библ.32с.
3. Герлига В.А., Погосов А.Ю., Сытин В.Г. Метод прогнозирования границ теплогидравлической устойчивости парогенерирующих каналов по шумам рабочих параметров // В сб. Двухфазные потоки в тепловом оборудовании атомных электростанций. Одесса, 1988. - С.33-35.
4. Погосов А.Ю. и др. Оперативное определение запаса теплогидравлической устойчивости парогенерирующего канала /В.А.Герлига, А.Ю.Погосов, В.Т.Роговский,

- В.М.Ильин //В сб.Теплофизика ядерных энергетических установок. - Вып.5,- межвузовск. сб. - Свердловск: УПИ, 1987. - С.15-21.
5. Gerliga V.A., Pogosov A.U., Rogovski V.T. Automation diagnosis of the reserve of thermohydraulic stability of steam generator channel //Computer Automation of Industry. - Inst. of Power Eng. and Fluid Mechanics. - No.33, 1988. - P.201-204.
 6. Герлига В.А., Погосов А.Ю., Домашев Е.Д. Оперативный контроль запаса теплогидравлической устойчивости парогенерирующих каналов //Изв.вузов - Энергетика. № 7, 1989. - с.110-113.
 7. Герлига В.А., Погосов А.Ю. Концепция, теория и средства контроля теплогидравлической устойчивости и критичности тепломассообмена в каналах по шумам режимных параметров //В сб.Двухфазные потоки в энергетических машинах и аппаратах. - Ленинград, 1990. С.337-338.
 8. Герлига В.А., Погосов А.Ю. Метод экспериментального исследования границ устойчивости модельных парогенерирующих каналов // В сб.Динамика теплофизических процессов в элементах энергетических аппаратов. Изд.АН СССР, - Челябинск, 1989. - С.24.
 9. Герлига В.А., Погосов А.Ю., Роговский В.Т. Адаптивное автоматизированное проектирование средств аппаратурного анализа шумов режимных параметров для контроля устойчивости парогенерирующего оборудования //В сб.Автоматизация проектирования и производства радиоэлектронных устройств и средств управления. - М.: 1988. - С.62.
 10. Погосов А.Ю. и др. Диагностика запаса теплогидравлической устойчивости парогенерирующих каналов в контуре энергетической установки /В.А.Герлига, А.Ю.Погосов, В.Т.Роговский, //В сб.Проблемы эксплуатации и живучести корабельных энергетических установок и оборудования кораблей. Севастополь, 1986. - С.70.

11. Герлига В.А., Погосов А.Ю. Прогнозирование теплогидравлической устойчивости парогенерирующих каналов и контуров по низкочастотным шумам режимных параметров //В сб.Теплообмен в парогенераторах. - Новосибирск, 1988. - С.212.
12. Герлига В.А., Погосов А.Ю. Способ определения запаса теплогидравлической устойчивости в парогенерирующем контуре. //Энергетика и электрификация. - Серия: тепловые и атомные электростанции. - Вып. II. - М.: Информэнерго, 1990.- с.5.
13. Погосов А.Ю. Шумовая диагностика парогенерирующих каналов судовых энергетических установок //В сб.Динамика теплофизических процессов в элементах энергетических аппаратов.Изд. АН СССР. - Челябинск, 1989. - С.62.
14. Герлига В.А., Погосов А.Ю., Роговский В.Т. и др. Оперативный контроль теплогидравлической устойчивости двухфазных теплоносителей ЯЭУ для оперативного управления системой теплообмена //В сб.Актуальные проблемы моделирования и управления системами с распределенными параметрами. - Киев, 1987. - С.186.
15. Герлига В.А., Погосов А.Ю. Практическая реализация статистико-алгоритмических методов измерительного преобразования шумов режимных параметров в задачах диагностики и управления энергооборудованием //В сб. Комбинаторно-статистические методы анализа и обработки информации. Одесса, 1990. - С.194.
16. Герлига В.А., Погосов А.Ю., Милов В.Г. Аппаратурные средства автоматизации шумовой диагностики межканальной теплогидравлической устойчивости //В сб.Двухфазные потоки в тепловом оборудовании атомных электростанций. Одесса, 1988. - С.42-43.
17. Герлига В.А., Погосов А.Ю., Домашев Е.Д. Экспериментальное определение границы теплогидравлической устойчивости парогенерирующих систем с помощью анализа низкочастотных шумов режимных параметров //Промтеплотехника, 1990, Т.12. - С.35-48.

18. Погосов А.Ю., Роговский В.Т., Лозоватская А.А. Программные средства оперативного контроля запаса теплогидравлической устойчивости обогреваемых каналов //В сб. Двухфазные потоки в тепловом оборудовании атомных электростанций. - Одесса, 1988. - С.46.
19. Герлига В.А., Погосов А.Ю. Метод экспериментального исследования границ устойчивости модельных парогенерирующих каналов //В сб. Динамика теплофизических процессов в элементах энергетических аппаратов. Челябинск, 1989. - С.45-46.
20. Герлига В.А., Погосов А.Ю., Роговский В.Т. Специализированные контроллеры для оперативной диагностики теплогидравлической устойчивости //В сб. Двухфазные потоки в тепловом оборудовании АЭС, Одесса, 1988.- С.40-41.
21. Погосов А.Ю. Обеспечение оперативного персонала системой диагностики устойчивости технологических процессов в энергетическом оборудовании по шумным режимным параметрам //В сб. Эргономика и эффективность систем "Человек-техника", Вып. I, Игналина - Вильнюс, 1990. - С.160-163.
22. Погосов А.Ю. и др. Внедренные изобретения: доп. к а.с. № 1511522 /Герлига В.А., Погосов А.Ю., Антоник Н.И.- М.: Изд. ВНИИПИ, 1991, Т. I.- С.158.
23. Погосов А.Ю., Крисиков О.Ю. Обучение специалистов по диагностике стационарных и судовых энергоустановок на базе эргономически оптимальных методик //В сб. Эргономика и эффективность систем "Человек-техника", Вып. 2 Вильнюс, 1991. - С.161.
- Авторские свидетельства по теме диссертации
24. А.С. № 1550268, СССР, МКИ F22B 35/18. Способ ГЕРЛИГИ-ПОГОСОВА контроля запаса теплогидравлической устойчивости замкнутого парогенерирующего контура /В.А. Герлига, А.Ю. Погосов.- 1990.
25. А.С. № 1513305, МКИ F22B 35/18. Диагностическая система ГЕРЛИГИ-ПОГОСОВА-ХАВЕНСКОГО для контроля запаса

- теплогидравлической устойчивости /В.А.Герлига, А.Ю.Погосов, В.Б.Хабенский.- 1989.
26. А.С. № I450534, СССР, МКИ G01B 13/00. Способ определения границы теплогидравлической устойчивости парогенерирующего канала /В.А. Герлига, А.Ю. Погосов, В.Т. Роговский, В.В. Павлов- 1988.
27. А.С. № I511522, СССР, МКИ F22B 35/18. Способ определения запаса теплогидравлической устойчивости парогенерирующего канала /В.А.Герлига, А.Ю. Погосов, Н.И. Антонюк.- 1989.
28. А.С. № I307375, СССР, МКИ G01R 23/18. Измеритель элементов матрицы спектральной плотности мощности двух сигналов /В.А.Герлига, А.Ю.Погосов, В.Т.Роговский.- 1987.
29. А.С. № I456693, СССР, МКИ F22B 35/18. Способ определения запаса теплогидравлической устойчивости канальной парогенерирующей системы /В.А.Герлига, А.Ю. Погосов, В.Н. Гребенников.-1989.
30. А.С. № I485877, СССР, МКИ G05D 23/19. Устройство для контроля и регулирования процесса теплообмена /В.А.Герлига, А.Ю.Погосов, В.Т.Роговский.- 1989.
31. А.С. № I317229 СССР, МКИ F22B 37/42. Устройство для автоматической защиты тепловыделяющей поверхности, имеющей источник технологических шумов /В.А.Герлига, А.Ю.Погосов, В.Т.Роговский.-1987.
32. А.С. № I454128, СССР, МКИ G06F 15/20. Устройство для автоматической защиты тепловыделяющего элемента при теплогидравлической неустойчивости теплоносителя /В.А.Герлига, А.Ю.Погосов, В.Т.Роговский, В.Г.Милов, В.Д.Кочнева.- 1988.
33. А.С. № I312307 СССР, МКИ F22B 35/18. Устройство для регистрации режимов течения теплоносителя в парогенерирующем канале /В.А.Герлига, А.В.Королев, А.Ю.Погосов, В.Т.Роговский.-1987.
34. А.С. I369457 СССР, МКИ F22D 37/00. Автоматическое устройство для защиты ТВЭЛ /В.А.Герлига, А.Ю.Погосов,

- В.Т.Роговский, В.М.Токарев, Д.О.Непомнящий.- 1987.
35. А.С. № I456692 МКИ F22B 35/18 Устройство для контроля запаса устойчивости канала /В.А.Герлига, А.Ю.Погосов.- 1989.
 36. А.С. № I409811, СССР, МКИ F22B 35/18. Способ определения запаса теплогидравлической устойчивости парогенерирующего контура теплоэнергетической установки /В.А.Герлига, А.Ю.Погосов, В.Т.Роговский.- 1988.
 37. А.С. № I581965 МКИ F22B 35/18. Способ определения запаса теплогидравлической устойчивости в парогенерирующем контуре /В.А.Герлига, А.Ю.Погосов.- 1990.
 38. А.С. № I476247, МКИ F22B 35/18. Способ определения запаса низкочастотной теплогидравлической устойчивости теплообменного парогенерирующего контура естественной циркуляции /В.А.Герлига, А.Ю.Погосов, В.Т.Роговский. -1989.
 39. А.С. № I560895, СССР, МКИ F22B 35/18. Способ оперативного контроля запаса теплогидравлической устойчивости парогенерирующей системы /В.А.Герлига, А.Ю.Погосов, - 1990
 40. А.С. I523832, СССР, МКИ F22B 35/18. Способ определения запаса теплогидравлической устойчивости подвижного парогенерирующего канала /В.А.Герлига, А.Ю.Погосов, А.В.Королев.-1990.
 41. А.С. I468269, СССР, МКИ G21G 17/00. Способ контроля запаса устойчивости в первом контуре ядерной энергетической установки /В.А.Герлига, А.Ю.Погосов.- 1988.
 42. А.С. № I740956 Способ теплогидравлической стабилизации парогенерирующих каналов /Герлига В.А., Королев А.В., Погосов А.Ю., Филиппинский П.В.- 1991.
 43. А.С. № I756725 Канал для двухфазного потока /Филиппинский П.В., Королев А.В., Погосов А.Ю.- 1991.
 44. А.С. № I350250, СССР, МКИ G01M 13/00. Устройство для

диагностики механизмов и машин циклического действия /В.А.Герлига, А.Ю.Погосов, В.Т.Роговский.-1987..

45. А.С. № 1612210 МКИ G01F 1/56. Расходомер /А.В.Королев, А.Ю.Погосов, С.В.Макеенко.- 1990.
46. А.С. № 1540455, СССР, МКИ G01L 27/00. Устройство для проверки дифманометров /В.А.Герлига, А.Ю.Погосов, В.Е.Павлов, В.Т.Роговский.- 1989.

Депонированные статьи по теме диссертации

47. Погосов А.Ю., Герлига В.А., Роговский В.Т. Оперативное определение границы теплогидравлической устойчивости в контурах ЯЭУ по шумам режимных параметров /Одес. политехн. ин-т. - Одесса, 1987. - 29 с. - Библиогр.: 17 назв. - Деп. 17.04.87 в УкрНИИТИ. - № 1246УК87.
48. Погосов А.Ю., Герлига В.А., Роговский В.Т. Применение стохастического зондирования парогенерирующего оборудования для оценки границ теплогидравлической устойчивости в режимах нормальной эксплуатации /Одес. политехн. ин-т. - Одесса, 1987.- 18 с. - Библиогр.: 15 назв. - Деп. в УкрНИИТИ 07.07.87. - № 1899УК87.
49. Погосов А.Ю. Метод функциональной диагностики запаса теплогидравлической устойчивости парогенерирующих каналов энергетических установок по шумам режимных параметров. - Деп. в ЦНТИ "Информэнерго". - № 2930-эн83.
50. Герлига В.А., Погосов А.Ю., Роговский В.Т. Устройства контроля и защиты модельных каналов кипящих реакторов при исследовании границ их теплогидравлической неустойчивости /Одес. политехн. ин-т, Одесса, 1987. - 13с. - Библиогр.: 8 назв. - Деп. в УкрНИИТИ 07.07.87. - № 1900УК87.
51. Герлига В.А., Погосов А.Ю., Роговский В.Т. Измерение и анализ шумов температурного поля парогенерирующей системы для определения запаса теплогидравлической устойчивости обогреваемого канала /Одес. политехн. ин-т.-Одесса, 1987. - 22с. - Библиогр.: 7 назв. - Деп. в УкрНИИТИ 07.07.87. - № 1901УК87.

52. Погосов А.Ю. и др. Физическое моделирование устройств многопараметрического анализа случайных процессов для контроля запаса теплогидравлической устойчивости /В.А.Герлига, Е.Д.Домашев, А.Ю.Погосов, В.Т.Роговский, А.И.Сарана /Одес. политехн. ин-т. - Одесса, 1987. - 20с. - Библиогр.: 20 назв. - Деп. в УкрНИИТИ 07.07.87. - № 1902УК87.
53. Герлига В.А., Погосов А.Ю., Роговский В.Т. Оперативное определение границы теплогидравлической устойчивости в контурах ЯЭУ по шумам режимных параметров /Деп. в УкрНИИТИ № 1246УК87, 1987, - 29с.
54. Погосов А.Ю. и др. Система автоматизированной регистрации и анализа шумов режимных параметров в экспериментальном циркуляционном контуре /В.А.Герлига, А.Ю.Погосов, В.Т.Роговский, Я.Лихоцьки, А.Чубек /Одес. политехн. ин-т. - Одесса, 1987. - 24с. - Библиогр.: 43 назв. - Деп. в УкрНИИТИ 17.04.87. - № 1245УК87.
55. Погосов А.Ю. и др. Аппаратурное обеспечение регистрации и анализа шумов расхода теплоносителя при определении запаса теплогидравлической устойчивости обогреваемых каналов /В.А.Герлига, А.Ю.Погосов, В.Т.Роговский, В.Ю.Срывков /Одес. политехн. ин-т. - Одесса, 1987. - 11с. - Библиогр.: 12 назв. - Деп. в УкрНИИТИ 5.01.87. - № 120УК87.
56. Погосов А.Ю. Экспериментальный комплекс для исследования теплогидравлической устойчивости моделей обогреваемых каналов ЯЭУ: Отчет о НИР Инв. №02870060517. - Одесса, 1987. - 53с. - Библиогр.: с.52-53.

Pogosov A.Y. Theory and methods for diagnostic the stocks of processes stability in the NPS by noise of regimen parameters.

Doctor Thesis (manuscript) of technical sciences on speciality 05.14.14 - Termal and Atomic Power Plants and Nuclear Power Stanion (termal part).

Politechnical University of Odessa, 1996.

The results of theoretical investigations and group of new methods for diagnostic the stockes of processes stability in the nuclear power station (NPS) by noise of regimen parameters, also the principles to create the conformless technical means (56 scientific publications, 23 Patents) are defended. Theory, methods and technical means have verificated on practice. The effeefficacy of using the noise-measures results as tool for diagnostic the stockes of local and full-circulation system stability in NPS are corroborate by experimental researches.

Погосов А.Ю. Теория и методы диагностики запасов устойчивости процессов в ЯЭУ по шумам режимных параметров. Диссертация (в форме рукописи) на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.14.14 - Тепловые и ядерные электростанции и энергоустановки (тепловая часть).

Одесский политехнический университет, Одесса, 1996.

Защищаются результаты теоретических исследований и группа новых методов диагностики запасов устойчивости процессов в ЯЭУ по шумам режимных параметров, а также принципы создания соответствующих технических средств (56 научных работ, 23 авторских свидетельства). Теория, методы и технические средства проверены на практике. Экспериментальными исследованиями подтверждена эффективность использования результатов шумометрии в качестве инструмента для диагностики запасов локальной и общесистемной устойчивости в ЯЭУ.

Погосов А.В. Теорія і методи діагностики запасів усталеності процесів в ЯЗУ по шумам режимних параметрів. Дисертація (у формі рукопису) на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук по фаху 05.14.14 - Теплофізика ядерних електростанцій та енергоустановки (теплова частина).

Одеський політехнічний університет. Одеса, 1996.

Захищаються результати теоретичних досліджень та група нових методів діагностики запасів усталеності процесів в ЯЗУ по шумам режимних параметрів, а також принципи створення відповідних технічних засобів (56 наукових робіт, 23 авторських свідоцтва). Теорія, методи і технічні засоби перевірені на практиці. Експериментальними дослідженнями підтверджена ефективність використання результатів шумометрії в якості інструменту для діагностики запасів локальної та загальносистемної усталеності в ЯЗУ.

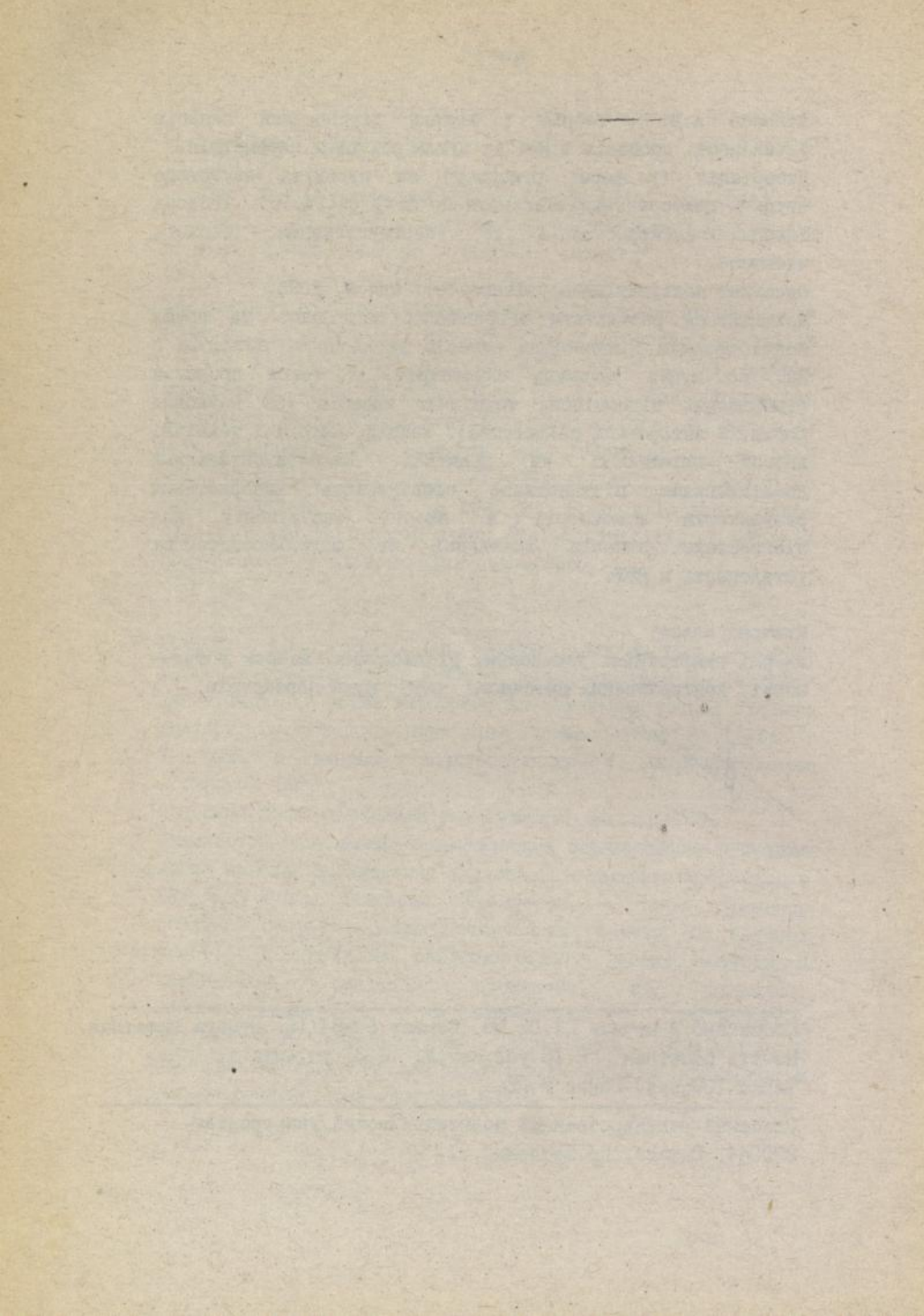
Ключові слова:

ядерні енергетичні установки, діагностика, запаси усталеності, контролювання поточного стану, шуми параметрів

Погосов

Подписано к печати 21.02.96. Формат 60x84/16. Бумага газетная. Печать офсетная. 2,15 усл.печ.л. 2,31 уч.-изд.л. Тираж 100 экз. Заказ № 32

Одесский государственный политехнический университет
270044, Одесса, пр.Шевченко, 1.



444339

AB 34.131
AB 34.131