

Радченко Анатолий Петрович

МОНИТОРИНГ РАБОЧИХ ПРОЦЕССОВ В СУДОВЫХ
ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВКАХ

Специальность 05. 08. 05

Судовые энергетические установки

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени

доктора технических наук

Радченко

Одесса 1996



00760261 (M)

: оповестить:

Академик Международной академии холода и
Академии наук технологической кибернетики,
доктор технических наук, профессор

Захаров П. В.

Академик Международной академии холода и
Академии наук технологической кибернетики,
доктор технических наук, профессор

Чумак И. Г.

Доктор технических наук, профессор

Ханмамедов С. А.

Ведущая организация - Книжный научно - исследовательский
и проектно - конструкторский институт морского флота

Защита состоится "5" июня 1996 г. в 10
часов на заседании специализированного совета Д 05.17.01
по защите диссертаций на соискание ученой степени доктора
технических наук в Одесской Государственной морской академии
по адресу: 270029, Одесса, ул. Дидрихсона, 8

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке академии.
Отзывы в двух экземплярах с подписью, заверенной гербовой
печатью, просим направлять ученому секретарю специализи-
рованного совета по адресу академии

Автореферат размещен "28" апреля 1996 г. Стефаніка
АН України

Ученый секретарь
специализированного совета Д 05.17.01
доктор технических наук, профессор

Калитичев И. В.

Общая характеристика, актуальность проблемы и степень исследования тематики диссертации. Основными положениями работы являются: 1. Новое направление в идентификация и конкретизации необратимых тепловых и электрических процессов, не использующее представления о локальном равновесии, для совершенствования эксплуатации судовых энергетических установок с мониторинговыми и экспертными системами. 2. Новые компьютерные программы, разработанные на основе результатов работы и интеграла Римана-Стилтьеса, наиболее эффективные при решении локальных и глобальных математических моделей. 3. Разработанное индуктивное математическое моделирование необратимых тепловых и электрических процессов наиболее эффективно для логического блока экспертной системы.

В начале 90-х годов началась эксплуатация судовых энергетических установок с мониторинговыми и экспертными системами. Например, на танкере *Cosmo Delfinus*, построенном в Японии, система *Super Plant* анализирует данные мониторинговой системы и предупреждает о некоторых неисправностях судовых технических средств. Фирма *Wartsila - Finland* устанавливает экспертную систему *FIKS* для судовых энергетических установок. Успешные результаты разработки судовых дизелей с экспертными системами получены на заводе *Winterhur* (Германия). Научно - технические разработки в данном направлении проводятся на Украине, в России и других странах, что подтверждает все возрастающее количество публикаций и международных конференций.

Разработка судовых энергетических установок с мониторинговыми и экспертными системами вызвана прежде всего неутешительной мировой статистикой аварий на морских и речных судах различного назначения и повышением требований

к защите окружающей среды. До 80% аварий на морских судах происходит от неверных действий судовых операторов или из-за не понимания ими процессов в судовых технических средствах. Установлено, что до 20% возникает внезапных отказов судовых технических средств. Парижский меморандум по портовому контролю повысил требования к состоянию судовых энергетических установок.

Эксплуатация судовых технических средств с мониторинговыми и экспертными системами имеет ряд характерных особенностей. Одна из них заключается в том, что необходимо постоянное пополнение базы знаний экспертной системы для эффективного использования мониторинговой системы. В настоящее время повышение эффективности использования мониторинговых и экспертных систем является актуальной проблемой.

Решение рассматриваемой проблемы требует высокой степени исследований прежде всего необратимых тепловых и электрических процессов для временных промежутков, характерных для мониторинговых систем. Судовые мониторинговые системы позволяют осуществить до ста миллионов измерений в секунду. До сих пор не в полном объеме идентифицированы и концептуализированы показания судовых мониторинговых систем.

Цель и основные задачи научного исследования. Цель - разработка структурных знаний необратимых тепловых и электрических процессов в судовых технических средствах (опреснители, электрические машины и т. д.) с мониторинговыми и экспертными системами.

Для этого необходимо решить следующие основные задачи:

1. Разработка нового подхода к идентификации тепловых и электрических процессов в судовых технических средствах с мониторинговыми и экспертными системами.

2. Разработка нового подхода к концептуализации необратимых тепловых и электрических процессов в судовых опреснителях и электрических машинах с мониторинговыми и экспертными системами.

3. Оценка новых подходов к идентификации и концептуализации необратимых процессов в судовых энергетических установках с мониторинговыми и экспертными системами.

Уровень реализации, внедрения научной разработки. Акты о реализации и внедрении научной разработки в Южном научно - исследовательском и проектно - конструкторском институте морского флота, государственной судоходной компании "Черноморское морское пароходство" и Одесской государственной морской академии представлены в приложении диссертации. Результаты идентификации, концептуализации необратимых процессов и их оценки показали, что диссертационная работа является завершенной.

Некоторые промежуточные результаты работы реализованы при выполнении П17 "Интенсификация, автоматизация и оптимизация работы судовых опреснителей морской воды" программы Академии наук Украины и Черноморского морского пароходства "Разработка научно - технических проблем повышения эффективности работы морских пароходств на примере Черноморского морского пароходства" (1987 г.), программы Министерства морского флота СССР "Безопасность мореплавания" (шифр 3.07.6.2.02, 1981г.), программы Одесской государственной морской академии "Техническая эксплуатация флота" (1990г.), программы фундаментальных и прикладных исследований, утвержденной Кабинетом министров Украины от 07.08.1992 г., а также при разработке учебно - методической документации.

Результаты настоящей работы реализованы при разработке тем "Основы теории энергетических систем организованной сложности (интерактивный подход)" и "Разработка мониторинга интерактивных необратимых процессов в судовой энергетике", финансируемых Министерством образования Украины.

Апробация и публикации результатов научных исследований, структура и объем работы. Результаты научных исследований доложены на научно - технических конференциях: Центрального правления НТО судостроительной промышленности им. академика А. П. Крылова " Вопросы теории и практики судовых энергетических установок " (г. Владивосток, 1973 г.); Краевого правления НТО пищевой промышленности " Тепловые и технологические процессы"(г. Владивосток, 1977г.); республиканской " Моделирование и автоматизация проектирования сложных систем" (г. Одесса, 1982г.); IV Всесоюзной "Защита от вредного воздействия статического электричества в народном хозяйстве" (г. Северодонецк, 1989г.); Международной IV научно - технической "Проблемы нелинейной электротехники"(г. Киев, 1992 г.); ежегодных в Одесской государственной морской академии (1970-1995 г.), а также на Всесоюзном семинаре "Опреснение соленых вод и использование их в водоснабжении" (г. Москва, 1972 г.), I Всесоюзном научно - техническом совещании по теплообменным и теплофизическим свойствам морских и солоноватых вод при их использовании в парогенераторах и опреснителях (г. Баку, 1972г.), республиканском семинаре "Опреснение минерализованных вод и новая аппаратура в технологии обработки воды" (г. Киев, 1977г.), семинаре в Институте проблем моделирования в энергетике АН Украины (г. Киев, 1992 г.), городском семинаре "Применение вычислительной техники и математического моделирования в прикладных научных исследованиях (Одесский

государственный политехнический университет, 1994г., 1995г.).

По теме диссертации опубликованы одна монография, 28 научных работ (из них два авторских свидетельства). Результаты работы представлены, также, в 10 научно - технических отчетах, депонированных в ВНИИ.

Структура работы: реферат, содержание, перечень сокращений, условных обозначений и терминов, четыре раздела, заключение, список использованных источников (108 наименований), приложения. Работа содержит 255 страниц основного текста, 33 рисунка, 2 таблицы и приложения на 15 страницах.

Конкретный личный вклад в разработку научных результатов, выносимых на защиту. Все результаты, выносимые на защиту, представлены в монографии, 15 научных работах, опубликованных без соавторов. В работах, опубликованных с соавторами, основные идеи и теоретические результаты принадлежат лично автору. Экспериментальные установки и компьютерные программы разработаны автором.

Методология и метод исследования. Использована темпоральная методология, нашедшая широкое применение в термодинамике необратимых процессов и теории диссипативных структур. Метод исследования - индуктивное и дедуктивное математическое моделирование с учетом экспериментальных результатов, опытом в науке и технике.

Основные результаты. Во введении показано, что эксплуатация судовых энергетических установок с мониторинговыми и экспертными системами является актуальной проблемой и на защиту представлены результаты: 1. Выбор перспективной схемы эксплуатации судовых энергетических установок с мониторинговыми и экспертными системами; 2. Новый подход к идентификации необратимых тепловых и электрических процессов

в судовых энергетических установках с мониторинговыми и экспертными системами; 3. Новый подход к концептуализации необратимых процессов в судовых опреснителях и электрических машинах для рассматриваемых масштабов времени; 4. Оценка идентификации и концептуализации необратимых тепловых и электрических процессов в судовых энергетических установках с мониторинговыми и экспертными системами.

В первом разделе "Выбор направления совершенствования эксплуатации судовых технических средств с экспертными системами" обосновано применение судовых технических средств с экспертными системами. На рис. 1 представлена схема эксплуатации судовых технических средств с экспертными системами, где 1 - процесс преобразования энергии, 2 - управляющая система судового технического средства, 3 - мониторинговая система судового технического средства, 4 - информационно-менеджментная система, 5 - человеко-машинный интерфейс, 6,7 - экспертные системы. Установлены особенности эксплуатации судовых технических средств по показанной схеме. Поставлены задачи мониторинга рабочих процессов в судовых энергетических установках с экспертными системами.

Во втором разделе "Идентификация необратимых процессов для судовых технических средств с экспертными системами" выбор новой эволюционной парадигмы необратимых тепловых или электрических процессов выполнен с учетом схемы эксплуатации, показанной на рис. 1. Экспериментальным путем установлены нерегулярные колебания температур поверхности нагрева судового вертикально-трубного опреснителя морской воды. Параметры внешней среды поддерживались на постоянном уровне и никакие возмущающие воздействия не обнаруживались. Согласно классической идентификации получена система уравнений

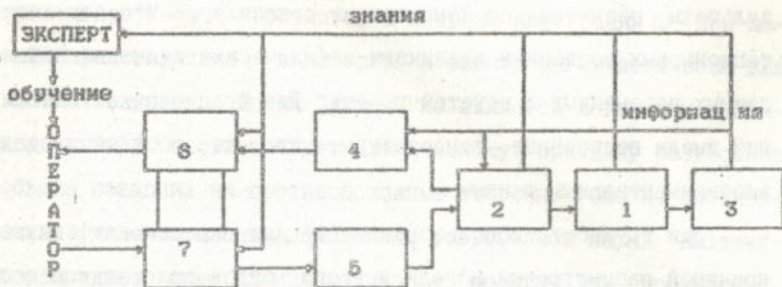


Рис. 1 Схема эксплуатации судовых технических средств с экспертными системами

$$\frac{d\vec{x}}{dt} = A\vec{x} + B\vec{y}, \quad (1)$$

где \vec{x} - температуры; \vec{y} - входные параметры; A, B - матрицы с постоянными коэффициентами; t - математическое время. Результаты расчетов на компьютерах показали, что для нестационарных состояний возникают нефизические значения наблюдаемых переменных и неустойчивость. Для стационарных состояний имели постоянные температуры, что не соответствовало экспериментальным данным.

Эти трудности использования (1) для опреснителя явились причиной рассмотрения модели другого судового технического средства - электрической машины. Согласно теории Крона получена система уравнений формы (1), где \vec{x} - токи, \vec{y} - напряжения. Для пусковых режимов установлены аналогичные трудности.

Системы формы (1) имеют фундаментальное значение в технике, например в мехатронике, и ее определим как стандартную, неинтерпретируемую систему, выбранную в качестве представителя класса систем, изоморфных относительно некоторых существенных характеристик отношений. Согласно индуктивному математическому моделированию систему (1) отнесем к более высокому эпистемологическому уровню по сравнению с исходной системой и подъем по эпистемологическим уровням позволяет интерпретировать систему (1). Эти результаты системологии не противоречат современным научно-техническим достижениям.

Для рассматриваемых судовых технических средств сформулирована гипотеза о существенном значении при преобразованиях энергии отношения локальной энергии интеграции ω к мощности ее деградации ρ . При этом не использовано представление о локальном равновесии и определено время "жизни" локального объема

$$\tau \sim \frac{\omega}{\rho}. \quad (2)$$

Коэффициенты матриц A, B системы (1) зависят от времени "жизни". Мощность деградации ρ можно определить при помощи вектора Умова - Пойтинга, а энергию интеграции ω - при помощи представлений теплового и электромагнитного поля для частных случаев. Время "жизни" не является логически противоречивым и соответствует логическому принципу раздвоения объекта познания на противоположные стороны. Оно не противоречит фундаментальным положениям современной науки. Выдвинутое предположение принципиально и практически проверяемо. Рассматриваемое предположение не противоречит ранее установленным фактам, для объяснения которых оно не предназначено. Принятое предположение приложимо к необратимым процессам в судовых опреснителях, электрических машинах и других судовых технических средствах. Эти черты сформулированного предположения позволяют считать его гипотезой и использовать ее экспериментальной системой для логических выводов при решении эксплуатационных задач.

Согласно индуктивному математическому моделированию, учитывая (2), необходимо выбрать фундаментальную исходную систему. Для рассматриваемых судовых технических средств выполнить это требование непосредственно затруднено. В фейнмановских лекциях по физике показано, что можно изучать свойства различных процессов при помощи теории электричества. Поэтому на данном этапе получены результаты экспериментальных исследований, позволяющих выбрать исходную систему, интенсификации теплообмена в опреснителях путем обработки рассола постоянным током и электрических явлений в диэлектрических средах. При этом плотности теплоты и электричества

более случайные составляющие. Поэтому, как и во многих работах, использована теория вероятностей и ошибок, как средство представления неполных данных. Однако этот подход не позволяет идентифицировать и концептуализировать плотности теплоты или электричества для рассматриваемого масштаба времени. Классические вероятностные методы можно использовать при обработке точной распределенной по реализации информации. Результаты теоретических и экспериментальных исследований на данном этапе показывали, что плотности теплоты или электричества имеют более тонкие свойства и за базовое знание принята теория диссипативных структур И. Пригожина.

Однако теория диссипативных структур не дает общего способа идентификации и концептуализации необратимых тепловых или электрических процессов. Для разработки глубинных знаний для экспертной системы рассматриваемых судовых технических средств сформулирована, учитывая результаты теории диссипативных структур, задача: "Какова структура, часть целого и сложность необратимых тепловых и электрических процессов для рассматриваемых масштабов времени". Эту задачу не может решить современная экспертная система, так как она характеризуется следующими чертами. Для ее решения не было известного алгоритма. Задача возникла как закономерный результат познания на базе современного знания. Решение задачи связано с устранением противоречия между кажущейся завершенностью теории диссипативных структур и наличием факта, который она не может объяснить: "Во всяком случае, пока еще это глубочайшая тайна: каким образом материальная система начинает жить, каким образом у заведомо неживой системы возникают обратные связи, обеспечивающие ее стабильность, ее гомеостазис, как это принято называть, откуда возникают стимулы

ее саморазвития"/ Моисеев Н. Н. Пути к созиданию. - М.: Республика, 1992. - 255 с. / Согласно формальной логике, задача, характеризующаяся установленными чертами, является неразвитой проблемой. В диссертации показан способ ее решения и, следовательно, задача представляет проблему.

Согласно методу индуктивного математического моделирования и полученных результатов исходная система сформулирована из двух фундаментальных законов теорий теплоты и электричества

$$\nabla \cdot \begin{bmatrix} \bar{a} \\ \bar{j}' \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -\rho_0 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix}, \quad (3)$$

где ρ_0 - объемная плотность теплоты или электричества; \bar{a} , \bar{j}' - вектора теплового или электрического смещения, плотности полного потока; $\nabla \cdot$ - дивергенция.

Система (3) состоит из двух подсистем, базирующихся на одном и том же полностью упорядоченном параметрическом множестве. Исходную систему (3) считаем нейтральной с нечеткими каналами наблюдения. "Опространствование" математического времени считаем одним из важнейших отличий.

Исходная система представляет нулевой эпистемологический уровень и для оценки ее потенциальных возможностей доказана теорема в структуре алгебр Клиффорда, показывающая на возможность вероятностной интерпретации плотности теплоты или электричества для необратимых процессов. Отметим, что систему (3) широко использовал М. Имб для исследования теплопередачи.

Далее исходная система (3), с учетом обобщения экспериментальных результатов, переопределена в систему данных и на первом эпистемологическом уровне имеем

$$\nabla \cdot \begin{bmatrix} \vec{a} \\ \vec{j}_0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -P_0 \\ \frac{\partial}{\partial t} \rho_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix}, \quad (4)$$

$$\vec{a} = \tau \vec{j}_0, \quad (5)$$

где \vec{j}_0 - вектор плотности теплового или электрического потока.

Таким образом, сформулирована эволюционная парадигма необратимых тепловых или электрических процессов для рассматриваемых судовых технических средств с экспертными системами при работе мониторинговой системы.

Далее согласно выбранному методу, необходимо изучение потенциальных возможностей порождающих систем на втором эпистемологическом уровне. Порождающие системы получены из первого и второго уравнений (4), (5) и названы гауссовскими и потоковыми моделями. Ряд технических задач, характерных для морских судов, решено методами классического интегрального и дифференциального исчисления при помощи этих моделей. Полученные результаты показали, что гауссовские и потоковые модели не описывают необратимые процессы в рассматриваемых судовых технических средствах для масштабов времени, характерных для принятой схемы эксплуатации (рис.1). Эти модели не содержат локальное время "жизни" (2). Поэтому необходимо было переходить от представлений теплового и электрического поля к структурным. Под структурой понимаем способ взаимосвязи законов эволюционной парадигмы в локальном объеме.

Доказано, что переход к структурным моделям возможен, так как законы Гаусса и сохранения теплоты или электричества в эволюционной парадигме являются взаимно независимыми. В работе получено две структурированные системы из (4), (5) и

одна согласно теории подобия. Одна из структурированных систем использована для определения диагностических возможностей и имеет экспериментальное подтверждение. Структурированная система, полученная при помощи теории подобия, содержит время " жизни ". Согласно теории подобия оно не может возникнуть в безразмерных комбинациях произвольно и играет важную роль в процессе. Наиболее важным был факт получения структурированной системы формы (1). Согласно выбранному методу эта структурированная система может дать знания, не содержащиеся, по крайней мере явно, в системе (4) и (5): " В самом деле, в литературе описано множество больших систем, которые, как предполагается, описывают различные естественные явления и составлены из меньших взаимосвязанных систем(подсистем). На основании полученной конкретной структурированной системы делаются выводы о свойствах обобщенной системы так же, как это делается для аналогичных искусственных систем, т. е. с помощью соединения или композиции функций поведения соответствующих элементов. Понятно, что подобные выводы основываются на предположении, что структурированные системы представляют эту обобщенную систему точно, также как для искусственных систем. Это недоказанное и обычно неверное предположение, которое в подобных исследованиях никогда явно не декларируется, принимается без доказательства из - за неправомерной и сбивающей с толку аналогии с искусственными системами " / Дж. Клир. Системология. Автоматизация решения системных задач. - М.: Радио и связь, 1990. - 544с. / Полученная структурированная система в форме (1) относится к третьему эпистемологическому уровню .

Далее необходимо было получить из (4), (5) непрерывную модель, так как при помощи только структурированной модели

трудно установить свойство локального времени "жизни" для необратимых тепловых или электрических процессов. В работе приведен вывод нескольких непрерывных моделей из (4) и (5). Ряд из них получили экспериментальное подтверждение. Для настоящей работы наиболее важным было получение уравнения

$$\mathcal{R} + \tau_{\kappa} \nabla \cdot \left(\frac{\nabla \tau_{\kappa}}{|\nabla \tau_{\kappa}|^2} \mathcal{R} \right) = 0, \quad (6)$$

где \mathcal{R} - некоторая функция; τ_{κ} - время "жизни", соответствующее (2); ∇ - градиент.

Уравнение формы (6) получено И. Пригожиным из гидродинамических представлений, но оно не содержит в явном виде время "жизни". Уравнение (6) показывает на "опространствование" математического времени, что соответствует основному отличию исходной системы согласно выбранному методу моделирования. Полученное уравнение (6) соответствует четвертому эпистемологическому уровню. В структуре алгебр Клиффорда получено уравнение для пятого эпистемологического уровня, которое необходимо для базы знаний и логических выводов экспертной системы высокого уровня. Это уравнение позволяет экспертной системе синтезировать новое знание.

Дано обоснование необходимости концептуализации необратимых тепловых или электрических процессов для рассматриваемых судовых технических средств, эксплуатируемых по схеме на рис. 1. В (6) $\nabla \tau_{\kappa}$ принимаем равным нулю, пренебрегая явлениями диффузии и переноса. Согласно существующим представлениям из равновесной термодинамики \mathcal{R} должна равняться нулю. В (6) возникает неопределенность и оно утрачивает структуру. Этот результат дает основание утверждать о наличии $\nabla \tau_{\kappa}$ даже в однородной среде. "Во многих областях науки возникно-

вление пространственной структуры в среде, до тех пор бывшей однородной. представляет собой центральную проблему / Г. Николис, И. Пригожин. Познание сложного. - М.: Мир, 1990. - 344с. /.

В работе показано на связь времени "жизни" с фундаментальными физическими величинами, что согласно результатам И. Пригожина указывает на его стохастический характер. Наличие $\nabla \tau_i$ в (6) подтверждает этот результат.

Из (6) получено ряд частных случаев, согласующихся с ранее известными результатами, и локальное уравнение

$$\frac{\partial \dot{i}}{\partial t} + \tau_i^{-1} \dot{i} = \xi(t), \quad (7)$$

где \dot{i} - локальный интерактон; $\xi(t)$ - некоторая функция.

Уравнение (7) есть часть целого. Показано, что один из частных случаев (6) формально по форме можно считать уравнением гиперболического типа второго порядка. Для этого частного случая сформулирована задача Гурса и результаты решения этой задачи показали, что оно противоречит экспериментальным данным и является структурно неустойчивым. Рассмотрено также решение задачи Коши для частного случая (6). Эти результаты показали, что частные случаи (6) не являются классическими уравнениями математической физики.

Далее выполнено изучение решений частных случаев структурированной системы формы (1). Решения получены численным методом двойной аппроксимации для неконсервативных систем. Для равновесных состояний расчетные плотности теплоты или электричества изменяли величину и знак от τ_i в дискретной среде при неизменных граничных условиях. При возникновении колебаний поверхностных плотностей теплоты или электричества также возникли их нефизические значения. Установлены

области неустойчивого численного интегрирования частных случаев системы формы (1). Эти результаты показали, что вопросы структурной устойчивости являются принципиально важными для идентификации необратимых тепловых или электрических процессов в судовых технических средствах.

Результаты решений частных случаев (1) и (2) показали, что плотности теплоты или электричества, а, следовательно, и время "жизни", нельзя считать идеализированными для рассматриваемого масштаба времени. Это позволило сформулировать принцип интераптивности и постулировать понятие интераптона. Принцип интераптивности запрещает идеализированные представления о времени "жизни" для необратимых тепловых или электрических процессов в рассматриваемых масштабах времени. Интераптон - это мезоскопическое локальное количество теплоты или электричества со стохастическим временем "жизни" без внутренних микроскопических и внешних макроскопических воздействий. Это название понятию дано из - за необходимости его выделения экспертной системой. Уникальное имя соответствует латинскому слову *interaptum*, означающее взаимосвязный.

Таким образом, методом индуктивного математического моделирования получена иерархия эпистемологических уровней для необратимых тепловых или электрических процессов для рассматриваемых судовых технических средств. Результаты нового подхода к идентификации необратимых тепловых или электрических процессов для судовых опреснителей и электрических машин с мониторинговыми и экспертными системами позволили сформулировать принцип интераптивности, постулировать понятие интераптона и класса интераптонных необратимых процессов. Это является важным для совершенствования эксплуатации судовых

технических средств с экспертными системами, которые решают эксплуатационные задачи прежде всего при помощи принципов, понятий и классов. Согласно современным представлениям экспертные системы высокого уровня в состоянии решать все эксплуатационные вопросы, если их базы знаний имеют также структурные знания. Результаты индуктивного математического моделирования необходимы экспертной системе для объяснения своих рекомендаций или действий.

В третьем разделе "Концептуализация интераптонных необратимых процессов в судовых опреснителях и электрических машинах" первоначально неинтерпретированные дискретные модели использованы для следующего стационарного состояния. Согласно полученным нелинейным дискретным моделям имеем

$$\frac{d\vec{v}_s}{dt} = F(\lambda, \vec{v}_s), \quad (8)$$

$$\frac{d\vec{v}_s}{dt} = \vec{F}(t, \lambda, \vec{v}_s) = \vec{F}(t+T, \lambda, \vec{v}_s), \quad (9)$$

где T - период, λ - разность тепловых или электрических потенциалов, время "жизни" и т. д.

Параметры λ лежат на вещественной прямой и $\vec{v}_s = 0$ не является решением (8), (9).

Критические интераптоны соответствуют стационарному состоянию, соответствующего пересечению решений (8), (9). В этом состоянии при λ_0 микрофлуктуациями пренебрегаем, так как имеем макроскопическую среду. Рассмотрены характерные случаи поведения критических интераптонов. Показано на возникновение периодических критических интераптонов и вторичных периодических критических интераптонов. Критические интераптоны могут распадаться на изолированные интераптоны. Приведен

числовой расчет образования изолированных интералтонов. Эти результаты показали, что неинтерпретированные модели являются структурно неустойчивыми и их нельзя использовать для необратимых тепловых или электрических процессов в рассматриваемых судовых технических средствах с экспертными системами.

Для подтверждения этого результата показано, что стационарные интералтоны, описываемые нелинейными уравнениями, имеют устойчивые и неустойчивые состояния при малых возмущениях. Эту устойчивость считаем условной, так как она справедлива при малых возмущениях. Изучена условная устойчивость критических и стационарных интералтонов, отвечающих от критических. Показано, что решения устойчивы с одной стороны от λ_0 и неустойчивы с другой. В \mathbb{R}^n вероятность возникновения структурной неустойчивости значительно возрастает. Эти данные не противоречат сформулированному принципу интералтивности.

Эти результаты показали, что необходимо изучение локальной устойчивости. В локальном объеме массу плотность энтропии определим общим выражением

$$S_m = S_m(w_m^i, m_v, \nu_m^i), \quad (10)$$

где w_m^i - массовая плотность внутренней энергии; m_v - масса интералтонов в единице объема; ν_m^i - массовая плотность интералтонов.

Согласно (10) получено уравнение

$$\frac{\partial(m S_m)}{\partial t} = -\nabla \cdot \mathfrak{L}[m S_m] + \mathcal{M}[m S_m], \quad (11)$$

где $\mathfrak{L}[\cdot]$ - поток величины $m S_m$; $\mathcal{M}[\cdot]$ - источник величины $m S_m$.

Это позволяет для изучаемой системы записать

$$\frac{\partial}{\partial t} S = \frac{\partial}{\partial t} S_e + \frac{\partial}{\partial t} S_i, \quad (12)$$

где S - локальная энтропия.

В (12) $\frac{\partial}{\partial t} S_e$ характеризует обмен энергией локальных объемов, а $\frac{\partial}{\partial t} S_i$ соответствует необратимым процессам в локальном объеме. Показано, что для изучаемой системы можно использовать понятие локального производства энтропии, соотношения взаимности Л. Онсагера и теоремы о минимуме производства энтропии.

Из (10) и (12) получены условия локальной устойчивости к тепловым, механическим и электрическим возмущениям. Эти условия справедливы при бесконечно малых возмущениях. Показано, что невыполнение условия локальной устойчивости является характерной особенностью изучаемой системы.

Согласно (10) и (12) получено условие эволюции интераптонов к устойчивым стационарным или квазистационарным состояниям. Показано на невыполнения этого условия для изучаемой системы в однородной среде. Получены, также, условия эволюции интераптонов к устойчивому стационарному состоянию при одночастотных колебаниях. В этом случае имеем не выполнение условия устойчивости.

Локальную неустойчивость лучше называть псевдонеустойчивостью. На структурную неустойчивость показывают математические модели, а сами необратимые тепловые или электрические процессы являются устойчивыми. Устойчивость рассматриваемых необратимых процессов возможна за счет мезоскопических флуктуаций времени "жизни", что не противоречит теории диссипативных структур И. Пригожина.

Результаты изучения частных случаев неинтерпретированной системы (1) показали, что возможны два различных ста-

ционарных состояния. Одни из этих состояний устойчивы, а другие - неустойчивы. Нельзя определить какому стационарному состоянию будет отдано предпочтение. В рассматриваемом случае присутствует элемент случайности. Простые фундаментальные симметрии нарушаются. Диссиметрия обусловлена, например, единичным случайным событием, отдавшим предпочтение одному из двух возможных исходов.

Результаты изучения локальной и структурной устойчивости неинтерпретированных моделей показали, что в (7) $\xi(t)$ учитывает локальные флуктуации не классического типа. Локальные флуктуации, которые названы интераптантами, отличаются от внутренних шумов. Сделана оценка роли внутренних шумов на эволюцию интераптонов. В изучаемой системе возникновение крупномасштабных внутренних шумов маловероятно. Такие шумы не могут усиливаться и приводить систему в качественно новое состояние. Явления "сноса", "диффузии" и "скачка" внутренних шумов не оказывают влияния на глобальную эволюцию интераптонов. Возникновение пространственных корреляций внутренних шумов маловероятно в изучаемой системе. Поэтому пренебрегаем влиянием внутренних шумов и согласно (7) запишем

$$\frac{di(t)}{dt} = b(i, t) + a(i, t)\eta(t), \quad (14)$$

где $b(i, t) = \tau_i^{-1} i$; $a(i, t)\eta(t) = \xi(t)$.

В (14) считаем, что $\eta(t)$ есть стационарный случайный процесс и разложим на составляющие

$$\eta(t) = \langle \eta(t) \rangle + \alpha_{\eta}(t). \quad (15)$$

В (15) $\alpha_{\eta}(t)$ описывает флуктуации относительно среднего значе-

ния $\langle \cdot \rangle$. Для частного случая $x_n(t)$ описана уравнением

$$\frac{dx_n(t)}{dt} = -\kappa_{ij} x_n(t) + 0,5 \vartheta_{ij} y_n(t), \quad (16)$$

где κ_{ij} , ϑ_{ij} - постоянные величины.

В (16) $y_n(t)$ является случайной функцией, а κ_{ij} учитывает "инерционные" свойства интерактантов. Согласно (16) записано уравнение типа уравнения Фоккера - Планка и определена стационарная плотность вероятности процесса с нулевым средним и дисперсией $0,5 \vartheta_{ij} \kappa_{ij}^{-1}$.

Для подтверждения влияния интерактантов на эволюцию интерактонов рассмотрена спектральная плотность стационарного случайного процесса. При κ_{ij} , стремящихся к бесконечности, не исчезает влияние интерактантов и спектральная плотность остается конечной величиной при постоянном значении $\vartheta_{ij} \kappa_{ij}^{-2}$. Флуктуирующая величина $x_n(t)$ переходит в гауссовский белый шум. Использование белого шума для ряда частных случаев возможно, так как $\tau_x \gg \kappa_{ij}^{-1}$. Это позволяет рассматривать локальную эволюцию как марковский диффузионный процесс. Если τ_x стремится к бесконечности, и имеем ненулевые квазистационарные состояния с гауссовским распределением вероятностей, то интерактанты теряют вероятность при увеличении их интенсивности. При возникновении крупномасштабных интерактантов вероятность не может исчезнуть в изучаемой системе, так как произойдет качественное изменение χ . Эти качественные изменения приводят к изменению распределения плотности вероятности. Внутренние шумы вызывают расширение переходных зон и "расплывание" пикобразных форм плотностей вероятностей. Шумы не могут качественно изменить квазистационарное состояние. Действие интерактантов зависит от состояния χ . При достаточно большой величине ϑ_{ij} число и положение экстремумов

плотности ρ_{st} будет отличаться от детерминированного состояния. При определенных значениях \mathcal{D}_{i_f} плотность вероятности κ изменится и происходит переход в некоторое новое состояние. Интераптанты способствуют возникновению новых качественных состояний (событий) интераптонов.

Согласно (14) ... (16), учитывая, что гауссовский белый шум есть производная от винеровского процесса $w(t)$ в стохастическом смысле, имеем

$$\kappa(t) = \kappa(t_0) + \int_{t_0}^t \varphi[\kappa(t), t_u] dt_u + \mathcal{D}_{i_f}^{0,5t} \int_{t_0}^t d[\kappa(t_u), t_u] dw(t_u). \quad (17)$$

Решение (17) имеет формальное сходство с решениями известных уравнений, где гауссовский шум внешним образом воздействует на детерминированную систему. Однако для локальной эволюции интераптонов можно использовать исчисления К. Ито и Р. Стратоновича, так как рассматриваем только часть целого. Согласно исчислению К. Ито, локальную эволюцию интераптонов интерпретируем как стохастический диффузионный процесс со "сносом" $\varphi[\kappa, t]$ и диффузией $\mathcal{D}_{i_f} d^2[\kappa, t]$. В этом случае моделью интераптантов является гауссовский белый шум. Это обеспечивает отсутствие корреляций интераптантов с κ в фиксированные моменты времени. Реализации κ являются почти непрерывными. Более реалистичным является наличие корреляции интераптантов с κ в фиксированные моменты времени. Исчисление Р. Стратоновича позволяет учесть эту корреляцию и локальную эволюцию интераптонов интерпретируем как стохастический диффузионный процесс со "сносом" $(\varphi + 0,5 \mathcal{D}_{i_f} \frac{\partial \varphi}{\partial \kappa} d)$ и диффузией $\mathcal{D}_{i_f} d^2$. Используя локальные уравнения эволюции для получения уравнения типа Фоккера - Планка и определена стационарная плотность вероятности.

В общем случае нельзя исключать ненулевые корреляции интераптонов и рассмотрен частный случай немарковской локальной эволюции интераптонов. Интераптанты описаны моделями Орнштейна - Уленбека. Рассмотрен частный случай (14), являющегося нелинейным уравнением эволюции интераптонов, формы

$$d\dot{\chi}(t) = \varphi[\dot{\chi}(t)]dt + \int_{t_0}^{0,5} d[\dot{\chi}(t)]dW(t). \quad (18)$$

Изучена немарковская нелинейная локальная эволюция интераптонов в малой окрестности интераптантов. Стационарные плотности вероятности локальной эволюции интераптонов позволили подтвердить теоретическим путем наличие стохастических свойств $\dot{\chi}$.

Однако этих результатов недостаточно для полной интерпретации (1) и (6). Эти модели не имеют флуктуирующей "силы" в явном виде, как например, в системах броуновского типа. Поэтому далее локальная эволюция интераптонов рассмотрена как диффузионный процесс А. Колмогорова и имеем

$$\frac{d\dot{\chi}(t)}{dt} = \varphi(t, \dot{\chi}) + d(t, \dot{\chi})x'_{\dot{\chi}}(t), \quad (19)$$

где $x'_{\dot{\chi}} = \frac{dy_{\dot{\chi}}(t)}{dt}$; $y_{\dot{\chi}}(t)$ - некоторый стохастический процесс.

Уравнение (19) представлено в форме

$$\mathcal{A}[\dot{\chi}(t, \omega)] = x_{\dot{\chi}}(t, \omega), \quad (20)$$

где \mathcal{A} - нелинейный стохастический дифференциальный оператор, ω - элемент пространства (Ω, \mathcal{A}, P) ; Ω - пространство элементарных событий; \mathcal{A} - поле событий; P - вероятностная мера.

В (20) нелинейный стохастический дифференциальный опе-

ратор можно разложить на линейную и нелинейную, а затем детерминированную и случайные части. Коэффициенты этого оператора являются стохастическими с известными математическими ожиданиями и корреляционными функциями. Интегранты можно представлять не только белым шумом, но и случайными функциями более общего вида.

Изучена адекватность линейного операторного уравнения локальной эволюции интерпотонов. Показано, что при пренебрежении билинейными членами получаем стохастическое уравнение Вольтерра. Для нелинейной локальной эволюции интерпотонов операторное уравнение представлено в виде суммы с линейным и нелинейным стохастическими дифференциальными операторами. Решение записано с помощью стохастической функции Грина.

Результаты изучения нелинейной локальной эволюции интерпотонов при помощи стохастических операторных уравнений показали, что время "жизни" τ_{α} определяется выражением

$$\tau_{\alpha}^{-1}(t, \omega) = \langle \langle \tau_{\alpha}(t, \omega) \rangle \rangle^{-1} \pm \tau_{\alpha d}^{-1}(t, \omega), \quad (21)$$

где $\tau_{\alpha d}(t, \omega)$ - случайная составляющая.

Из (6) имеем частный случай

$$\frac{\partial \alpha}{\partial t} + \tau_{\alpha}^{-1} \alpha = 0. \quad (22)$$

Из (21) и (22) имеем

$$\frac{\partial \alpha}{\partial t} + \langle \langle \tau_{\alpha}(t, \omega) \rangle \rangle^{-1} \alpha = \xi(t), \quad (23)$$

где $\xi(t) = \mp \tau_{\alpha d}^{-1}(t, \omega) \alpha$.

Уравнение (23) соответствует (7). Таким образом, в общем случае часть целого имеет форму (22) со стохастическим

временем "жизни". Это объясняет наличие градиента \mathcal{L}_{x_i} в (6), которое необходимо рассматривать как стохастическое операторное уравнение.

Поэтому систему формы (1) представим

$$\frac{d \vec{x}(t)}{dt} = A(t) \vec{x}(t) + \vec{x}_{x_i}(t), \quad (24)$$

где $\vec{x}_{x_i}(t) = B(t) \vec{y}(t)$.

В (24) стохастическая матрица $A(t)$ имеет порядок $(n \times n)$ и она содержит стохастические элементы $\Omega_{ij}(t, \omega)$ из - за наличия времен "жизни" при $t \in T, \omega \in (\Omega, A, P)$, \vec{x}_{x_i} есть произведение стохастической матрицы $B(t)$ порядка $(n \times 1)$ на матрицу тепловых или электрических потенциалов порядка $(n \times 1)$. Для судовых опреснителей и электрических машин согласно (24) имеем стохастический дифференциальный оператор

$$\mathcal{L} = \frac{d}{dt} - A(t).$$

Это дает глобальную модель

$$\mathcal{L} \vec{x} = \vec{x}_{x_i}. \quad (25)$$

Модель (25) является матричным вариантом (20). Из (25) получено стохастическое интегральное уравнение Вольтерра в матричном варианте и представлено его решение в виде суммы $\vec{x}_{x_i}(t, \omega)$. Это уравнение аналогично выражению, описывающему систему с обратной связью. Обычная функция Грина является передаточной функцией прямой связи, а некоторая стохастическая функция есть передаточная функция обратной связи. Это обеспечивает организацию рассматриваемых процессов в судовых технических средствах. Рассмотрен частный случай (25) и решение записано при помощи метода квадратур.

Решение даже частных случаев (1) и (7) вызывает затруднения, так как они не являются системами броуновского типа. Поэтому только в общих чертах рассмотрено использование (1), (7) для описания необратимых тепловых или электрических процессов в рассматриваемых судовых технических средствах с экспертными системами.

Таким образом, результаты концептуализации интералтонных необратимых процессов подтвердили принцип интералтивности, понятие интералтона и наличие класса интералтонных процессов, а также разработаны и изучены локальные и глобальные модели для судовых технических средств. Согласно опыту совершенствования эксплуатации технических средств с экспертными системами эти результаты необходимо оценить экспериментальным путем и желательно иметь компьютерное прикладное математическое обеспечение.

В четвертом разделе "Оценка идентификации и концептуализации интералтонных необратимых процессов" представлены результаты сравнения экспериментальных и теоретических исследований. Результаты работы использованы при разработке хозяйственных и госбюджетных научно - исследовательских работ. Опробированы диагностические и оптимизационные возможности разработанных моделей. Технические решения, основанные на результатах работы, защищены двумя авторскими свидетельствами. Результаты работы широко использованы в дипломных проектах при разработке узловых вопросов, связанных с совершенствованием эксплуатации судовых технических средств. В лаборатории судовой электроэнергетики внедрена и используется для научно - исследовательской работы и в учебном процессе мониторинговая система.

В настоящее время отсутствует развитое компьютерное

прикладное математическое обеспечение для решения разработанных локальных и глобальных моделей, что установлено компьютерными расчетами. В работе представлены результаты разработки компьютерных программ с использованием интеграла Римана - Стильтьеса. Получены результаты решения тестовых уравнений, локальных моделей и моделей для судовых гребных двигателей, двигателей постоянного тока кранового привода. Результаты расчетов имеют экспериментальное подтверждение.

Практическая значимость результатов работы для совершенствования эксплуатации судовых технических средств оценена при помощи известных критериев.

Заключение. Одним из перспективных направлений уменьшения аварийности и финансовых расходов на морских судах является оборудование их судовыми техническими средствами с экспертными системами. Эксплуатация судовых технических средств с экспертными системами является актуальной проблемой. Перспективным направлением совершенствования эксплуатации судовых технических средств с экспертными системами является разработка глубинных знаний необратимых тепловых и электрических процессов для идентификации и концептуализации показаний мониторинговой системы.

1. Основные результаты нового подхода к идентификации необратимых тепловых или электрических процессов при работе судовой мониторинговой системы

- предложена новая эволюционная парадигма для интерактивных необратимых тепловых или электрических процессов;
- показано, что в отдельности законы Гаусса и сохранения теплоты или электричества эволюционной парадигмы не могут адекватно описывать необратимые процессы в рассматриваемом временном масштабе;

- доказано, что законы Гаусса и сохранения теплоты или электричества эволюционной парадигмы являются взаимно независимыми;

- разработаны впервые дискретные и непрерывные модели интералтонных необратимых процессов для судовых технических средств с экспертными системами;

- результаты индуктивного математического моделирования необходимы для логических выводов экспертной системы судовых технических средств;

- сформулирован впервые принцип интералтивности, запрещающий идеализированные представления о времени "жизни", являющегося отношением локальной энергии интеграции к мощности ее деградации, для рассматриваемого масштаба времени;

- введено новое понятие интералтона - это локальная плотность количества теплоты или электричества со стохастическим временем "жизни" без внутренних микроскопических и внешних макроскопических воздействий.

2. Основные результаты нового подхода к концептуализации интералтонных необратимых процессов в судовых опреснителях и электрических машинах

- установлен впервые класс интералтонных необратимых процессов в судовых технических средствах (опреснители и электрические машины) и развиты для него исходные, главные положения;

- доказано, что интералтонный необратимый процесс - это темпоральный способ взаимосвязи законов Гаусса и сохранения теплоты или электричества в локальном объеме судовых технических средств;

- доказана впервые гипотеза о существенной роли времени "жизни" для установленного класса интералтонных необратимых

тепловых или электрических процессов;

- установлено впервые нарушение симметрии энергетического состояния - образование пространственного градиента времени "жизни" даже в однородных средах. Наличие градиента времени "жизни" является причиной возникновения интерпаузов для рассматриваемого временного масштаба;

- доказано, что интерпаузы, являющиеся неклассическими флуктуациями, создают стохастические обратные связи, обеспечивающие временную и пространственную организацию интерпаузных необратимых тепловых или электрических процессов;

- разработаны и изучены локальные, глобальные модели для судовых опреснителей, электрических машин с экспертными системами.

3. Основные результаты оценки идентификации и концептуализации интерпаузных необратимых процессов для совершенствования эксплуатации судовых технических средств с мониторинговыми и экспертными системами

- результаты экспериментальных исследований в лабораторных и судовых условиях подтверждают установление нового класса необратимых процессов, понятия интерпауза, принципа интерпаузности, эффективности локальной и глобальной моделей для судовых технических средств с экспертными системами;

- установлена при помощи мониторинговой системы одна из причин внезапного отказа судовых технических средств, возникающего из-за случайных выбросов реализаций интерпаузных необратимых процессов;

- разработано компьютерное прикладное математическое обеспечение, облегчающее пополнение базы знаний экспертной системы судовых технических средств.

Основные результаты работы опубликованы в
монографии

1. Радченко А. П. Интераптоны. - К. : Лыбидь, 1991. - 188 с.
статьях научных изданий
2. Коваленко В. Ф. и др. Исследование теплообмена и автоматизации в глубоковакуумных испарителях /В. Ф. Коваленко, А. Ф. Соловьев, И. А. Жидков, А. П. Радченко //Изв. вузов. Энергетика. - 1972. - N 10. - С. 84-88 (С. 84-85).
3. Захаров Г. П., Радченко А. П. Определение температурного напора между первичным и вторичным паром в испарителях //Теплоэнергетика. -1972. - N 10. - С. 47-49 (С. 48).
4. Коваленко В. Ф., Радченко А. П., Холчев Г. В. Определенные времена непрерывной работы между чистками судовых испарительных опреснителей //Изв. вузов. Энергетика. - 1975. - N 4. - С. 128-132.
5. Радченко А. П. Моделирование рассеивания электрических зарядов с поверхности полимерных материалов //Электричество. - 1982. - N 1. - С. 51-54.
6. Радченко А. П. Экспериментальное исследование зондного преобразователя проводимости воздуха //Измерительная техника. - 1983. - N 4. - С. 71-72.
7. Радченко А. П. Переходные электрические процессы в диэлектрических материалах с переменными во времени параметрами //Об. науч. тр. "Теоретическая электротехника". - Львов: Вища шк., 1987. - Вып. 43. - С. 9-12.
8. Радченко А. П. Моделирование электризации диэлектрических жидкостей //Изв. вузов. Энергетика. - 1988. - N 5. - С. 47-49.
9. Кутасин Б. П., Радченко А. П. Диагностика двухслойной электрической изоляции //Изв. вузов. Электромеханика. -

1988. - N 10. - С. 99-100.

10. Верба А. Я., Коваленко В. Ф., Радченко А. П. Исследование влияния газосодержания на интенсивность теплоотдачи в судовых испарителях при обработке рассола постоянным током //РЖ. Вод. транспорт. - 1978. - N 11. - С. 66-67.

11. Коваленко В. Ф., Верба А. Я., Радченко А. П. Интенсификация теплообмена в вакуумных испарителях методом электролиза рассола морской воды //Сб. науч. тр. "Судовые энергетические установки". - М.: ЦРИА "Морфлот", 1979. - Вып. 19. - С. 81-84.

12. Коваленко В. Ф. и др. Автоматизация испарительных опреснителей морской воды /В. Ф. Коваленко, Г. П. Захаров, А. П. Радченко. - В кн.: Опреснение соленых вод и использование их в водоснабжении. - М.: Изд-во об. "Знание" РСФСР, 1972. - С. 64-70.

13. Коваленко В. Ф. и др. Автоматизация термоочистки испарителей морской воды /В. Ф. Коваленко, Г. П. Захаров, А. П. Радченко, Г. В. Холчев, А. А. Вилицкий //Тр. Николаев. кораблестроит. ин-та. - Николаев, 1975. - С. 126-130.

14. Радченко А. П. Статическое электричество на морских судах. - М.: ЦВНТИ ММФ. - Сер. Тех. эксплуатация флота. - 1980. - Вып. 8(492). - С. 21-25.

15. Радченко А. П., Панов И. П. Экспериментальное исследование электризации тела человека и его одежды в судовых условиях //Произв.-техн. сб. "Технология судостроения". - Л.: ШНИИ "Румб", 1984. - N 8. - С. 64-65.

16. Панов И. П., Радченко А. П. Совершенствование электростатической безопасности на морских судах //Сб. науч. тр. "Вопросы теории и эксплуатации судового электрооборудования". - М.: В/О "Мортехинформреклама", 1984. - С. 97-101.

17. Радченко А. П. Моделирование переходных процессов в изоляции судового электрооборудования //Об. науч. тр. "Вопросы теории и эксплуатации судового электрооборудования". - М.: В/О "Мортехинформреклама", 1984. - С. 71-76.

18. Радченко А. П. Математическое моделирование и оптимизация электрической изоляции судового электрооборудования //Судовая энергетика. - 1994. - N 2. - С. 38-40.

авторских свидетельств.

19. А. С. СССР N 1782757. М. Кл. В 01 Д 3/42. Способ автоматического управления глубоковакуумным вертикально - трубным испарителем /В. Ф. Коваленко, Г. П. Захаров, А. П. Радченко. Спубл. Б. И., 1976. - Т. 14. - С. 125.

20. А. С. СССР N 1195286. М. Кл. В 01 R 27/26. Способ измерения диэлектрической проницаемости /А. П. Радченко. Спубл. Б. И., 1985. - Т. 44. - С. 288.

депонированной статьи, диссертации и автореферате

21. Верба А. Я., Коваленко В. Ф., Радченко А. П. Исследование влияния газосодержания на интенсивность теплоотдачи в судовых испарителях при обработке рассола постоянным током. - Одесса: ОБИМУ, 1987. - 21с.: Библиогр.: 13 назв. Деп. в ЦЕНТИ ММФ СССР 01.08.78. - N 8/8.

22. Радченко А. П. Исследование статических и динамических свойств рабочих процессов судовых испарителей и разработка системы экстремального их регулирования: Дисс... канд. техн. наук. - Одесса, ОБИМУ, 1973. - 230. (С. 53-79).

23. Радченко А. П. Исследование статических и динамических свойств рабочих процессов судовых испарителей и разработка системы экстремального их регулирования: Автореф. дисс... канд. техн. наук. - Одесса, ОБИМУ, 1973. - 27с.

(С. 10-11).

тезисах, имеющих приоритетное значение

24. Коваленко В. Ф. и др. Интенсификация теплообмена в испарителях морской воды обработкой кипящего рассола электрическим током /В. Ф. Коваленко, Г. П. Захаров, А. П. Радченко, А. Я. Верба //Тез. докл. науч. - техн. конф. Краев. правления НТО пищ. пром-ти "Тепловые и технологические процессы". - Владивосток, 1977. - С. 3-6.

25. Коваленко В. Ф. и др. Исследование коррозионных свойств морской воды при интенсификации работы испарителей электрическим током /В. Ф. Коваленко, Г. П. Захаров, А. П. Радченко, А. Я. Верба // Там же. - С. 38-41.

26. Коваленко В. Ф. и др. Интенсификация теплообмена в короткотрубных теплообменниках при кипении под глубоким вакуумом /В. Ф. Коваленко, И. А. Жидков, А. Ф. Соловьев, А. П. Радченко //Тез. докл. I Всесоюз. науч. - техн. совещ. по теплообменным и теплофизическим свойствам морских и солоноватых вод при их использовании в парогенераторах и опреснителях. - Баку, 1972. - С. 46-49.

27. Радченко А. П. Теория интераптонов и ее применение в области статического электричества. - В кн.: Тез. докл. IV Всесоюз. науч. - техн. конф. "Защита от вредного воздействия статического электричества в народном хозяйстве". - Черкассы: ОНИИТЭХИМа, 1989. - С. 17-18.

28. Радченко А. П. Задачи организованной сложности в судовой энергетике. - В кн.: Применение вычислительной техники и математического моделирования в прикладных научных исследованиях : Тез. докл. /Под ред. В. Н. Малахова и др. - Одесса: ОГПУ, 1994. - 60 с.

29. Радченко А. П. Интераптонные модели в судовой ста-

новках. - В кн.: Применение вычислительной техники и математического моделирования в прикладных научных исследованиях: Тез. докл. /Под ред. В.Н. Малахова и др. - Одесса, ОГПУ, 1995. - 78с.

Radchenko Anatoliy Petrovich. Monitoring of work processes in the ship's power plants. Manuscript. Dissertation to obtain scientific degree of the doctor of technical sciences on speciality 05.03.05 - ship's power plants, Odessa, 1996.

The results of the theoretical and experimental researchment for the irreversible processes in the ship's evaporators and electric machines with the monitor and expert system were published in 1 monograph and 28 scientific works (out of 2 author's certifications). New scientific direction excludes the idea about local equilibrium for the irreversible processes in the ship's power plants. The principal results have been realized and applied.

Радченко Анатолий Петрович. Мониторинг рабочих процессов в судовых энергетических установках. Рукопись. Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.03.05 - судовые энергетические установки, Одесская государственная морская академия, Одесса, 1996.

Результаты теоретического и экспериментального исследования необратимых процессов в судовых опреснителях и электрических машинах с мониторинговыми и экспертными системами опубликованы в 1 монографии и 28 научных работах (из них 2 авторских свидетельства). Новое научное направление исключает представление о локальном равновесии для необратимых процессов в судовых энергетических установках. Основные ре-

зультаты реализованы и внедрены.

Ключові слова: суднові енергетичні установки, суднові опріснювачі, суднові електричні машини, необоротний процес, інтераптони, моніторинг.

Подписано к печати 24.04.1996 г. Объем 2 печ. л.

формат 60x84¹/16. Зак. 153. Тираж 100.

Тип. УГАС. Одесса, Старопортофранковская, 61

ST:HE ah

420000

AB 34.712

AB 34.712

