

На правах рукописи



Сучкова Лариса Иннокентьевна

**Развитие научных основ идентификации и прогнозирования  
нештатных ситуаций в системах оперативного контроля  
техногенных объектов на базе интервально-лингвистического  
подхода**

05.11.13 – Приборы и методы контроля природной среды, веществ,  
материалов и изделий

**АВТОРЕФЕРАТ**  
диссертации на соискание ученой степени  
доктора технических наук

Томск - 2014

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», Федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет»

**Научный консультант: Якунин Алексей Григорьевич,**  
доктор технических наук, профессор

**Официальные оппоненты:**

**Светлаков Анатолий Антонович**, доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВПО «Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники», г. Томск, профессор кафедры «Электронные средства автоматизации и управления»

**Гужов Владимир Иванович**, доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВПО «Новосибирский государственный технический университет», г. Новосибирск, профессор кафедры «Системы сбора и обработки данных»

**Сединин Валерий Иванович**, доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики», г. Новосибирск, заведующий кафедрой «Системы автоматизированного проектирования»

**Ведущая организация:**

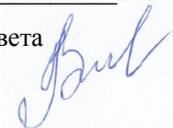
ФГБУН Институт механики Уральского отделения Российской академии наук (ИМ УрО РАН), г. Ижевск

Защита диссертации состоится «16» декабря 2014 г. в 15.00 на заседании диссертационного совета Д 212.269.09 при ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» по адресу: 634028, г. Томск, ул. Савиных, 7, ауд. 215.

С диссертационной работой можно ознакомиться в научно-технической библиотеке Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» по адресу: 634034, г. Томск, ул. Белинского, 55 и на сайте: <http://portal.tpu.ru/council/916/worklist>.

Автореферат разослан «\_\_» \_\_\_\_\_ 2014 г.

Ученый секретарь диссертационного совета  
кандидат технических наук, доцент



Васендина Е.А.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

### **Актуальность.**

В течение последних десяти лет наблюдается ежегодный рост ущерба от техногенных аварий и катастроф, составляющего до 2% от ВВП, причем аварии на объектах ЖКХ имеют особую социальную значимость. В соответствии с Концепцией долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2020 года, утвержденной распоряжением Правительства Российской Федерации от 17.11.2008 г. № 1662-р, обеспечение высокого уровня безопасности техногенных объектов (**ТО**) и снижение риска возникновения чрезвычайных ситуаций на этих объектах требует развития не только средств реагирования на чрезвычайные ситуации, но, в первую очередь, средств их предупреждения. Федеральная целевая программа «Снижение рисков и смягчение последствий чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в Российской Федерации до 2015 года», утвержденная постановлением Правительства № 555 от 07.07.2011 г., предусматривает совершенствование научно - методических основ обеспечения безопасности объектов инфраструктуры от угроз техногенного характера, развитие научных основ систем мониторинга, повышение эффективности информационного обеспечения систем мониторинга и прогнозирования ЧС, включая диагностирование и прогнозирование нештатных ситуаций (**НС**) на техногенных объектах и решение задач неразрушающего контроля.

В настоящее время оперативный контроль процессов функционирования **ТО** осуществляется автоматизированными системами, характеризующимися распределенностью, разнообразием архитектуры и программно-технического обеспечения, реализующего сбор и обработку сигналов с первичных измерительных преобразователей с целью диагностирования состояния **ТО**. При этом определяющим фактором, влияющим на быстродействие и надежность системы контроля в целом, адекватность и скорость технической диагностики **ТО**, включая **НС**, являются методы обработки сигналов. В связи с этим актуальна разработка новых средств контроля и технической диагностики. Особенно важно разрабатывать новые алгоритмы обработки сигналов с первичных измерительных преобразователей, создавать модели, формализующие описание штатного и нештатного функционирования **ТО**. Применяемые в системах оперативного контроля техногенных объектов (**СОКТО**) алгоритмы диагностирования основаны на методах обработки информационных сигналов, включающих отдельные классические пороговые методы и методы искусственного интеллекта (нейронные сети, нечеткий анализ, фреймворковые технологии и т.п.). Данные

методы позволяют снизить риски возникновения НС на ТО, однако возможности этих методов для прогнозирования состояния ТО в режиме реального времени не всегда достаточны. Это приводит к выводу о необходимости комплексного исследования процессов оперативного контроля состояния ТО, включая НС, в условиях неопределенности и осуществления прогнозирования.

В качестве перспективного варианта разрешения проблемной ситуации предлагается разработка новых гибридных методов диагностики и прогнозирования состояния контролируемых ТО на базе интервальных методов обработки сигналов в пространстве параметров и интеллектуальных методов при условии возможности последующей их online-реализации в системах оперативного контроля ТО. Гибридные методы должны позволять на ранних стадиях распознавать несоответствующие штатному функционированию ТО ситуации и оперативно адаптировать программно-техническое обеспечение систем мониторинга к появлению новых НС без его модификации.

**Объектом исследования** являются методы и программно-техническое обеспечение (ПТО) СОКТО, обуславливающие диагностику контролируемых техногенных объектов и прогнозирование их штатных и нештатных состояний.

**Предмет исследования** – методы и модели онлайн-оценки состояний техногенного объекта по наблюдаемым сигналам.

Таким образом, основной **целью диссертационного исследования** является разработка научного аппарата оперативного контроля и прогнозирования состояния техногенного объекта в процессе его функционирования на основе гибридного интервально-лингвистического подхода для совершенствования ПТО систем оперативного контроля на стадиях их проектирования и практической реализации.

Выявленными **противоречиями** предмета исследования, которые определяют научную проблему и перечень научных задач, являются высокий уровень развития аппаратной приборной базы СОКТО, постоянный рост вычислительных возможностей в системах контроля с одной стороны, и отсутствие комплексных эффективных методов онлайн-обработки информативных сигналов, позволяющих выявлять НС и диагностировать состояние объекта контроля, с другой.

Таким образом, для достижения сформулированной цели исследования необходимо решить крупную **научную проблему**, заключающуюся в необходимости развития научного аппарата диагностики техногенного объекта с целью повышения надежности ПТО СОКТО путем разработки новых методов обнаружения и идентификации НС современными техническими средствами.

Соответствующая область исследований соответствует п. 6 паспорта специальности ВАК 05.11.13 «Разработка алгоритмического и программно-технического обеспечения процессов обработки информативных сигналов и представление результатов в приборах и средствах контроля, автоматизация приборов контроля» и п.7 «Методы повышения информационной и метрологической надежности приборов и средств контроля в процессе эксплуатации, диагностика приборов контроля».

Для достижения поставленной цели в диссертационной работе были **сформулированы следующие задачи:**

- осуществить классификацию НС в системах контроля, изучить возможности системы алармов в современных СОКТО, проанализировать проблемную ситуацию и сформулировать требования к методам оперативного контроля и прогнозирования состояния ТО;

- исследовать проблему оценки параметров информативных сигналов, характеризующих ТО, в условиях априорной неопределенности и на базе интервального подхода разработать метод оценки параметров модельных функций регистрируемых сигналов;

- сформулировать общий подход к диагностике состояния ТО в СОКТО на основании анализа  $\varepsilon$ -областей, формируемых в пространстве параметров по реализациям сигналов;

- исследовать проблему прогнозирования генеза протекающих в ТО процессов, развить научные основы осуществления прогноза с применением паттернов поведения с учетом относительной ошибки идентификации;

- сформулировать методологию и разработать алгоритмы оперативного контроля и прогнозирования состояния ТО на базе гибридного интервально-лингвистического подхода;

- разработать методы повышения надежности программно-технического обеспечения СОКТО, включающие наблюдение в широком динамическом диапазоне при постоянстве относительной погрешности измерения, выполнение самодиагностики самой СОКТО с целью выявления «внутренних» НС, оптимизацию структуры баз данных и функциональных блоков СОКТО;

- разработать гибридную модель для исследования функционирования СОКТО при аппаратных и программных сбоях, обусловленных ее архитектурой, вычислительными характеристиками компонентов и алгоритмами обработки информативных сигналов, получаемых с объекта контроля;

- выполнить эксперименты по исследованию работоспособности и эффективности теоретических методов диагностики и прогнозирования

ния состояния ТО, осуществить апробацию методов в СОКТО для различных видов техногенных объектов и отраслей промышленности.

Основными **методами решения поставленных задач** являются методы интервального анализа, аналитической геометрии, обработки сигналов, нечеткой и темпоральной логики, технической диагностики, теории принятия решений, теории надежности, теории формальных языков, теории массового обслуживания, имитационного моделирования.

Экспериментальные исследования проводились с использованием современной микропроцессорной измерительной аппаратуры и компьютерной техники. Моделирование проводилось на ЭВМ по оригинальным программам, разработанными автором и защищенными свидетельствами Роспатента.

**Теоретической основой исследования** служили труды зарубежных и отечественных ученых и специалистов, в числе которых: I. Batyrshin, S.Chen, F. Höppner, L. Lee, E. Mamdani, R.Moore, F. Mörchgen, L. Sheremetov, Q. Song, A. Ultch, L. Zadeh, Г. Алефельд, Т. Андерсен, В.Н. Афанасьев, Дж. Бендат, Дж. Бокс, Н.Г. Бусленко, Б.В. Гнеденко, Н. Джейсуол, Г. Дженкинс, С.М. Ковалев, С.И. Колесникова, В.Ю. Королев, Х. Кумамото, Дж. Купер, Б.Р. Левин, А. Оппенгейм, В.А. Острейковский, Д.А. Поспелов, К.В. Рудаков, И.А. Рябинин, Т. Саати, Д.Хенли, С.Е. Фалькович, Э.Н. Хомяков, С.П. Шарый, Ю.И. Шокин, М.М. Юзбашев, А.Г. Якунин, Н.Г. Ярушкина и многие другие.

**Научная новизна** исследования заключается в развитии научных основ диагностики и прогнозирования состояния ТО в режиме реально времени и включает:

1. разработку интервального метода формирования и анализа  $\epsilon$ -областей как образов из пространства параметров модельных функций в условиях неопределенности, что обеспечивает оперативный контроль состояния ТО по реализации сигнала с учетом исторических данных и уточнение параметров модели сигнала;

2. введение нового понятия гибридно-лингвистического паттерна (ГЛП) и формального определения многомерного паттерна и ГЛП, существенной особенностью которых является универсальность и простота применения для диагностики ТО в процессе его функционирования;

3. разработку интервально-лингвистического метода оперативного контроля и прогнозирования состояния ТО, оригинальный алгоритм которого учитывает нечеткость сигналов и результаты их преобразования в темпоральной динамике;

4. разработку основанного на лингвистическом описании контролируемых процессов метода обнаружения и исследования темпораль-

ных закономерностей в динамике получаемых при контроле ТО информативных сигналов, описываемых временными рядами, позволяющего упростить выявление взаимовлияния между отсчетами групп временных рядов;

5. разработку метода самодиагностики СОКТО, идея которого защищена патентом и позволяет ускорить идентификацию НС на входящих в СОКТО компонентах и линиях связи между ними;

6. создание модели НС в СОКТО, отличительными особенностями которой являются гибридный АЕРФ-подход к моделированию функционирования СОКТО, возможность исследования влияния на НС архитектуры системы мониторинга и оценок времени выполнения алгоритмов диагностирования на устройствах СОКТО, включая произвольные алгоритмы пользователя.

**Обоснованность и достоверность** научных положений, методов и рекомендаций обеспечивается за счет использования теоретически обоснованных вычислительных методов, подтверждена результатами компьютерного моделирования и опытно-промышленной эксплуатации разработанного ПТО. Вычислительные эксперименты выполнялись с помощью разработанных автором прикладных программ.

**Теоретическая ценность диссертации** состоит в разработке оригинальных методов оперативного контроля и прогнозирования состояния ТО в условиях неопределенности и нестационарности сопровождающих контролируемые процессы шумов и помех.

**Практическая ценность диссертации.** Практическая значимость полученных результатов связана с созданием комплекса алгоритмических и программно-технических решений, способных решать задачи оперативного контроля и прогнозирования состояния ТО, в том числе НС, в режиме реального времени и в условиях варьирования реализаций сигналов в пространственно-временных доменах.

Использование результатов диссертационной работы позволяет повысить достоверность идентификации НС в условиях онлайн-обработки сигналов. Алгоритмы оперативного контроля ТО могут быть реализованы на устройствах с ограниченными вычислительными возможностями, включая типовые промышленные микроконтроллеры, без необходимости модификации ПТО при появлении новых паттернов. Применение в СОКТО защищенных патентами на изобретение методов самодиагностики НС и расширения динамического диапазона анализируемых сигналов позволяет повысить надежность и скорость работы системы мониторинга в целом и расширить ее функциональные возможности. Предложенные алгоритмы диагностики перспективны также для применения в технологических комплексах неразрушающего контроля, в промышленной робототехнике.

### **Реализация результатов работы.**

Исследования по тематике диссертационной работы велись в рамках следующих госбюджетных НИР: «Развитие моделей  $\varepsilon$ -слоя применительно к решению задач нахождения свойств интервальных оценок параметров квазидетерминированных сигналов» (1998-2002 гг.), Аналитической ведомственной целевой программы «Развитие научного потенциала высшей школы» (темы «Разработка математических моделей процессов тепломассопереноса на основе теории клеточных автоматов для SCADA – систем оперативного контроля и учета энергоресурсов» (2005-2009 гг.), «Моделирование динамических температурных полей в системах экстраполирующего температурного мониторинга техногенных объектов» (2010-2012 гг.)), государственного задания вузам на 2013-2015 гг. (тема «Развитие гибридных моделей и методов оценки и прогнозирования состояний техногенных, социально-экономических и природных объектов» (2013 г.)).

Результаты работы внедрены и использовались при проектировании и разработке систем оперативного контроля потребления энерго-ресурсов университетского кампуса АлтГТУ (г. Барнаул), информационно-измерительного комплекса для ОАО «Кузнецкая ТЭЦ» (г. Новокузнецк). Осуществлено внедрение результатов исследований в системе температурного мониторинга на предприятиях хранения и переработки зерна, предприятиях пищевой промышленности Алтайского края, Курганской области, Пермского края, на ФГКУ комбинате «Аврора» Росрезерва.

Результаты внедрены в образовательный процесс при подготовке в АлтГТУ инженеров по специальности «Вычислительные машины, комплексы, системы и сети», магистров по направлению «Информатика и вычислительная техника», аспирантов по специальностям 05.11.13 «Приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов и изделий» и 05.11.16 «Информационно-измерительные и управляющие системы».

**Апробация работы.** Результаты исследований апробированы на научно-технических и научно-практических конференциях различного уровня: Международном Форуме по проблемам науки, техники и образования (Москва, 2003), Всероссийской НТК «Новые материалы и технологии» (Москва, 2004), Международной НТК «Измерение, контроль, информатизация» (Барнаул, 2005-2007, 2009-2013), НТК «Информационные технологии» (Таганрог, 2006), МНТК «Информационные и телекоммуникационные системы и технологии» (Санкт-Петербург, 2007), 4-й МНПК «Прогрессивные технологии развития» (Тамбов, 2007), Всероссийской НПК «Актуальные проблемы инфор-

матизации. Развитие информационной инфраструктуры, технологий и систем» (Москва, 2007), VII Всероссийской НПК с международным участием «Информационные технологии и математическое моделирование» (Томск, 2008), 3 МНТК «Информационные технологии в науке, производстве и образовании» (Ставрополь, 2008), VIII МНТК «Информационно-вычислительные технологии и их приложения» (Пенза, 2008), МНК «Инновации в обществе, технике и культуре» (Таганрог, 2008), Всероссийской НТК «Новые материалы и технологии» (Москва, 2008), 5 Международной НПК «Наука на рубеже тысячелетий» (Тамбов, 2008), МНТК «Технические и программные средства систем управления, контроля и измерения» (Москва, 2008), МНК «Системы и модели в информационном мире» (Таганрог, 2009), XXVI ВНТК «Информационные технологии в науке, проектировании и производстве» (Нижний Новгород, 2009), 4 Всероссийской НПК «Компьютерная интеграция производства и ИПИ-технологии» (Оренбург, 2009), МНПК «Научные исследования и их практическое применение. Состояние и пути развития-2011» (Одесса, 2011), МНК «Системы и модели в информационном мире» (Таганрог, 2009), X Всероссийской НПК «Информационные технологии и математическое моделирование» (Томск, 2011), МНПК «Перспективные инновации в науке, образовании, производстве и транспорте» (Одесса, 2012), Международной НПК Всероссийского общества изобретателей и рационализаторов (Липецк, 2012), “Aktualne problemy nowoczesnych nauk-2012” (Пржемысль, 2012), МНПК «Измерения: состояние, перспективы развития» (Челябинск, 2012), «Moderní vymoženosti vědy – 2012» (Прага, 2012), 2 Всероссийской НПК "Научные и технические средства обеспечения энергосбережения и энергоэффективности в экономике РФ" (Санкт-Петербург, 2012), IV НПК "Информационно-измерительная техника и технологии" (Томск, 2013), II Всероссийской с международным участием НПК по инновациям в неразрушающем контроле SibTest (Томск, 2013), Международной НПК «Фундаментальная наука и технологии - перспективные разработки» (Москва, 2013), Всероссийской НК «Актуальные проблемы математики и механики» (Самара, 2013).

#### **На защиту выносятся:**

- научные основы оперативного контроля ТО при наличии априорной неопределенности и нестационарности присутствующих в информативных сигналах шумов и помех, как развитие интервального метода  $\epsilon$ -слоя;

- алгоритмы интервально-лингвистического метода, формализующие непрерывную диагностику ТО и прогнозирование генеза протекающих в нем процессов с применением многомерных паттернов;

- метод обнаружения и исследования закономерностей в информационных сигналах, формируемых при контроле ТО, с целью последующего их применения в алгоритмах оперативного контроля;

- методы оценки погрешности определения контролируемых параметров описывающих техногенный объект процессов, основанные на интервально-лингвистическом подходе;

- методы совершенствования технического обеспечения СОКТО, включая веерную концепцию самодиагностики системы мониторинга, расширение динамического диапазона наблюдения без роста относительной погрешности преобразования амплитуды сигналов;

- гибридная АЕРФ-модель влияния архитектуры и алгоритмов диагностики в СОКТО на программно-аппаратные сбои;

- результаты вычислительных экспериментов работоспособности и эффективности основанных на интервально-лингвистическом подходе методов оперативного контроля и прогнозирования состояния техногенного объекта в процессе его функционирования;

- результаты практического применения разработанных методов, алгоритмов и программ.

**Публикации.** По теме диссертации опубликовано 103 печатные работы, в том числе 2 монографии, 23 статьи из Перечня ВАК, 15 статей в других изданиях. Результаты исследований нашли отражение в 4 отчётах о НИР. На объекты интеллектуальной собственности получено 2 патента, 5 свидетельств о регистрации программ.

**Личный вклад автора.** Все основные научные результаты, выносимые на защиту и составляющие основное содержание диссертации, получены автором самостоятельно. В работах, опубликованных в соавторстве, личный вклад автора состоит в следующем. В публикациях [1, 2, 10, 13, 20, 21, 23, 24, 27, 28, 30, 36, 42, 52] автору принадлежат основные теоретические результаты и методы решения поставленных задач; в работах [12, 16, 17, 33, 35, 54, 55] автором сформулированы задачи, определены способы их решения, выбраны методы исследования; работы [11, 22, 26, 31, 41, 46] посвящены конкретизации разработанных методов и моделей для актуальных прикладных задач. Экспериментальные исследования выполнялись под руководством автора или лично.

Под руководством автора в 2011 г. аспирантом Бочкарёвой Е.В. успешно защищена и утверждена ВАК диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по тематике, связанной с моделированием систем распределенного технологического мониторинга.

**Структура и объем работы.** Диссертация состоит из введения, 6 глав, заключения и списка литературы. Всего в работе 419 страниц, 1

приложение, 109 рисунков и 10 таблиц. Список источников включает 407 наименований.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** обосновывается актуальность, научная новизна, теоретическая и практическая ценность диссертации, определяются цель и задачи работы.

**Первая глава** диссертационной работы посвящена анализу нештатных ситуаций на техногенных объектах и существующих методов их идентификации в системах оперативного контроля. Характеристики НС ТО классифицированы по источнику возникновения (природные, техногенные, антропогенные, кибернетические); последствиям (наличие роста риска, масштаб, потери); сложности ликвидации и возможности прогнозирования (непредсказуемые; предсказуемые: детерминистские, вероятностные и гибридные).

Рассмотрены современные методы исследования, моделирования и прогнозирования рисков и НС в сложных технических системах, базирующиеся на представлениях теории катастроф, а также на детерминистском, вероятностном, гибридном подходах. Недостатками вероятностного подхода является необходимость рассмотрения представительной выборки данных с целью практического вычисления параметров статистических распределений. Теория катастроф рассматривает поведение сложных динамических систем, допускающих скачкообразные изменения своих состояний, с позиций теории особенностей гладких отображений и теории бифуркаций. Согласно теории особенностей, нормальному и нештатному функционированию сложной системы соответствуют различные поверхности в фазовом пространстве отображений, анализ вида которых позволяет судить о состоянии объекта контроля. Для динамических систем поведение фазовых поверхностей описывается с помощью системы нелинейных дифференциальных уравнений, однако при оперативном контроле НС наблюдаемые процессы не всегда адекватно описываются системой ДУ, при этом задача прогнозирования в реальном времени в теории катастроф не ставится. Наиболее перспективным является гибридный подход к исследованию НС в СОКТО, использующий теоретические положения из различных областей знаний и адаптированный к решаемым задачам математический аппарат, обуславливающий нестандартность алгоритмических решений.

Анализ возможностей идентификации НС, требующих реакции оператора, в подсистемах алармов промышленных SCADA-систем (Supervisory Control and Data Acquisition Systems) показал, что они яв-

ляются ограниченными в силу реализации только незначительного количества жестко «зашитых» в систему алгоритмов. Для ускорения и повышения надежности оперативного контроля требуется развивать гибридные математические и интеллектуальные методы обработки сигналов, приемлемые для ранней идентификации НС. Проведенный анализ существующих подходов к моделированию, идентификации и прогнозирования НС в СОКТО показал, что наиболее распространены экспертный в сочетании с нечетко-вероятностным, нейросетевой и фреймовый подходы. Однако их недостатками являются отсутствие возможности выявления и анализа темпоральных закономерностей в регистрируемых сигналах, невозможность прогнозирования НС в режиме реального времени при условии инвариантности базового алгоритмического обеспечения СОКТО. Тенденция стремления к гибридации методов идентификации НС в СОКТО прослеживается, однако все разработки являются разрозненными, использующими одну-две парадигмы интеллектуального автоматизированного анализа информационных сигналов.

Основой диагностики состояния объекта в СОКТО должен быть гибридный подход, сочетающий приемы различных математических и интеллектуальных методологий обработки информативных сигналов и прогнозирования их динамики в условиях неопределенности и нестационарности сопровождающих контролируемые процессы шумов и помех.

**Во второй главе** описывается интервальный метод формирования и анализа  $\epsilon$ -областей в пространстве параметров модельных функций при наличии слоя неопределенности для информативных сигналов, зависящих от случайных факторов, которые не могут быть заданы аналитически как функция времени.

Учет априорной неопределенности при обработке сигналов рассмотрен в интервальном анализе, однако его методы предполагают наличие аналитической зависимости между выходными, входными переменными и параметрами. Известен метод  $\epsilon$ -слоя нахождения интервальной оценки потенциальной точности измерительных преобразователей, однако этот метод дает завышенные значения для интервальных оценок, его модель не позволяет сузить интервал неопределенности, невозможно находить интервальную оценку по конкретной реализации сигнала. Для устранения этих недостатков на основе модели  $\epsilon$ -слоя был разработан метод нахождения области допустимых значений параметров сигнала в пространстве параметров по его реализации.

Будем считать, что сигнал является в общем случае функцией пространственно-временных координат  $\mathbf{r}^T=(x,y,z,t)$  и вектора параметров  $\boldsymbol{\lambda}$ . Область координат разбита на множество доменов  $DM=\{dm_q\}$ ,  $|DM|=Q$ , в каждом из которых сигнал характеризуется своей моделью поведения. Пусть с учетом погрешностей измерений и влияния случайных факторов модель реального сигнала в каждом домене  $q$  имеет вид  $Y(r,\boldsymbol{\lambda})=E_{m_q}(r,\boldsymbol{\lambda})+\Phi_q(r)$ , где  $Y(r,\boldsymbol{\lambda})$  - наблюдаемая реализация сигнала,  $E_{m_q}(r,\boldsymbol{\lambda})$  - определенная с точностью до параметров модельная функция, описывающая сигнал, с номером типа  $m$  из группы функций  $\{E_m(r,\boldsymbol{\lambda})\}$ ,  $m \in \{0,1,\dots,N\}$ ,  $\Phi_q(r)$  - функция сопровождения, аналитический вид которой неизвестен, однако область ее значений ограничена в силу ограниченности амплитуды реального сигнала. Рассмотрим случай, когда область значений функции сопровождения принадлежит интервалу  $[-\varepsilon_0^-, \varepsilon_0^+]$ , где  $\varepsilon_0^-, \varepsilon_0^+$  - неотрицательные величины, для которых выполняются соотношения  $|\varepsilon_0^-| \ll |E_{m_q}(r,\boldsymbol{\lambda})|$ ,  $|\varepsilon_0^+| \ll |E_{m_q}(r,\boldsymbol{\lambda})|$ . Основным требованием к модельной функции является непрерывность и простота вычисления в реальном времени на устройстве с ограниченными вычислительными возможностями.

Предложены два способа формирования области интервальных оценок в  $\boldsymbol{\lambda}$ -пространстве параметров, отличающихся наличием и отсутствием фиксации интервала наблюдений. Приведен алгоритм интервального оценивания параметров сигнала для фиксированного интервала наблюдений, ширина которого зависит от физики наблюдаемого процесса, шага дискретизации, типа модельной функции. Рассмотрен расчет верхней и нижней границ области допустимых значений интервальных оценок параметров линейной модельной функции, оценена адекватность расчета параметров.

При отсутствии фиксации интервала наблюдений нахождение интервальных оценок параметров  $\boldsymbol{\lambda}$  реализуется как итерационная процедура. На каждой итерации уточняются вычисленные по реализации сигнала границы  $\varepsilon$ -области  $\Lambda$  допустимых значений интервальных оценок в пространстве параметров, в общем случае представляющей собой гиперпараллелепипед, и  $\varepsilon$ -область сравнивается с областью значений параметров, соответствующих либо НС на ТО, либо его штатному состоянию. Определение области  $\Lambda$  осуществляется в соответствии с типом модельной функции.

Для простоты изложения метода рассмотрим линейную модельную функцию  $E_1(r, \lambda) = \lambda_1 \cdot r + \lambda_0$ , где вектор  $\mathbf{r}$  содержит только временную компоненту  $t$ . На первой итерации метода по реализации сигнала в точках  $r=0$  и  $r=dr$  с учетом области значений функции сопровождения вычисляется интервал для параметра  $\lambda_0$ , при этом верхняя и нижняя границы оценки параметра  $\lambda_0$  равны  $\hat{\lambda}_0^{\max 1} = Y(0, \lambda) + \varepsilon_0^-$ ,  $\hat{\lambda}_0^{\min 1} = Y(0, \lambda) - \varepsilon_0^+$ . Цифра в верхнем индексе параметра соответствует номеру итерации алгоритма. Оценки верхней и нижней границ параметра  $\lambda_1$  зависят от значений параметра  $\lambda_0$ , поэтому оценки параметра

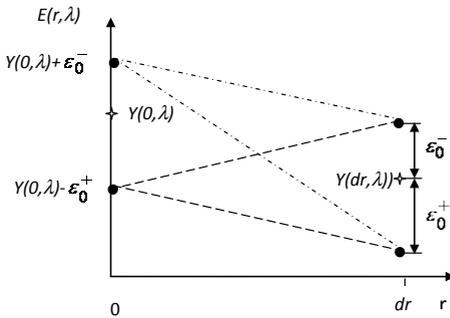


Рис. 1. Оценка параметров модельной функции  $E_1(r, \lambda)$  на 1 итерации метода  $\varepsilon$ -областей

$\lambda_1$  вычисляются в точках, где параметр  $\lambda_0$  принимает минимально и максимально возможные значения (рис. 1).

Вычисленные на первой итерации работы алгоритма интервальные оценки параметров формируют в  $\lambda$ -пространстве  $\varepsilon$ -область  $OE_1$ , которая сначала будет являться результирующей областью  $OR$  допустимых значений

параметров. На последующих шагах алгоритма по реализации сигнала в точках  $r=i \cdot dr$  и  $r=(i+1) \cdot dr$  для итерации с номером  $i \geq 1$  по формулам (1) вычисляются нижняя и верхняя границы оценок  $\hat{\lambda}_0^{\min i+1}$  и  $\hat{\lambda}_0^{\max i+1}$  параметра  $\lambda_0$ , а также нижние и верхние границы оценок параметра  $\lambda_1$  для различных значений параметра  $\lambda_0$ :

$$\begin{aligned} \hat{\lambda}_0^{\max i+1} &= Y(i \cdot dr, \lambda) + \varepsilon_0^-, \quad \hat{\lambda}_0^{\min i+1} = Y(i \cdot dr, \lambda) - \varepsilon_0^+, \\ \hat{\lambda}_1^{\min i+1} \Big|_{\hat{\lambda}_0^{\max i+1}} &= \frac{Y((i+1) \cdot dr, \lambda) - Y(i \cdot dr, \lambda) - \text{wid}[-\varepsilon_0^-, \varepsilon_0^+]}{dr}, \\ \hat{\lambda}_1^{\max i+1} \Big|_{\hat{\lambda}_0^{\max i+1}} &= \hat{\lambda}_1^{\min i+1} \Big|_{\hat{\lambda}_0^{\min i+1}} = \frac{Y((i+1) \cdot dr, \lambda) - Y(i \cdot dr, \lambda)}{dr}, \\ \hat{\lambda}_1^{\max i+1} \Big|_{\hat{\lambda}_0^{\min i+1}} &= \frac{Y((i+1) \cdot dr, \lambda) - Y(i \cdot dr, \lambda) + \text{wid}[-\varepsilon_0^-, \varepsilon_0^+]}{dr}. \end{aligned} \quad (1)$$

Вычисленные по (1) значения являются координатами вершин  $\varepsilon$ -области  $OE_{i+1}$  в  $\lambda$ -пространстве. Для формирования результирующей  $\varepsilon$ -области  $OR$  на каждой итерации необходимо определять пересечение текущей области  $OR$ , сформированной по истории реализации сигнала, и  $\varepsilon$ -области  $OE'_{i+1}$ , координаты вершин которой получены из координат вершин  $\varepsilon$ -области  $OE_{i+1}$  путем переноса начала координат из точки  $(i*dr, 0)$  в точку  $(0, 0)$ . В общем случае задача определения результирующей  $\varepsilon$ -области  $OR$  сводится к задаче определения ее границ после пересечения текущей  $\varepsilon$ -области  $OR$  и  $\varepsilon$ -области  $OE'_{i+1}$ . На каждой итерации происходит уменьшение площади результирующей  $\varepsilon$ -области, что соответствует уточнению интервальных оценок параметров модельной функции и снижению неопределенности по мере появления информации об очередных отчетах реализации контролируемого сигнала. Показана применимость метода  $\varepsilon$ -областей для полиномиальной и экспоненциальной модельных функций. Вид  $\varepsilon$ -областей в  $\lambda$ -пространстве при условии нормирования граничных значений параметров  $\lambda_0$ ,  $\lambda_1$  и  $\lambda_2$  относительно верхних границ их интервалов неопределенности приведен на рис. 2.

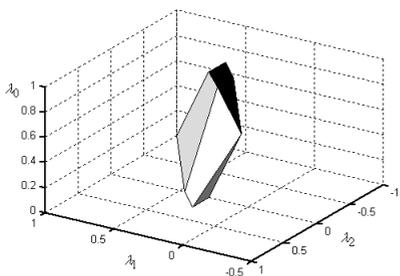


Рис. 2.  $\varepsilon$ -область значений параметров полиномиальной модельной функции

Предложено усовершенствование метода путем наложения дополнительных ограничений на скорость изменения функции сопровождения  $\Phi_q(r)$ . Результаты расчетов для различных скоростей изменения функции сопровождения и различной динамики наблюдаемой реализации сигнала показывают, что наложение ограничений на производную функции сопровождения позволяет на каждой итерации метода сужать  $\varepsilon$ -область допустимых значений параметров модельной функции, что свидетельствует о повышении точности оценивания.

В общем случае на каждом шаге наблюдения можно считать, что  $\varepsilon$ -область представляет собой гиперпараллелепипед, размеры которого по каждой координате определяются максимальным диапазоном изменения соответствующего параметра. На основании данных измерений  $\varepsilon$ -область модифицируется путем построения гиперплоскостей, прохо-

дящих через его грани. Тогда на каждом шаге будет осуществляться уменьшение размеров гиперпараллелепипеда, что позволяет унифицировать алгоритм нахождения пересечения  $\varepsilon$ -областей, сделав его мало зависящим от типа модельной функции. Если область неопределенности в  $\lambda$ -пространстве не сжимается, значит, модельная функция выбрана правильно и пересмотр ее параметров не требуется.

Рассмотрен алгоритм online-идентификации состояния объекта по реализации сигнала с применением метода  $\varepsilon$ -областей, выделены два возможных подхода к идентификации НС:

1. Если для домена  $dm_q$  на итерации  $i+1$  пересечение области  $OR$  и текущей области  $OE'_{i+1}$  в  $\lambda$ -пространстве представляет собой пустое множество, то это означает, что вычисленные на данной итерации по реализации сигнала интервальные оценки параметров модельной функции либо не соответствуют типу этой функции, либо свидетельствуют о резком изменении характеристик информационного сигнала, например, скорости возрастания его амплитуды.

2. Если для домена  $dm_q$  на итерации  $i+1$  пересечение области  $OR$  и текущей области  $OE'_{i+1}$  в  $\lambda$ -пространстве не пусто, то сформированная область  $\Lambda$  характеризует текущее состояние объекта контроля.

Для  $\lambda$ -пространства можно задать множество областей  $Os=\{os_i\}$ ,  $i=1,\dots,K_{\text{об}}$ , соответствующих для модельной функции домена различным состояниям объекта контроля, включая НС на объекте. Тогда наличие непустого пересечения в  $\lambda$ -пространстве области  $\Lambda$  с областью  $os_i$  позволит идентифицировать текущее состояние объекта контроля. При этом степень достоверности идентификации  $P_{\text{ид}}$  текущего состояния объекта контроля вычисляется путем нахождения соотношения размеров в  $\lambda$ -пространстве гиперпараллелепипеда  $\text{Common}=os_i \cap \Lambda$  и области  $\Lambda$ :

$$P_{\text{ид}} = \frac{V_{\text{Common}}}{V_{\Lambda}} \cdot 100\%,$$

где  $V_{\text{Common}}$  - размер гиперпараллелепипеда, образованного пересечением в  $\lambda$ -пространстве области  $\Lambda$  допустимых оценок параметров модельной функции домена и области  $os_i$ , соответствующей некоторому состоянию  $i$  для текущего домена. Для двух измерений  $\lambda$ -пространства в качестве размера фигуры используется ее площадь, для трех измерений - объем;  $V_{\Lambda}$  - размер области  $\Lambda$ .

Очевидно, что для нештатных ситуаций, угрожающих жизни и здоровью людей, значимым является любое отличное от нуля значение  $P_{\text{ид}}$ . Рассмотрено практическое применение метода  $\varepsilon$ -областей для

идентификации событий и нештатных ситуаций, связанных с потреблением энергоресурсов в помещениях здания. Например, наличие непустого пересечения результирующей  $\varepsilon$ -области и области, соответствующей НС, позволяет идентифицировать НС в теплоснабжении помещения, связанную с открытием окна (рис. 3).

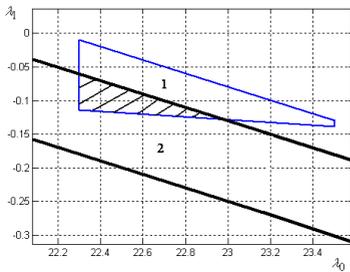


Рис. 3. Результирующая  $\varepsilon$ -область в  $\lambda$ -пространстве (1) и область, соответствующая НС при нарушении целостности внешнего ограждения помещения (2)

**Третья глава** посвящена рассмотрению интервально - лингвистического подхода к идентификации и прогнозированию состояния ТО в системах оперативного контроля.

Введено понятие многомерного прогнозирующего паттерна динамики изменения информативных сигналов, описываемых в СОКТО группой временных рядов (ВР)  $Y_i, i=1, \dots, Q$ . Многомерный паттерн представляет собой набор следующих компонентов:

$$Pat = \langle \mathbf{B}, \Psi_B, \mathbf{D}_B, \mathbf{A}, \Psi_A, \mathbf{D}_A, \mathbf{DP}, R \rangle,$$

где  $\mathbf{B}$  – матрица – шаблон;  $\Psi_B$  – множество вычислительных процедур (ВП), переводящих отсчеты ВР в элементы матрицы  $\mathbf{B}'$ , используемой для сопоставления с  $\mathbf{B}$ ;  $\mathbf{A}$  – прогнозирующая матрица, описывающая поведение контролируемого объекта после текущего момента времени;  $\Psi_A$  – множество ВП, формирующих элементы  $\mathbf{A}$  либо из отсчетов ВР, либо из элементов  $\mathbf{B}'$ ;  $\mathbf{D}_B$  и  $\mathbf{D}_A$  – дескрипторы, описывающие процессы преобразований ВР в  $\mathbf{B}'$  и  $\mathbf{B}'$  в  $\mathbf{A}$  посредством  $\Psi_B$  и  $\Psi_A$ ;  $\mathbf{DP}$  – дескриптор паттерна;  $R$  – маркер паттерна, ставящий в соответствие паттерну элемент из множества возможных состояний контролируемого объекта. Все состояния ТО разбиты на три группы: штатное ( $S$ -маркер), критическое ( $K$ -маркер) и нештатное ( $NS$ -маркер).

Тип элементов  $\mathbf{B}$  может быть логическим, перечисляемым, структурным, лингвистическим, числовым, неопределенным. В дескрипторе  $\mathbf{D}_B$  указываются: идентификатор ВП из множества  $\Psi_B$ , используемой для вычисления по отсчетам исходных ВР значений  $\mathbf{B}'$ ; список исходных оцифрованных сигналов, передаваемых в ВП в качестве параметров; весовые коэффициенты для строк шаблона; тип критерия оценки величины ошибки идентификации; значение параметров, характеризующих указанный критерий. В дескрипторе  $\mathbf{D}_A$  указываются: способ

вычисления элементов  $A$ ; идентификатор ВП из множества  $\Psi_A$ ; список передаваемых в ВП номеров рядов исходных оцифрованных сигналов или номеров строк  $B'$ . Дескриптор паттерна  $DP$  описывает: тип критерия, используемого для принятия решения о соответствии паттерна фактической динамике состояний объекта контроля; числовые значения параметров, характеризующих критерий принятия решения, например, величина порогового значения допустимой нормированной ошибки сравнения; минимальный интервал выборки отсчетов в анализируемой группе ВР. В алгоритмах идентификации этот параметр может не участвовать, однако его введение позволяет «привязать» паттерн к реальному масштабу времени и синхронизировать его с потоком входных данных при реализации в системах онлайн-обработки информации. Также дескриптор паттерна характеризует свойства временного домена, которому соответствует паттерн, а именно временные границы домена, тип модельной функции, описывающей характеризующий ВР тренд на данном временном промежутке, параметры границ  $\varepsilon$  – слоя, в пределах которого может находиться модельная функция.

Укрупненный алгоритм идентификации и прогнозирования с применением интервально-лингвистического подхода включает в себя следующие шаги.

1. Получение информационных сигналов с первичных измерительных преобразователей, либо иных источников информации о контролируемом объекте или процессе и формирование системы ВР.

2. Выбор из базы очередного паттерна (с S-маркером – в последнюю очередь).

3. Вычисление элементов  $B'$  в соответствии с правилами, задаваемыми в  $D_B$  с применением ВП из  $\Psi_B$ .

4. Нахождение степени отличия матрицы – шаблона  $B$  от  $B'$ .

5. Если степень соответствия шаблона высока (отличия ниже заданного в дескрипторе  $DP$  порогового значения), и маркер паттерна соответствует НС, сформировать сигнал тревоги, передать информационное сообщение оператору системы и принять иные меры по прекращению развития НС. Если обнаружен паттерн с K-маркером, то уточнить прогноз НС путем выполнения следующих действий:

- а) вычислить с помощью параболической экстраполяции числовое значение прогнозируемого параметра сигнала;

- б) считая экстраполированное значение реальным наблюдаемым значением, с учетом ограничений на скорость изменения функции сопровождения вычислить  $\varepsilon$ -область совместных интервальных оценок

параметров модельной функции, тип которой соответствует домену с номером, указанным в векторе  $DP$ ;

в) если  $\epsilon$ -область имеет пересечение с областью интервальных значений параметров, соответствующих НС, или в случае, когда наблюдается несоответствие динамики наблюдаемых значений типу модельной функции, сообщить оператору о прогнозируемой НС.

6. Сохранить в стековой памяти маркер паттерна, степень соответствия исходных данных этому маркеру, и величину ее порогового значения. Если в базе данных паттернов имеются еще не предъявленные для сравнения паттерны, перейти к шагу 2.

7. Если система может одновременно иметь несколько идентифицируемых состояний, выбрать из стековой памяти все состояния, у которых степень соответствия удовлетворяет заданному критерию. В противном случае выбрать из стека единственное состояние, у которого степень соответствия максимальна и именно его принять за истинное состояние.

8. Если несколько элементов стека имеют превышающую заданный критерий степень соответствия (когда допустимо лишь единственное состояние), либо же ни один из элементов не удовлетворяет критерию соответствия, сформировать сообщение о необходимости модификации базы паттернов.

Установление степени соответствия анализируемой ситуации паттерну осуществляется следующим образом:

1. Находим в нормированном виде степень расхождения  $E_{ij}$  между элементами матриц  $B$  и  $B'$ , вычисления зависят от типа элементов. Так, если  $b_{ij}$  имеет null – значение, полагаем  $E_{ij} = 0$ . Если  $b_{ij}$  имеет числовой тип, то  $E_{ij} = 2 \cdot |b_{ij} - b'_{ij}| / (|b_{ij}| + |b'_{ij}|)$ . Если при этом знаменатель выражения обращается в нуль, то полагаем  $E_{ij} = 0$ . Если  $b_{ij}$  представляет собой терм некоторой лингвистической переменной, то  $E_{ij} = 2 \cdot \text{mod}(r(b_{ij}) - r(b'_{ij})) / (\text{mod}(r(b_{ij})) + \text{mod}(r(b'_{ij})))$ . Здесь функция  $\text{mod}$  возвращает длину радиус-вектора; функция  $r$  возвращает соответствующий терму радиус-вектор точки в пространстве – универсуме, на котором задана функция принадлежности терма лингвистической переменной.

2. Вычисляется степень расхождения  $Er_i$  в целом по ряду:

$$Er_i = \frac{1}{N^*} \sum_{j=1}^N E_{ij}, \text{ где } N^* \text{ - количество отличных от null элементов } B.$$

3. Если величина  $Er_i$  превышает заданное дескриптором  $D_B$  пороговое значение, паттерн не соответствует наблюдаемым сигналам, дальнейшие вычисления можно прекратить.

4. После нахождения значений  $Er_i$  для всех строк матриц  $B$  и  $B'$  находится средневзвешенное значение итоговой степени несоответст-

вия  $Er$  в целом по паттерну по формуле:  $Er = (\sum_{i=1}^M W_i * Er_i) / \sum_{i=1}^M W_i$ , где  $W_i$  - весовые коэффициенты.

5. Если величина  $Er$  не превышает порог, предъявленный для идентификации паттерн считаем соответствующим наблюдаемому процессу и для оценки генеза состояния ТО можно использовать прогнозирующую матрицу  $A$ .

В качестве критерия адекватности паттерна можно использовать среднюю относительную ошибку идентификации состояния контролируемого объекта:  $P_{err} = N_{err1} / N_{01} + N_{err2} / N_{02}$ , где  $N_{01}$ ,  $N_{02}$  – общее количество реализаций входных сигналов в серии экспериментов, которые соответствуют и не соответствуют шаблону паттерна и должны были быть идентифицированы им;  $N_{err1}$  – количество ошибок первого рода, когда паттерн не идентифицирует описываемую им ситуацию, хотя она имеет место в конкретной анализируемой реализации входных сигналов (пропуск цели);  $N_{err2}$  – количество ошибок второго рода, когда паттерн идентифицирует описываемую им ситуацию, хотя на самом деле конкретная анализируемая реализация входных сигналов соответствует иной ситуации (ложная тревога). Приведенные усредненные ошибки прогнозирования  $i$ -го параметра контролируемого процесса на  $j$ -м шаге могут быть найдены из выражения  $\delta_{ij} = \Delta_{ij} / D_i$ , где  $\Delta_{ij}$  – абсолютная усредненная ошибка прогнозирования  $i$ -го параметра,  $D_i$  – диапазон его возможного изменения.

Наличие средств для оценки достоверности выполненной идентификации и нахождения ошибок прогнозирования позволяет создать автоматизированную систему, способную повышать точность идентификации и прогноза непосредственно в процессе работы. Архитектура СОКТО на базе интервально-лингвистического подхода показана на рис. 4. Использование паттернов в СОКТО позволяет отказаться от постоянной корректировки ее алгоритмов и программного обеспечения в связи с изменениями условий функционирования ТО, заменив эти операции уточнением значений элементов матрицы - шаблона паттерна, либо добавлением новых шаблонов. Элементы интервального анализа позволяют повысить надежность идентификации НС, причем их применение только для паттернов с К-маркерами ускоряет анализ информации с датчиков и контроллеров.

Многомерные паттерны эффективны, когда число идентифицируемых состояний ТО невелико, а входные сигналы имеют достаточно жесткую структуру. Иначе необходимо использовать гибридно-лингвистические паттерны, основанные на применении темпоральной логики в сочетании с

лингвистическим подходом. В их основе лежит выявление закономерностей в динамике состояния ТО с последующим их формальным описанием и применением такого описания для анализа реальных данных с формированием численного критерия соответствия.

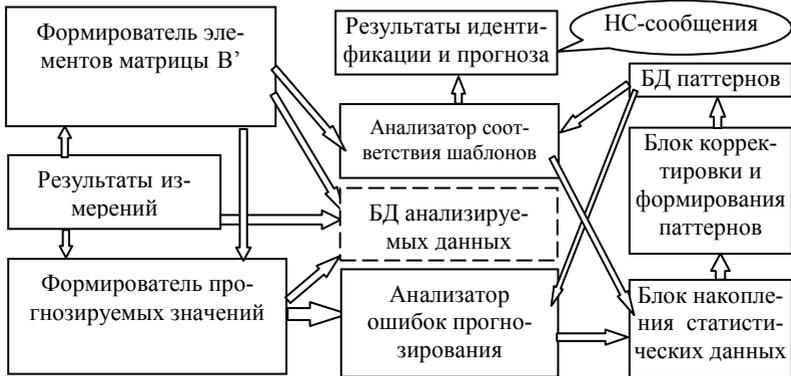


Рис. 4 – Архитектура СОКТО на базе интервально-лингвистического подхода

Для описания и проверки наличия закономерностей в динамике изменения состояния ТО разработан специализированный язык, интерпретация конструкций которого выполняется в блоке формирования паттернов. ГЛП оперирует с универсальной матрицей  $\mathbf{B}_0$ , содержащей как исходные ВР, так и все требуемые для идентификации результаты их предварительной обработки с применением единого универсального множества вычислительных процедур  $\Psi_0$ . Набор математических объектов, необходимых для применения гибридно-лингвистического метода прогнозирования и идентификации состояния ТО включает:

1. Набор входных и общих данных:  $S_{in} = \{X, \mathbf{B}_0, \Psi_0, \mathbf{D}_{B0}, S_P, S_L\}$ , где  $X$  – система описывающих входные сигналы ВР;  $\mathbf{B}_0$  – универсальная входная матрица;  $\Psi_0$  – множество ВП;  $\mathbf{D}_{B0}$  – дескриптор, описывающий правила формирования  $\mathbf{B}_0$ ;  $S_P$  и  $S_L$  – множества микросостояний и итоговых состояний объекта контроля;

2. Множество паттернов поведения  $\{P\}$ , предназначенных для идентификации и прогнозирования микросостояний объекта контроля:  $P = \langle \mathbf{B}, \mathbf{D}_B, A, \Psi_A, \mathbf{D}_A, \mathbf{D}P, R \rangle$ .

3. Множество предназначенных для идентификации итоговых состояний объекта контроля гибридно-лингвистических паттернов  $\{P_L\}$ :  $P_L = \langle \mathbf{D}_{LB}, \Psi_L, A_L \rangle$ , где  $\mathbf{D}_{LB}$  – дескриптор выборки паттернов из множества  $\{P_L\}$ ;  $\Psi_L$  – программный код, написанный в терминах разработан-

ного формального языка описания закономерностей в динамике состояний ТО и предназначенный для формирования векторов итоговых состояний системы, хранящихся в матрице  $A_L$ .

Один и тот же ГЛП позволяет одновременно идентифицировать несколько состояний ТО, так как конструкции ветвления и циклы в зависимости от сочетания и последовательности появления микросостояний обеспечивают формирование различных состояний контролируемого ТО. Исследование методов идентификации и прогнозирования состояния ТО, основанных на многомерных паттернах и ГЛП, осуществлялось с применением разработанной автором специализированной инструментальной программной среды.

Рассмотрено практическое применение интервально-лингвистического подхода для идентификации типа воздействий на заграждающие поверхности в акустических приборах охранной сигнализации. Проведен сравнительный анализ методов идентификации для приборов различных типов, различающихся аппаратной и программной реализациями. Установлено, что разработанный интервально-лингвистический метод существенно повышает надежность идентификации воздействий на заграждающую поверхность.

**В четвертой главе** рассмотрены требования к программно-техническому обеспечению СОКТО и способы его совершенствования с точки зрения повышения надежности и скорости идентификации НС.

Несмотря на высокую стабильность показаний однодиапазонных цифровых ПИП, их существенным недостатком является ограниченный динамический диапазон, в большинстве случаев не превышающий 60 дБ, что ограничивает область их возможного применения для выявления НС при контроле физических величин в более широком динамическом диапазоне, например, для идентификации НС в системе контроля потребления электроэнергии. В средствах измерений для перекрытия широкого диапазона изменения контролируемых величин с сохранением значения относительной погрешности обычно применяется несколько поддиапазонов, переключаемых вручную или автоматически. Очевидно, ручное переключение неприемлемо для систем автоматического контроля, системы же автоматического переключения, как правило, имеют недостаточно высокое быстродействие. В современных аппаратных средствах выбор поддиапазона осуществляется изменением коэффициента передачи во входных цепях измерительного устройства, фиксированные значения коэффициентов заданы в масштабирующем устройстве. Недостатком такого подхода является невозможность оперативного изменения коэффициентов в зависимости от уровня напряжения и отсутствие учета коэффициента передачи

масштабирующего устройства в выходном коде. Принцип расширения динамического диапазона и повышения быстродействия СОКТО реализован в разработанном АЦП с расширенным динамическим диапазоном с автоматическим выбором поддиапазона преобразования, позволяющим практически без дополнительных задержек преобразовать быстро меняющиеся величины в широком динамическом диапазоне при сохранении заданной относительной погрешности преобразования  $\delta_0$ . Коэффициенты передачи масштабирующего устройства АЦП устанавливаются в реальном масштабе времени в зависимости от уровня преобразуемого напряжения, а выходной код формируется в соответствии с установленным коэффициентом передачи. АЦП с расширенным динамическим диапазоном содержит масштабирующее устройство с фиксированным набором коэффициентов передачи,  $m$ -разрядное АЦП с фиксированным диапазоном, преобразователь кода, устройство выбора поддиапазонов, количество компараторов в котором на единицу меньше числа поддиапазонов. Относительная погрешность преобразования вычисляется по формуле  $\delta_0 = K/M$ , где  $M=2^m$  - число дискретных значений измеряемой величины  $X$ , регистрируемой  $m$ -разрядным АЦП,  $K = \sqrt[m]{X_{\max}/X_{\min}}$  - коэффициент перекрытия поддиапазонов. При проектировании приборов контроля, реализующих предложенную методику выбора границ поддиапазонов, улучшение технических характеристик устройства достигается путем повышения точности контроля в заданном диапазоне, что более актуально для идентификации НС.

Если во всем диапазоне изменения контролируемого параметра требуется сохранять постоянство не относительной, а абсолютной погрешности, то повысить точность измерения возможно за счет применения растровых методов контроля и линейной интерполяции значений амплитуд сигналов, снимаемых с ПИП.

При проектировании СОКТО актуально осуществление непрерывной самодиагностики ее компонентов и своевременного выявления возникающих «внутренних» НС. Применение для обмена информацией между ведущими и ведомыми устройствами системы, организованными с применением топологии «общая шина», веерного интерфейса, идея которого защищена патентом, позволяет при минимальном трафике обмена выявлять в линии НС, обеспечивая при этом непрерывный контроль всех подключенных к шине ведомых устройств. Основой веерного обмена является отказ от непосредственного указания адреса при циклическом последовательном опросе всех контроллеров технологическим компьютером (ТК) с учетом поддержки временных циклов обмена данными. Для этого каждому контроллеру (ведомому

устройству) для обмена данными с ТК (ведущим устройством) отводится определенный интервал, сам обмен ведущего устройства с ведомыми устройствами осуществляется циклами, общее число которых равно числу установленных в линии связи устройств. Совокупность всех циклов обмена ведущего устройства с ведомыми образует один кадр обмена. Для сокращения времени на адресацию адрес ведомого устройства в кадре определяется по количеству адресующих импульсов, генерируемых ведущим устройством в начале каждого цикла обмена. Ведомое устройство ведет подсчет количества адресующих импульсов, подтверждает совпадение с собственным адресом и переходит в режим цикла обмена данными. Тогда в каждом цикле только одно ведомое устройство будет переходить в режим обмена данными, а остальные ведомые устройства могут заниматься при этом решением других задач. Использование веерного алгоритма обмена данными позволяет в корне изменить идеологию работы программного обеспечения на интеллектуальных контроллерах СОКТО, и ускорить идентификацию НС, связанную с повреждениями каналов связи. Рассмотрены способы идентификации таких НС, как замыкание между собой двух и более проводников линии связи сети; обрыв линии связи сети; появление на проводнике напряжения, способного вывести из строя подключенные устройства; выход из строя ведомого устройства.

Для раннего распознавания НС при контроле температурных процессов важен научный подход к выбору количества и мест установки датчиков на ТО, в основу которого можно положить моделирование температурных изменений пространственными клеточными автоматами. Разработан лингвистический подход к заданию правил изменения вектора состояний клеток, результаты моделирования согласуются с известными исследованиями.

**Пятая глава** посвящена моделированию влияния на возникновение аппаратных и программных сбоев в СОКТО ее архитектуры и алгоритмов расчета диагностических параметров по информационным сигналам, получаемым с ТО.

Дано формальное определение комплексной имитационной АЕРФ (Agent – Event – Process – Function) модели процессов обработки сигналов в СОКТО, сочетающей агентный, событийный, процессный и функциональный подходы к моделированию. Ее компоненты включают взвешенный гиперграф (вершины – устройства СОКТО, ребра – каналы связи), каждой вершине которого сопоставлена система массового обслуживания (СМО), обслуживающая процессы получения и обработки сигналов, выполняемые функциями обработки. В общем случае функция задает отображение множества параметров процессов в СОКТО в множество состояний объекта контроля, подмножеством

которого является множество НС. Составляющие гиперграфа характеризуются производительностью, влияющей на временные задержки при обработке данных. АЕРФ-модель допускает использование и исследование пользовательских алгоритмов вычисления диагностических параметров, описанных на специализированном языке.

Разработано алгоритмическое и программное обеспечение среды моделирования на базе АЕРФ-подхода. Лингвистический метод задания пользовательских алгоритмов обработки сигналов удобен для тестирования применимости новых алгоритмов на устройствах с ограниченными вычислительными возможностями. Значительное время обработки данных на устройстве может вызывать временные задержки в СОКТО, что может привести к НС. Рассмотрены типы событий в АЕРФ-модели, соответствующие штатному функционированию СОКТО и возникновению НС.

Исследовано функционирование распределенной СОКТО в штатном режиме и при НС, включая программно-аппаратные сбои в самой системе. Исследованы различные топологии СОКТО, включающих три вида устройств – датчики, контроллеры и ТК. Для каждого вида устройств выбирались СМО с ожиданием или с отказами. На основе экспериментов с моделью установлено, что главным фактором, влияющим на средний коэффициент загрузки СОКТО, являются параметры СМО устройств, производящих первичную обработку данных. Исследования влияния временной сложности алгоритмов обработки сигналов в АЕРФ-модели на средний коэффициент загрузки системы подтвердили важность снижения сложности алгоритмов, разрабатываемых для PLC, для предотвращения сбоев в СОКТО. Приведены результаты практического тестирования АЕРФ-модели при исследовании загрузки устройств существующей и проектируемой СОКТО. Установлено, что относительная погрешность моделирования работы вычислительных устройств СОКТО не превышает 10-17%, причем максимальная относительная погрешность достигается в моменты синхронизации данных в устройствах реальной системы.

**Шестая глава** содержит описание практических разработок СОКТО, в ПТО которых использованы устройства, алгоритмы и методы, рассмотренные выше. Предложена обобщенная структурная схема СОКТО, обеспечивающая синхронное и достоверное хранение данных с высоким временным разрешением, рассмотрены особенности ПИП, PLC, телекоммуникационных модулей, поддерживающих работу с сетями, программного обеспечения PLC и ТК, включая ядро SCADA.

Описаны приборы собственной разработки, включая УЗ-анемометр, универсальные программируемые контроллеры для подключения MicroLAN, передачи данных в сети с использованием RS485

и Ethernet - интерфейсов, устройство, реализующее беспроводную связь по GSM-каналу с применением DTMF. Рассмотрены методы аппаратной и программной идентификации НС универсальным контроллером. Разработан эмулятор сигналов для тестирования алгоритмов выявления НС в электрических сетях.

Описана разработанная система оперативного контроля и коммерческого учета тепла на ТЭЦ, включая алгоритмы вычисления контролируемых параметров, примененные измерительные преобразователи. Приведен перечень контролируемых нештатных ситуаций, согласованные с заказчиком особенности их выделения и обработки.

Приведено описание разработанной автоматизированной распределенной системы оперативного контроля потребления энергоресурсов университетского кампуса. Рассмотрены функциональные возможности системы, ее программно-техническое обеспечение, приведен перечень нештатных и критических ситуаций.

Результаты апробации интервально-лингвистического метода идентификации и прогнозирования НС и разработанного ПТО для СОКТО свидетельствуют о повышении надежности систем оперативного контроля, разработанных для различных отраслей (энергетика, ЖКХ, хранение зерна).

Основные **ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ** диссертационной работы сводятся к следующему:

1. Выполнен анализ и осуществлена классификация характеристик НС на техногенных объектах, рассмотрены современные методы исследования, моделирования и прогнозирования рисков и НС в сложных технических системах. Показано, что для повышения эффективности и надежности оперативного контроля требуется развивать интеллектуальные методы обработки сигналов, предлагать комплексные решения, приемлемые для ранней онлайн-диагностики техногенного объекта.

2. Исследованы методы решения задачи учета некомпенсируемых погрешностей измерений, обусловленных наличием не подчиняющихся статистическим закономерностям шумов и помех, и показано, что модель сигнала, представленная в виде композиции многопараметрической квазидетерминированной компоненты и фиксированной на интервале измерения фоновой неоднородности обеспечивает расчет интервальных оценок параметров сигнала при близких к единице значениях доверительной вероятности. Разработан метод  $\epsilon$ -областей для расчета интервальных оценок параметров модельной функции по реализации сигнала при формировании слоя неопределенности за счет функции сопровождения, отличающийся тем, что он позволяет по ре-

лизации сигнала вычислять интервальные оценки параметров при условии ограниченности области значений функции сопровождения и скорости ее изменения.

3. Показано, что определенные в пространстве параметров  $\epsilon$ -области характеризуют состояние объекта контроля, рассмотрен алгоритм online-диагностики объекта по реализации сигнала с применением метода  $\epsilon$ -областей, сформулированы возможные подходы к идентификации НС. Приведены результаты практического применения метода  $\epsilon$ -областей для контроля потребления энергоресурсов в помещениях здания.

4. Исследованы существующие методы анализа и прогноза состояния объекта контроля и показано, что для применения в СОКТО перспективен именно гибридный подход, сочетающий методы, представления и алгоритмы, характерные для различных научных теорий. Как развитие нечетко-темпоральной модели идентификации и прогнозирования синтезирована интервально-лингвистическая модель диагностики и прогнозирования состояния техногенного объекта, основанная на выполненной формализации многомерных и гибридно-лингвистических паттернов поведения, позволяющих обобщить процесс непрерывной диагностики объекта контроля и осуществлять одновременное описание темпоральных закономерностей в информационных сигналах и их идентификацию в СОКТО.

5. Разработан общий алгоритм метода диагностики объекта контроля на основе применения многомерных и гибридно-лингвистических паттернов, предложена методика вычисления критериальной оценки адекватности паттерна данным измерений, метод апробирован для идентификации типов воздействий в приборах контроля для охранной сигнализации. Для реализации интервально-лингвистического метода разработана архитектура автоматизированной системы контроля. Метод оценки степени адекватности гибридно-лингвистического паттерна реальным данным измерений основан на независимом от архитектуры СОКТО описании и проверке закономерностей поведения и произвольного взаимовлияния параметров сигналов с учетом темпоральных аспектов.

6. Разработан ряд методов, обуславливающих совершенствование ПТО СОКТО с целью повышения скорости и надежности обработки сигналов и расширения функциональных возможностей СОКТО. Метод безинерционного переключения диапазонов измерения с постоянным коэффициентом перекрытия пределов измерения по каждому из диапазонов обеспечивает наблюдение контролируемой величины в широком динамическом диапазоне при ограниченных требованиях к относительной погрешности измерения. Растровый метод измерения с

интерполяцией наблюдаемых сигналов в пределах периода обеспечивает минимальную абсолютную погрешность в широком динамическом диапазоне. «Веерный» метод обмена информацией между ведущими и ведомыми устройствами системы с применением топологии «общая шина» обеспечивает непрерывную самодиагностику образующих ее компонентов и своевременное выявление возникающих внутри нее НС. Как иллюстрация возможностей лингвистического подхода к моделированию процессов на ТО рассмотрено его применение для мониторинга пространственно-временных изменений температурных полей в терминах клеточных автоматов.

7. Дано формальное определение комплексной имитационной АЕРФ-модели процессов обработки сигналов в СОКТО, сочетающей агентный, событийный, процессный и функциональный подходы к моделированию и позволяющей исследовать функционирование СОКТО при программных и аппаратных сбоях, обусловленных архитектурой СОКТО, параметрами компонентов и алгоритмами обработки информативных сигналов, получаемых с объекта контроля. Разработано алгоритмическое и программное обеспечение среды моделирования на базе АЕРФ-модели, исследовано функционирование распределенной СОКТО в штатном режиме и при НС, включая программно-аппаратные сбои в самой системе мониторинга. Выполнена апробация модели для распределенных СОКТО, показана ее адекватность реальным процессам.

8. Выполнена разработка приборов и программно-технического обеспечения для СОКТО, осуществлены апробация и внедрение приборов и методов контроля на предприятиях энергосистемы РФ, предприятиях хранения зерна, в автоматизированной системе оперативного контроля энергоресурсов университетского кампуса.

По теме диссертации опубликованы 103 работы, наиболее значимые из которых представлены ниже.

#### **Монографии:**

1. Сучкова, Л.И. Приборы и методы автоматического контроля на основе оптико-электронных интерполирующих растровых преобразователей [Текст]: монография / Л.И. Сучкова, А.Г. Якунин. - Барнаул, Алтайский дом печати, 2010. - 118 с.
2. Сучкова, Л.И. Идентификация воздействий в приборах охраны упреждающего типа [Текст]: монография / Л.И. Сучкова, И.А. Чумаков, А.Г. Якунин. – Deutschland, Saarbrücken, Palmarium Academic Publishing. – 2013. -181 с.

#### **Патенты на изобретение:**

3. Сучкова, Л.И. Способ последовательной адресации ведущим устройством ведомых устройств в сетях с шинной топологией с одним ведущим устройством сети и несколькими ведомыми устройствами. Патент на изобретение RU № 2284087 по заявке 2004132661, приоритет от 09.11.2004 / Л.И. Сучкова, А.Г. Якунин, Е.В. Гулидов. – М.: Роспатент, 2006. - Бюл. инф. № 26 от 20.09.2006.

4. Сучкова Л.И. Аналого-цифровой преобразователь с расширенным динамическим диапазоном. Патент на изобретение RU № 2485680 по заявке 2012100819, приоритет от 11.01.2012 / Л.И. Сучкова, А.Г. Якунин, А.В. Шолкин. – М.: Роспатент, 2013. - Бюл. инф. № 17 от 20.06.2013.

#### **Свидетельства о регистрации программ для ЭВМ:**

5. Сучкова, Л.И. Моделирование обработки данных в гетерогенных распределенных системах (DS Simulator). Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2010613965, заявка 2010611914, дата рег. 18.06.2010 / Е.В. Бочкарева, Л.И. Сучкова. - М.: Роспатент, 2010.

6. Сучкова Л.И. Построение прогнозирующих нечетких паттернов для группы регистрируемых в системах мониторинга сигналов (Detection Forecast Fuzzy Patterns). Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2012619879, заявка 2012617731, дата рег. 31.10.2012 / Л.И. Сучкова. -М.: Роспатент, 2012.

7. Сучкова Л.И. Эмулятор сигналов для тестирования устройств контроля качества электрической энергии (Signal Simulator for Control EEQ). Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2013616819, заявка 2013614591, дата рег. 23.07.2013 / Л.И. Сучкова. - М.: Роспатент, 2013.

8. Сучкова Л.И. Интерпретатор правил клеточных автоматов с неоднородностью клеток и векторным представлением состояний (КА-интерпретация). Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2009612464, заявка 2009611189, дата рег. 18.05.2009 / Л.И. Сучкова. - М.: Роспатент, 2009.

9. Сучкова Л.И. Исследование результатов обработки векторов состояний клеток в клеточных автоматах неоднородной структуры (КА-неоднородность). Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2009612467, заявка 2009611192, дата рег. 18.05.2009 / Л.И. Сучкова М.: Роспатент, 2009.

#### **Статьи в ведущих рецензируемых научных журналах и изданиях, определенных перечнем ВАК:**

10. Сучкова, Л.И. Применение модели  $\epsilon$ -слоя для повышения надежности синтеза и анализа контрольно-измерительных устройств [Текст] / Л.И. Сучкова, А.Н. Тушев, А.Г. Якунин // Надежность. № 2/2003. – С. 41-47.

11. Сучкова, Л.И. Система оперативного автоматизированного контроля потребления энергоресурсов и инструментальные средства ее реализации [Текст] / Л.И. Сучкова, А.Г. Якунин // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. № 2/2008. – С. 52-56.

12. Бочкарева, Е.В. Применение имитационного моделирования для исследования процесса обработки данных микроконтроллерными устройствами // [Текст] / Е.В. Бочкарева, **Л.И. Сучкова**, А.Г. Якунин // Научно-технические ведомости СПбГПУ. № 3, 2009, С.158-166.

13. Сучкова, Л.И., Разработка метода оперативного контроля и учёта потребления электроэнергии с расширенным динамическим диапазоном [Текст] / Л.И. Сучкова, А.Г. Якунин, А.В. Шолкин // Ползуновский вестник. № 1-2/2009. - С. 230-234.

14. Сучкова, Л.И. Клеточно-автоматный подход к моделированию динамики изменения температуры среды [Текст] / Л.И. Сучкова // Ползуновский вестник. № 1-2/2009. - С. 235-237.

15. Сучкова, Л.И. Пути совершенствования программно-технического обеспечения систем температурного контроля [Текст] / Л.И. Сучкова // Вестник ИжГТУ. № 1(45)/2010. - С. 102-105.

16. Бочкарева, Е.В. Обработка событий при имитационном моделировании работы распределенной вычислительной системы на основе принципов теории массового обслуживания [Текст] / Е.В. Бочкарева, **Л.И. Сучкова** // Вестник ИжГТУ. № 1(45)/2010. - С. 99-102.

17. Бочкарева, Е.В. Имитационное моделирование процессов сбора и обработки информации в распределенных вычислительных системах [Текст] / Е.В. Бочкарева, **Л.И. Сучкова**, А.И. Харламов, А.Г. Якунин // Ползуновский вестник. № 2/2010. - С.6-10.

18. Сучкова, Л.И. Программно-техническое обеспечение для оперативного контроля температурного режима гетерогенных сред [Текст] / Л.И. Сучкова // Ползуновский вестник. № 2/2010. - С.80-83.

19. Сучкова, Л.И. Модель оценки надежности выполнения информационных процессов в распределенных системах мониторинга [Текст] / Л.И. Сучкова // Надежность. № 4/2011. - С.34-41.

20. Сучкова, Л.И. Оценка параметров квазидетерминированных информативных сигналов методом  $\epsilon$ -слоя [Текст] / Л.И. Сучкова, А.Г. Якунин // Вестник Дагестанского ГТУ. Технические науки. № 4/2011. - С.11-22.

21. Сучкова, Л.И. Интервальный метод идентификации нештатных ситуаций в системах оперативного контроля [Текст] / Л.И. Сучкова, А.Г. Якунин // Глобальный научный потенциал. № 2(11)/2012. - С.72-74.

22. Сучкова, Л.И. Реализация прототипа системы контроля процессов жизнеобеспечения университетского кампуса [Текст] / Л.И. Сучкова, Р.В. Кунц, А.Г. Якунин // Вестник Кузбасского ГТУ. № 5/2012. - С.153-158.

23. Сучкова, Л.И. Моделирование нештатных ситуаций в распределенных системах технологического контроля [Текст] / Л.И. Сучкова, А.В. Юрченко // Контроль, диагностика. № 13/2012. - С.136-140.

24. Сучкова, Л.И. Особенности аппаратной реализации систем оперативного контроля энергоресурсов [Текст] / Л.И. Сучкова, А.Г. Якунин, А.В. Юрченко // Контроль, диагностика. № 13/2012.- С.153-157.

25. Сучкова, Л.И. Подход к прогнозированию нештатных ситуаций в системах мониторинга с использованием паттернов поведения группы временных рядов [Текст] / Л.И. Сучкова // Ползуновский вестник. 2013, № 2. – С.88-92.

26. Сучкова, Л.И. Проектирование и внедрение систем для климатического и технологического мониторинга [Текст] / Л.И. Сучкова, Х.М. Хуссейн, Р.В. Кунц, А.Г. Якунин // Известия АГУ. № 1/1/2013. - С.210-214.

27. Сучкова, Л.И. Гибридный подход к идентификации НС и их описанию в системах технологического контроля [Текст] / Л.И. Сучкова, А.Ж. Абденов // Научный вестник Новосибирского государственного технического университета. № 3(52)/2013. – С.78-83.

28. Сучкова, Л.И. Метод  $\epsilon$ -областей оценки состояния объекта контроля в линейном приближении модельной функции [Текст] / Л.И. Сучкова, А.Г. Якунин // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. № 2(28)/2013. – С.147-151.

29. Сучкова, Л.И. Алгоритмическое обеспечение мониторинга нештатных состояний объекта контроля на основе многомерных паттернов [Текст] / Л.И. Сучкова // Известия АГУ. – № 1/2/2013. – С. 118-122.

30. Сучкова, Л.И. Развитие метода  $\epsilon$ -слоя для нахождения интервальных оценок параметров квазидетерминированных процессов [Текст] / Л.И. Сучкова, А.Г. Якунин // Вестник Самарского ГУ (Естественнонаучная серия). № 9/2 (110)/2013. – С. 25-30.

31. Сучкова, Л.И. Многоточечная система дистанционного мониторинга пространственно-распределенных динамических процессов [Текст] / Л.И. Сучкова, Х.М. Хуссейн, Р.В. Кунц, М.А. Якунин, А.Г. Якунин, А.В. Юрченко // Контроль, диагностика. № 13/2013. - С. 95-101.

32. Сучкова, Л.И. Применение гибридно-лингвистических паттернов в системе мониторинга [Текст] / Л.И. Сучкова // Ползуновский вестник. № 2/2014. – С.41-47.

#### **Статьи в научных журналах и в сборниках материалов международных и всероссийских конференций:**

33. Сучкова, Л.И. Применение SCADA-систем для решения задач оперативного контроля и учета энергоресурсов [Текст] / Л.И. Сучкова, А.Г. Якунин // Вестник Алтайской науки. Эффективность и безопасность энергосбережения. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2004. – С.191-206.

34. Сучкова, Л.И. Об одном подходе к разработке интеллектуальных систем для решения задач контроля потребления энергоресурсов [Текст] / Л.И. Сучкова // Ползуновский альманах, № 4. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2006. – С. 63-64.

35. Шолкин, А.В. Совершенствование аппаратного обеспечения систем оперативного контроля и учета потребления электроэнергии [Текст] / А.В. Шолкин, **Л.И. Сучкова**, А.Г. Якунин // Ползуновский альманах, №2, 2010, С.112-116.

36. Сучкова, Л.И. Применение интервальных оценок в приборах и методах контроля

для выделения информационных параметров квазидетерминированных сигналов [Текст] / Л.И. Сучкова, А.Г. Якунин // Вестник Югорского государственного университета, Вып. 2(21)/2011. - С. 69-81.

37. Сучкова, Л.И. Оценка состояния объекта контроля методом  $\epsilon$ -областей [Текст] / Л.И. Сучкова // Международный научно-исследовательский журнал, № 3(10). Часть 1. - 2013. - С. 67-69.

38. Сучкова, Л.И. Веерный интерфейс взаимодействия устройств для распределенных систем и приборов контроля [Текст] / Л.И. Сучкова // Сборник материалов 4 Международной научно-практической конф. «Прогрессивные технологии развития». –Тамбов, Изд-во Тамбовпринт, 2007. - С.128-129.

39. Сучкова, Л.И. Архитектура автоматизированной многоуровневой системы контроля температурного режима [Текст] / Л.И. Сучкова // Материалы УШ Международной научно-технической конференции «Информационно-вычислительные технологии и их приложения». - Пенза, 2008. -С.294-296.

40. Сучкова, Л.И. Разработка аппаратно-программного обеспечения для оперативного контроля теплового режима [Текст] / Л.И. Сучкова // Материалы 5 Международной научно-практической конференции «Наука на рубеже тысячелетий»- Тамбов, 2008. - С.178-180.

41. Сучкова, Л.И. Аппаратное и программное обеспечение системы контроля потребления энергоресурсов университетского кампуса [Текст] / Л.И. Сучкова, А.Г. Якунин, О.И. Хомутов // Материалы конференции «Технические и программные средства систем управления, контроля и измерения». – М., Институт проблем управления, 2008.С.49-50.

42. Сучкова, Л.И. Прогнозирование нештатных ситуаций в системах контроля и управления на основе модели  $\epsilon$ -слоя [Текст] / Л.И. Сучкова, А.Г. Якунин // Материалы 10 Международной конференции «Измерение, контроль, информатизация». - Барнаул: АлтГТУ, 2009.- С. 103-105.

43. Сучкова, Л.И. Повышение надежности беспроводного транспорта информационных потоков в системах мониторинга [Текст] / Л.И. Сучкова // Материалы международной научно-практической конф. «Научные исследования и их практическое применение. Состояние и пути развития-2011.».Том 3. Технические науки. – Одесса: Черноморье, 2011.–С.35-37.

44. Сучкова, Л.И. Применение модели  $\epsilon$ -слоя в системах экстраполирующего мониторинга [Текст] / Л.И. Сучкова // Информационные технологии и математическое моделирование (ИТММ-2011): Материалы X всероссийской научно-практической конференции с международным участием (25-26 ноября 2011 г.). - Томск: Изд-во Том. ун-та, 2011. - Ч. 2. - С. 153-155.

45. Сучкова, Л.И. Программное обеспечение системы клеточно-автоматного моделирования изменений состояния температурного поля техногенных сооружений [Текст] / Л.И. Сучкова // Materiály VIII mezinárodní vědecko - praktická konference«Moderní vymoženosti vědy – 2012». - Díl 26.Moderní informační technologie: Praha. Publishing House «Education and Science» s.r.o - С.46-48.

46. Сучкова, Л.И. Применение систем температурного мониторинга для выявления нештатных ситуаций, связанных с потреблением энергоресурсов [Текст] / Л.И. Сучкова, А.Г. Якунин // Сборник научных трудов 2 Всероссийской научно-практической конференции "Научные и технические средства обеспечения энергосбережения и энергоэффективности в экономике РФ". - СПб.: Изд-во Политехнического института, 2012. - С.41-45.

47. Сучкова, Л.И. Идентификация закономерностей при анализе группы временных рядов в системах мониторинга [Текст] / Л.И. Сучкова // Сборник научных трудов по материалам Международной НПК Всероссийского общества изобретателей и рационализаторов 15.06.2012. - Липецк, 2012. - С.166-167.

48. Сучкова, Л.И. Прогнозирование контролируемых параметров в системах жизнеобеспечения техногенных объектов с применением паттернов поведения [Текст] / Л.И. Сучкова // Materiały УШ Międzynarodowej naukowo-praktycznej konferencji “Aktualne problemy nowoczesnych nauk-2012” Volume 43. Nowoczesne informatyczne technologie: Przemysl. Nauka i studia,2012. – str. 32-34.

49. Сучкова, Л.И. Инструментальная система для исследования паттернов поведения группы временных рядов в системах мониторинга [Текст] / Л.И. Сучкова // Материалы международной научно-практической конференции «Перспективные инновации в науке, образовании, производстве и транспорте'2012»- Выпуск 2, том 4. – Одесса, КУПРИЕНКО,2012. – С. 38-40.

50. Сучкова, Л.И. Паттерны поведения как алгоритмическая основа прогноза нештатных ситуаций на техногенных объектах [Текст] / Л.И. Сучкова // Международная научно-практическая конференция «Измерения: состояние, перспективы развития»,25-27 сент. 2012. – Челябинск, ЮУрГУ,2012. – Т.1. – С.227-229.

51. Сучкова Л.И. Оценка параметров линейной модельной функции методом  $\epsilon$ -областей [Текст] / Л.И. Сучкова // Материалы 14 Международной конференции «Измерение, контроль, информатизация». - Барнаул: АлтГТУ, 2013.- С.3-8.

52. Сучкова, Л.И. Нахождение интервальных оценок параметров квазидетерминированных процессов с применением модели  $\epsilon$ -слоя [Текст] / Л.И. Сучкова, А.Г. Якунин // Материалы Всероссийской научной конференции «Актуальные проблемы математики и механики»- Самара, 2013. – С. 151-153.

53. Сучкова, Л.И. Развитие метода  $\epsilon$ -слоя применительно к нахождению интервальных оценок параметров модельной функции [Текст] / Л.И. Сучкова // Материалы Международной НПК «Фундаментальная наука и технологии -перспективные разработки», 22-23 мая 2013. – М. – С. 197-199.

54. Сучкова, Л.И. Распределенная система мониторинга динамических процессов [Текст] / Л.И. Сучкова, Хуссейн Х.М., Р.В. Кунц, А.Г. Якунин, А.В. Юрченко // Материалы IV научно-практической конференции "Информационно-измерительная техника и технологии", 15-17 мая 2013 г., Томск, НИ ТПУ. -С.160-169.

55. Сучкова, Л.И. Программно-технические и алгоритмические решения для систем многоточечного климатического и экологического мониторинга [Текст] / Л.И. Сучкова, М.А. Якунин, Х.М. Хуссейн, А.Г. Якунин // Сборник трудов II Всероссийской с международным участием научно-практической конференции по инновациям в неразрушающем контроле Sib Test, 12-17 августа 2013. – Томск, НИ ТПУ. – С.185-195.

56. Suchkova, L.I. The Hybrid Approach to Identification of an Object State in Monitoring Systems /L.I. Suchkova // Science in the Modern Information Society III, Proceedings, Vol.2.North Charleston, USA, April 2014, p. 79-82

57. Suchkova, L.I. Estimation of Parametres of a Signal Modelling Function in its Linear Approximation by  $\epsilon$ -Areas Method /L.I. Suchkova // Fundamental Science and Technology – Promising Developments III, Proceedings, Vol.1.North Charleston, USA, April 2014, p. 116-119.

Сучкова Лариса Иннокентьевна  
авторреферат

---

Печать XEROX. Усл. печ. л. 1,86 . Уч.-изд. л. 1,73.

Заказ 879-14.Тираж 100 экз.

---



Национальный исследовательский Томский политехнический университет

Система менеджмента качества

Издательства Томского политехнического университета

сертифицирована в соответствии с требованиями ISO 9001:2008



---

**ИЗДАТЕЛЬСТВО**  **ТПУ**, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30  
Тел./факс: 8(3822)56-35-35, www.tpu.ru

---