

На правах рукописи



**Жукова
Наталья Александровна**

**МНОГОУРОВНЕВЫЙ СИНТЕЗ АВТОМАТНЫХ МОДЕЛЕЙ ОБЪЕКТОВ
МОНИТОРИНГА**

Специальность: 05.13.01 - Системный анализ, управление и обработка информации (технические системы)

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

Санкт-Петербург
2019

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Санкт-Петербургском институте информатики и автоматизации Российской академии наук (СПИИРАН)

Научный консультант: **Осипов Василий Юрьевич**, доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник, руководитель лаборатории информационно-вычислительных систем и технологий программирования Федерального государственного бюджетного учреждения науки Санкт-Петербургского института информатики и автоматизации Российской академии наук (СПИИРАН)

Официальные оппоненты: **Дегтярев Александр Борисович**, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры компьютерного моделирования и многопроцессорных систем Санкт-Петербургского государственного университета

Марлей Владимир Евгеньевич, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры вычислительных систем и информатики ФГБОУ ВО «Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова»

Страбыкин Дмитрий Алексеевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой электронных вычислительных машин ФГБОУ ВО «Вятский государственный университет» (ВятГУ)

Ведущая организация: федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский федеральный университет» (СФУ)

Защита диссертации состоится «12» марта 2020 г. в ____ часов на заседании Диссертационного совета Д.002.199.01, созданного на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Санкт-Петербургского института информатики и автоматизации Российской академии наук по адресу: 199178, Санкт-Петербург, 14 линия В.О., д. 39.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте Федерального государственного бюджетного учреждения науки Санкт-Петербургского института информатики и автоматизации Российской академии наук <http://www.spiras.nw.ru>

Автореферат разослан «__» _____ 20__ г.

Ученый секретарь
диссертационного совета Д.002.199.01
кандидат технических наук



А.А. Зайцева

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Объектами мониторинга могут являться технические, биологические, природные и другие объекты. В технической области средства мониторинга традиционно используются для наблюдения за специализированными объектами, например, объектами ракетно-космической, авиационной и другой техники. Моделирование этих объектов позволяет снизить вероятность возникновения ошибок при управлении, которые могут привести к необратимым негативным последствиям, срыву выполнения возлагаемых на объекты задач. Существенное внимание вопросам синтеза моделей объектов мониторинга также уделяется в области телекоммуникаций. За последние несколько лет телевизионные и другие сети вышли на новый уровень развития. Одновременно усложнились задачи мониторинга этих сетей и управления ими. За счет синтеза моделей телекоммуникационных сетей возможно обеспечить их надежную и безопасную работу. В области природных и биологических объектов синтез моделей объектов мониторинга может позволить избегать различных природных катастроф, гибели живых организмов.

Исходными данными для построения моделей объектов являются результаты измерений их параметров, а также данные о внешней среде. Объекты имеют многоуровневую структуру, изменяющуюся во времени. Их состояние и поведение, как правило, описываются в дискретном времени и дискретном пространстве состояний.

Применяемые в настоящее время методы построения моделей объектов мониторинга (ОМ) во многом не удовлетворяют требованиям практики. Из-за сложности подлежащих решению задач их построение требует существенных временных затрат, а также затрат людских и иных ресурсов. Кроме того, формируемые модели ОМ не всегда точны и достоверны. Таким образом, проблема построения моделей объектов мониторинга и их применения для решения прикладных задач является актуальной.

Для решения рассматриваемой проблемы требуется переход на качественно новый уровень построения моделей ОМ. С учетом многоуровневых изменяющихся структур наблюдаемых объектов, их описанием в дискретном времени и дискретном пространстве состояний необходимо наличие методов автоматического многоуровневого синтеза автоматных моделей ОМ

Степень разработанности темы. В настоящее время известен ряд методов, которые в той или иной мере применимы для построения моделей объектов мониторинга. Среди традиционных решений следует отметить методы моделирования сложных систем (Л.А.Растрин, Л. Берталанфи, А.И. Уемов, М. Месарович, Д. Клир), методы оптимального и адаптивного управления (А.А. Фельдбаум, А.Я. Лернер, Л.И. Розоноэр, А.Г. Бутковский, С.В. Емельянов, Я.З. Цыпкин, Б.Н. Петров, А.А. Красовский); методы на основе

идей традиционного искусственного интеллекта, ситуационного управления, связывания и трансформации данных (Д.А. Поспелов, С. Рассел, П. Норвиг, Г. Пятецкий-Шапиро, Е. Блаш, А. Штейнберг, В.К. Финн, С.А. Айвазян, В.Н. Вапник, А.С. Мандель, С. Малла, Н.Г. Загоруйко). К последним разработкам относятся модели и методы интеллектуального мониторинга, оценки их качества (Р.М. Юсупов, Б.В. Соколов, М.Ю. Охтилев), когнитивного поведения и управления знаниями, поиска и обработки информации (В.И. Городецкий, А.В. Смирнов, В.В. Александров, А.Л. Тулупьев). Непосредственно к автоматическому синтезу автоматных моделей объектов относятся работы Д.А. Робинсона, С. Чанга, Р. Ли, С.Ю. Маслова, У.Э. Х. Тыугу, С.Н. Баранова, В.Ю. Осипова.

Несмотря на то, что в последние годы в области синтеза моделей объектов мониторинга получены значительные результаты, они не лишены серьезных ограничений. Ограничениями являются высокие требования к входным данным, высокая сложность решаемых задач, необходимость значительного участия человека в процессе моделирования, не проработанность автоматического многоуровневого синтеза моделей объектов мониторинга.

Таким образом, можно утверждать, *что уровень развития теории синтеза во многом не удовлетворяет современным потребностям практики в построении моделей объектов мониторинга.*

Имеет место актуальная научная проблема разработки основ теории и методов многоуровневого автоматического синтеза автоматных моделей объектов мониторинга, отвечающих современным потребностям практики по снижению вычислительной сложности этого синтеза.

Цель работы: развитие теории многоуровневого автоматического синтеза моделей объектов мониторинга, кратно снижающей вычислительную сложность этого синтеза.

Для достижения поставленной цели были решены следующие **научные задачи:**

1. Анализ предметной области построения моделей наблюдаемых объектов по данным мониторинга их состояний. Постановка научной проблемы, определение требований к синтезируемым моделям и методам их синтеза.

2. Разработка основ теории многоуровневого автоматического синтеза автоматных моделей объектов мониторинга.

3. Разработка методов многоуровневого автоматического синтеза автоматных моделей объектов мониторинга.

4. Разработка методов многоуровневого автоматического синтеза автоматных моделей процессов и программ мониторинга для построения моделей объектов.

5. Разработка методов и моделей многоуровневой адаптивной трансформации данных мониторинга для построения моделей объектов.

6. Разработка методов и моделей разработки проблемно- и предметно - ориентированных систем построения моделей объектов по данным мониторинга.

7. Разработка системы методик построения моделей объектов по данным мониторинга для решения прикладных задач.

8. Апробация моделей, методов и методик автоматического синтеза автоматных моделей объектов мониторинга.

Объект исследования: системные связи, закономерности функционирования и развития объектов мониторинга.

Предмет исследования: методы и средства синтеза автоматных моделей объектов мониторинга.

Методы исследования. Для решения задач диссертационного исследования использованы методы и модели синтеза моделей объектов, процессов и программ, построения сложных систем, системного анализа, математического моделирования, искусственного интеллекта, адаптивной обработки данных, математической статистики, инженерии знаний, методологии проектирования, разработки и сопровождения информационных систем.

Научная новизна. Научная новизна полученных в диссертационной работе результатов состоит в следующем.

1. Разработаны основы новой теории многоуровневого автоматического синтеза автоматных моделей объектов мониторинга, отличающейся оригинальными: концептуальной моделью синтеза многоуровневых перестраиваемых автоматных моделей, системой показателей и критериев эффективности, предусматривающей оценку полноты моделей и сложности их построения, формализмами математического описания иерархических относительно-конечных автоматов, математическими формулировками задач многоуровневого синтеза.

2. Разработаны новые методы многоуровневого автоматического синтеза автоматных моделей объектов мониторинга, которые, в отличие от существующих, являются индуктивно - дедуктивными, базируются на новых постановках задач и методах их решения, включающих метод многоуровневого индуктивного синтеза, позволяющего строить модели объектов по поступающим от них данным, и метод многоуровневого дедуктивного синтеза, позволяющий доказывать существование новых, ранее не рассматривавшихся моделей, в пространстве, построенном в результате индуктивного синтеза.

3. Для построения моделей объектов предложены новые методы многоуровневого автоматического синтеза автоматных моделей процессов и программ мониторинга, отличающиеся низкой вычислительной сложностью, обеспеченной за счет разработки оригинальных методов, позволяющих строить процессы мониторинга, основанные на доказательстве их существования с применением прямого нисходящего многоуровневого вывода, и программы мониторинга на основе обратного многоуровневого вывода.

4. Разработаны новые методы и модели многоуровневой трансформации данных, обеспечивающие возможность контентно адаптивной обработки результатов мониторинга за счет описания процессов обработки в общем виде и их поэтапной детализации до уровня программно-реализуемых с учетом содержания данных и условий синтеза моделей объектов.

5. Предложены оригинальные методы и модели разработки проблемно- и предметно- ориентированных систем, описываемых в виде иерархии согласованных архитектурных и онтологических моделей, что позволяет применять гибкие методологии при их проектировании, создании и сопровождении.

6. Разработана новая система программно реализуемых методик построения моделей объектов мониторинга, отличающаяся от существующих тем, что обеспечивает полноту синтезируемых прикладных моделей и низкую сложность их синтеза, позволяющая решать практические задачи с учетом их классов, показателей и критериев эффективности, используемых для оценки формируемых результатов, а также типов данных, обрабатываемых в предметных областях.

Практическая ценность работы заключается в том, что новый аппарат многоуровневого синтеза дает возможность автоматически строить модели наблюдаемых объектов по данным мониторинга, обеспечивающие успешное решение задач прогнозирования, управления и других в прикладных предметных областях. Для построения моделей объектов по данным мониторинга разработаны информационные, архитектурные и программные компоненты, позволяющие строить проблемно- и предметно- ориентированные программные системы. Разработаны и внедрены системы построения моделей объектов для нескольких предметных областей. Результаты их эксплуатации предметными специалистами показали эффективность применения новых систем на практике. Они позволили существенно расширить состав решаемых прикладных задач, сократить время, затрачиваемое на их решение. Также новые системы обеспечили повышение точности и достоверности результатов решения значительной части прикладных задач по сравнению с существующими подходами.

Положения, выносимые на защиту:

1. Основы теории многоуровневого автоматического синтеза автоматных моделей объектов мониторинга.

2. Методы многоуровневого автоматического синтеза автоматных моделей объектов мониторинга.

3. Методы многоуровневого автоматического синтеза автоматных моделей процессов и программ мониторинга для построения моделей объектов.

4. Методы и модели многоуровневой адаптивной трансформации данных мониторинга для построения моделей объектов.

5. Методы и модели разработки проблемно- и предметно-ориентированных систем построения моделей объектов по данным мониторинга.

6. Система методик построения моделей объектов по данным мониторинга для решения прикладных задач.

Достоверность результатов исследования. Достоверность основных теоретических результатов обеспечивается за счет того, что новый аппарат многоуровневого автоматического синтеза основан на известной теории относительно конечных операционных автоматов. Синтез многоуровневых моделей объектов мониторинга опирается на классические методы индуктивного и дедуктивного синтеза. Синтезируемые процессы и программы не приводят к искажению информации о наблюдаемых объектах за счет формального доказательства обоснованности этих процессов и программ на каждом из шагов синтеза. Кроме того, достоверность полученных научных результатов подтверждается результатами проведенного моделирования и результатами опытной эксплуатации внедренных систем в нескольких предметных областях.

Внедрение результатов работы. Приведенные в диссертации результаты внедрены в научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы, реализованные в НИЦ СПб ЭТУ, СПИИРАН и СПбГЭТУ «ЛЭТИ» в период с 2006 по 2019 года, включая ОКР «Поиск-СНВ», ОКР «Адекватность», ОКР «Ленинградка», ОКР «Радиент», ОКР «Диагностика- НИЦ», ОКР «Математика-ПИК», ОКР «Модернизация», ОКР «Интеграция», ОКР «Перспектива-ПИК», ОКР «Моренос», ОКР «ИАС-М», ОКР «Признак», ОКР «Указчик-ВКО/ПТК ОДПП и ОРИ», НИР «Листва-2000-НЦ», НИР «Радиент», ОКР «Алеврит», ОКР «Автоматизм», «СППР «Автоматизм», ОКР « Галтель - Алеврит», НИР ONR-Global# 62909-12-1-7013 «Decision Making Support System for Arctic Exploration, Monitoring and Governance», НИР «Эстафета-Ф-СПИИРАН», НИР по соглашению с Минобрнауки России № 05.607.21.0322 и другие. Кроме того, полученные результаты использованы при создании прототипов семантической медицинской информационной системы для ФГБУ «НМИЦ им. В. А. Алмазова» Минздрава России. Прототипы разрабатывались в Санкт-Петербургском национальном исследовательском университете информационных технологий, механики и оптики. Также новые модели и методы многоуровневого синтеза применялись при разработке программных продуктов в коммерческих организациях (ОАО Zodiac Interactive, VIA Technologies и др.) Общее число НИР, ОКР и НИОКР составляет 29.

Результаты диссертационного исследования также используются в учебном процессе в Университете ИТМО, Санкт-Петербургском государственном электротехническом университете «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина) и в Институте медицинского образования Центра Алмазова.

Внедрения результатов диссертационной работы подтверждены актами.

Апробация работы. Результаты апробированы автором на 28 международных, национальных и региональных научных конференциях.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 5 монографий, 36 статей в журналах, рекомендованных ВАК РФ, 20 статей в изданиях, индексируемых в SCOPUS и Web of Science, три программы для ЭВМ, 3 учебных пособия.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения, списка использованной литературы и приложения. Общий объем работы составляет 286 страниц, в том числе 484 источника литературы.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** обосновывается актуальность темы диссертационной работы, формулируется решаемая научно-техническая проблема, определяются основная цель, задачи, объект и предмет исследования, рассматривается методологическая основа. Приводятся полученные новые научные результаты, обосновывается их новизна и достоверность, отражается их теоретическая и практическая значимость.

Первая глава содержит анализ современного состояния исследований в области построения моделей объектов мониторинга. В рамках построения моделей объектов исследуются также модели процессов мониторинга. На основе результатов анализа выявляется несоответствие имеющихся методов и средств потребностям практики в решении прикладных задач, включая прогнозирование и управление, из-за высокой вычислительной сложности. Они не позволяют строить модели объектов с многоуровневой структурой, изменяющейся в пространстве и во времени, в дискретном пространстве состояний и дискретном времени по поступающим от объектов данным. Для построения требуемых моделей предлагается разработать теорию многоуровневого синтеза иерархических перестраиваемых автоматных моделей на основе существующей теории синтеза одноуровневых относительно конечных операционных автоматов. Для новой теории формируются концептуальный и теоретический базис, на основе которого возможна разработка новых методов автоматического синтеза моделей объектов мониторинга, позволяющих удовлетворить потребности практики.

Во **второй главе** рассматриваются основы теории многоуровневого синтеза автоматных моделей объектов мониторинга, включающие концептуальную модель многоуровневого синтеза, систему показателей и критериев эффективности для оценки формируемых решений, формализованное описание многоуровневых перестраиваемых моделей объектов мониторинга в виде иерархических относительно конечных операционных автоматов, формулировки общей и частных задач синтеза моделей наблюдаемых объектов, а также обобщенный алгоритм их синтеза.

Структурная схема концептуальной модели многоуровневого синтеза автоматных моделей объектов мониторинга представлена на рис.1. Предлагаемая модель предусматривает, что имеются объекты реального мира, наблюдение за которыми осуществляется с применением существующих средств мониторинга. Требования к синтезируемым моделям определяют конечные потребители.

Процесс синтеза моделей наблюдаемых объектов разделяется на три этапа. На первом этапе выполняется синтез моделей объектов по имеющимся данным. При этом осуществляется преобразование этих данных и связывание отдельных их элементов в пространстве и во времени. Полученные связанные структуры рассматриваются как модели, отражающие текущее состояние наблюдаемых объектов. Обычно, синтезированные по имеющимся данным модели оказываются не полными и не отвечают требованиям, предъявляемым к ним со стороны конечных пользователей. В таких ситуациях осуществляется синтез процессов мониторинга для получения недостающих данных, позволяющих перейти от имеющихся моделей к требуемым, или доказать невозможность такого перехода. Синтез процессов мониторинга для построения требуемых моделей объектов относится ко второму этапу рассматриваемого общего процесса. На последнем, третьем этапе, в соответствии с синтезированными процессами синтезируются программы мониторинга наблюдаемых объектов. Вначале, строятся формальные программы, а затем генерируются исполняемые. При генерации текстов исполняемых программ используются скриптовые языки программирования.

Таким образом, предлагаемая модель многоуровневого синтеза автоматных моделей объектов определяет полный цикл синтеза моделей наблюдаемых объектов, включающий синтез процессов и программ мониторинга для сбора необходимых об объектах данных. Цикл синтеза повторяется после получения новых данных.

В основе многоуровневого синтеза моделей объектов мониторинга лежат следующие концептуальные положения:

1. Синтез моделей объектов должен выполняться на многих уровнях. Это должно обеспечить снижение вычислительной сложности синтеза.

2. Синтезируемые модели должны являться формальными полностью перестраиваемыми моделями, представляемыми в виде автоматных моделей. Это должно обеспечить широкие возможности по автоматической перестройке полученных моделей.

3. Синтез моделей объектов мониторинга (ОМ) должен строиться на выявлении и многоуровневом связывании элементов данных между собой. Это должно обеспечить построение моделей, отражающих структурные, логические и иные взаимосвязи между элементами наблюдаемых объектов.

4. Синтез моделей ОМ должен осуществляться по результатам обработки потоков данных, поступающих от объектов и из иных источников. Это должно

обеспечить построение моделей объектов, соответствующих текущему состоянию наблюдаемого объекта и условиям мониторинга.

5. Синтез моделей ОМ должен обеспечиваться гибкими программными системами. Гибкие системы построения моделей объектов должны описываться на модельном уровне, их реализация осуществляться за счет интеграции готовых компонентов. Это должно обеспечить надежность систем и их невысокую сложность разработки.

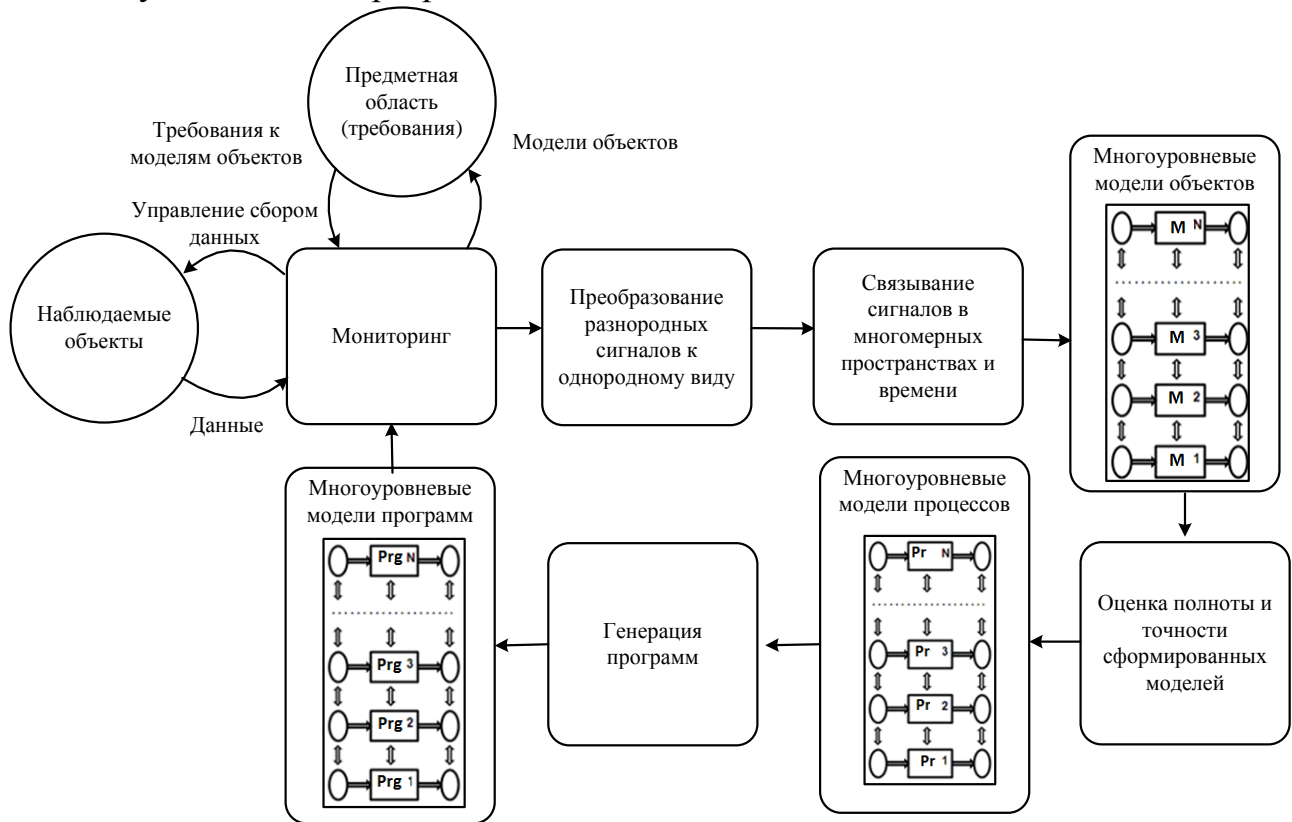


Рис. 1. Структурная схема концептуальной модели многоуровневого синтеза автоматных моделей объектов мониторинга

В общем виде задача многоуровневого синтеза моделей объектов мониторинга формулируется следующим образом. Требуется путем синтеза S найти модель B_0 на заданный момент времени t , при которой достигается экстремум основного показателя эффективности многоуровневого синтеза W при ограничениях на вспомогательные показатели M :

$$\begin{aligned}
 B_0(t) &\in \underset{v \in \Lambda}{\text{Arg extr}} W(S(B_v, t), M(B_v, t), t = \overline{1, T}) \\
 M(B_v, t) &= F(M_1(B_v, t), M_2(B_v, t), \dots, M_n(B_v, t)); \\
 \Phi(M_1) &\in E_1, \Phi(M_2) \in E_2, \dots, \Phi(M_n) \in E_n,
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

где Λ - множество вариантов построения модели B_0 ; M, M_1, M_2, \dots, M_n - вспомогательные показатели; Φ - область значений функций; E_1, E_2, E_3 - области допустимых значений для показателей эффективности.

Для оценки эффективности многоуровневого синтеза предложена система показателей и критериев эффективности. Она построена в соответствии с процессом многоуровневого синтеза. На нижнем уровне определяются показатели эффективности обработки контента информационных потоков, поступающих от наблюдаемых объектов, с учетом контекста. К ним относятся степень адаптивности обработки, информативность формируемых результатов, объем обрабатываемых данных. На основе результатов обработки данных строятся модели наблюдаемых объектов. Для их описания используются автоматные модели. При оценке автоматных моделей рассматриваются полнота синтезируемых моделей и вычислительная сложность их синтеза. Содержательная оценка моделей строится на основе расчета показателей их точности и достоверности. Эффективность синтезируемых процессов мониторинга определяется временем достижения поставленных целей и объемом затрат, необходимых для перестройки процессов при изменении условий мониторинга. Для оценки синтезируемых программ мониторинга применяются следующие показатели: объем временных и вычислительных ресурсов, затрачиваемых на построение программ, длина программ. Наряду с перечисленными, могут рассматриваться другие показатели эффективности программ.

На верхнем уровне определяются показатели эффективности решения прикладных задач, связанных с мониторингом состояния наблюдаемых объектов. К ним относятся число одновременно наблюдаемых объектов, число успешно решаемых задач, точность и достоверность формируемых результатов, время, затрачиваемое на их получение, объем расходуемых ресурсов и другие.

К ключевым показателям многоуровневого синтеза автоматных моделей относятся полнота синтезируемых моделей и вычислительная сложность их синтеза. Полнота определяется соотношением известных и не известных параметров модели:

$$Q_r = 1 - \frac{1}{k} \sum_{j=1}^k q_{jr}, \quad q_{1r} = \frac{\|DA(M_{r-1})|-Z_1\|}{Z_1}, \quad q_{2r} = \frac{\|DB(M_{r-1})|-Z_2\|}{Z_2}, \quad (2)$$

$$q_{3r} = \frac{\|DC(M_{r-1})|-Z_3\|}{Z_3}, \quad q_{4r} = \frac{\|FB(M_{r-1})|-Z_4\|}{Z_4}, \quad q_{5r} = \frac{\|FC(M_{r-1})|-Z_5\|}{Z_5},$$

где M_{r-1} - модель на $(r-1)$ момент времени; $|DA|, |DB|, |DC|$ - мощности допустимых множеств входных, внутренних и выходных элементов; $|FB|, |FC|$ - мощности допустимых множеств функций переходов и выходов автомата; Z_1, Z_2, \dots, Z_5 - мощности соответствующих множеств синтезированных моделей; k - коэффициент, назначаемый в соответствии с числом параметров модели, $k=5$. При $Q_r=1$ модель является полной, а при $Q_r=0$ параметры модели не определены.

Вычислительная сложность синтеза определяется числом операций или временем, необходимым для построения модели. Верхняя граница времени T_H

определяется как $T_H \approx c \sum_{i=1}^K m_i^2 \leq c (\sum_{i=1}^K m_i)^2$, где c – постоянный коэффициент; m_i – число условий задачи на i -м уровне. Эта оценка справедлива, когда число условий задач многоуровневого и одноуровневого синтеза одинаково. Принимая во внимание, что на каждом верхнем уровне один шаг синтеза эквивалентен n_i шагам на уровне “о”, оценка нижней границы времени T_L при многоуровневом синтезе равна:

$$T_L \approx c \sum_{i=0}^K \frac{m_i^2}{n_i^2} \leq c \sum_{i=0}^K m_i^2. \quad (3)$$

Тогда среднее время вычисляется как $T = (T_L + T_H) / 2$.

Для формального описания моделей объектов мониторинга в дискретном времени и дискретном пространстве их состояний используются относительно конечные операционные автоматы (ОКА), у которых множества допустимых параметров в общем случае конечны только на интервале одного шага поведения. При этом имеется возможность изменять в автомате множества допустимых входных, внутренних и выходных состояний, а также множества допустимых функций переходов и выходов автомата, т.е. полностью перестраивать автомат.

Каждый одноуровневый автомат OKA_r на r -ом шаге в полном виде задается совокупностью десяти параметров:

$$OKA_r = \{d_{a_r}, d_{b_r}, d_{c_r}, F_r^b, F_r^c, DA(d_{b_{r-1}}), DB(d_{b_{r-1}}), DC(d_{b_{r-1}}), FB(d_{b_{r-1}}), FC(d_{b_{r-1}})\}; \quad (4)$$

$$d_{b_{r+1}} = F_r^b(d_{a_r}, d_{b_r}), \quad d_{c_r} = F_r^c(d_{a_r}, d_{b_r});$$

$$d_{a_r} \in DA(d_{b_{r-1}}), \quad d_{b_r} \in DB(d_{b_{r-1}}), \quad d_{c_r} \in DC(d_{b_{r-1}}), \quad F_r^b \in FB(d_{b_{r-1}}), \quad F_r^c \in FC(d_{b_{r-1}}),$$

где d_{a_r} – вектор входных данных; d_{b_r} – вектор параметров внутреннего состояния; d_{c_r} – вектор параметров состояния выхода; F_r^b – функции переходов автомата из одного внутреннего состояния в другое; F_r^c – функции выходов автомата. Параметры автомата на шаге r определяются относительно предыдущего шага $r-1$. Состояния d_{b_r} , d_{c_r} , d_{a_r} и функции F_r^b , F_r^c ограничиваются соответствующими множествами допустимых значений $DA(d_{b_{r-1}})$, $DB(d_{b_{r-1}})$, $DC(d_{b_{r-1}})$, $FB(d_{b_{r-1}})$, $FC(d_{b_{r-1}})$.

При логическом варианте записи условия, связывающие исходные данные \bar{d}_{a_r} и результат \bar{d}_{c_r} представляются в виде $F_r^b(d_{a_r}, d_{b_r}) \rightarrow d_{b_{r+1}}$. В случае, если при определении условий используются многие функции, то они описываются следующим образом: $F_{zv}(d_{zve}; e = \overline{1, E_z}) \rightarrow d_{zva}; z = \overline{1, Z}; v = \overline{1, V_z}$, где z и v определяют вид и тип функции.

Каждому из условий могут быть поставлены в соответствие их статусы: основное условие, предусловие, постусловие. Для предусловий указываются номера основных условий (ОУ), при которых они истинны, а постусловиям ставятся в соответствие номера ОУ, при которых они ложны. Если поставить

всем элементам в условиях соответствующие им предикаты, $P_{zv0}(F_{zv0}(\bullet))$, $P_{zv1}(d_{zv1}), \dots, P_{zva}(d_{zva})$, принимающие значение 1, когда переменные определены (истинны), и 0 в противном случае, то условия представляют собой структуры вида $\{P_{zv0} \wedge P_{zv1} \wedge \dots \wedge P_{zve_z} \rightarrow P_{zva} \mid S_{zv}, M_{zv}, z = \overline{1, Z}; v = \overline{1, V}\}$, где S_{zv} - статус zv -го условия, M_{zv} - множество номеров основных условий, при которых предусловия и постусловия, соответственно, истинны и ложны.

В ряде случаев, расширив множество внутренних состояний автомата на состояния его выхода, можно получить усеченный по параметрам автомат, но с сохранением свойств по перестройке параметров: $OKA_r = \{d_{ar}, d_{br}, F_r^b, DA(d_{br-1}), DB(d_{br-1}), FB(d_{br-1})\}$.

Для формального описания многоуровневых перестраиваемых моделей объектов сформулирована и решена новая задача построения иерархических относительно конечных автоматных моделей.

Для построения иерархических ОКА выделены опорные множества допустимых параметров $DOKA^0 = \{DA^0, DB^0, DC^0, FB^0, FC^0\}$. Из элементов этих опорных множеств сформированы допустимые множества параметров более высоких i -х уровней, $DOKA^i = \{DA^i, DB^i, DC^i, FB^i, FC^i\}$. В результате автомат может характеризоваться допустимыми множествами параметров на различных уровнях иерархии: $DOKA^0 \Leftrightarrow DOKA^1 \Leftrightarrow \dots \Leftrightarrow DOKA^i \Leftrightarrow \dots \Leftrightarrow DOKA^K$. Учитывая, что автомат на i -ом шаге описывается $DOKA^i = \{DA^i, DB^i, DC^i, FB^i, FC^i\}$ и эти множества в общем случае изменяются во времени, то их можно записывать как зависящие от его внутренних состояний, $DOKA^i = DOKA^i(d_{br-1})$.

В развернутом виде допустимые множества представляются следующим образом:

$$DA^i(d_{r-1}) \xrightarrow{F_{ij}^{DA}} DA^j(d_r); DB^i(d_{r-1}) \xrightarrow{F_{ij}^{DB}} DB^j(d_r); DC^i(d_{r-1}) \xrightarrow{F_{ij}^{DC}} DC^j(d_r); (5)$$

$$FB^i(d_{r-1}) \xrightarrow{F_{ij}^{FB}} FB^j(d_r); FC^i(d_{r-1}) \xrightarrow{F_{ij}^{FC}} FC^j(d_r),$$

где $F_{ij}^{DA}, F_{ij}^{DB}, F_{ij}^{DC}, F_{ij}^{FB}, F_{ij}^{FC}$ - множество функций, применяемых для построения множеств допустимых параметров. Переход от одного уровня к другому с формальной точки зрения сводится к перестройке множеств допустимых параметров автоматной модели. При этом на более высоких уровнях число элементов может быть значительно меньше, чем на нулевом опорном уровне.

В построенных многоуровневых ОКА функции переходов имеют вид:

$$\left. \begin{aligned} & \left\{ \left\{ d_s^0 \right\} \Rightarrow \left\{ F_{zv}^0(d_{zv_e}^0; e = \overline{1, E_z}) \rightarrow d_{zv_a}^0; z = \overline{1, Z_i}; v = \overline{1, V_{iz}} \right\}; \right\} \Rightarrow \left\{ d_w^0 \right\} \\ & \left\{ \left\{ d_s^1 \right\} \Rightarrow \left\{ F_{zv}^1(d_{zv_e}^1; e = \overline{1, E_z}) \rightarrow d_{zv_a}^1; z = \overline{1, Z_i}; v = \overline{1, V_{iz}} \right\}; \right\} \Rightarrow \left\{ d_w^1 \right\} \\ & \dots \\ & \left\{ \left\{ d_s^k \right\} \Rightarrow \left\{ F_{zv}^k(d_{zv_e}^k; e = \overline{1, E_z}) \rightarrow d_{zv_a}^k; z = \overline{1, Z_i}; v = \overline{1, V_{iz}} \right\}; \right\} \Rightarrow \left\{ d_w^k \right\} \\ & \dots \\ & \left\{ \left\{ d_s^N \right\} \Rightarrow \left\{ F_{zv}^N(d_{zv_e}^N; e = \overline{1, E_z}) \rightarrow d_{zv_a}^N; z = \overline{1, Z_i}; v = \overline{1, V_{iz}} \right\}; \right\} \Rightarrow \left\{ d_w^N \right\} \end{aligned} \right\}. \quad (6)$$

При этом при переходах допустимые множества параметров перестраиваются на каждом из уровней.

Для ОКА определены функциональное пространство и пространство состояний. Функциональные модели иерархических ОКА показаны на рис.2. Они строятся на основе зависимостей, установленных между элементами. В моделях функции разнесены по уровням и связаны между собой. Функциональные модели описываются в виде: $\{FB^i, FC^i\}_r \rightarrow \{FA_j^i\}_r$, где FA_j^i - j-ая функция автоматной модели на уровне i . Функции определяются условиями, наблюдаемыми на шаге r и допустимыми множествами функций внутренних переходов и выходов.

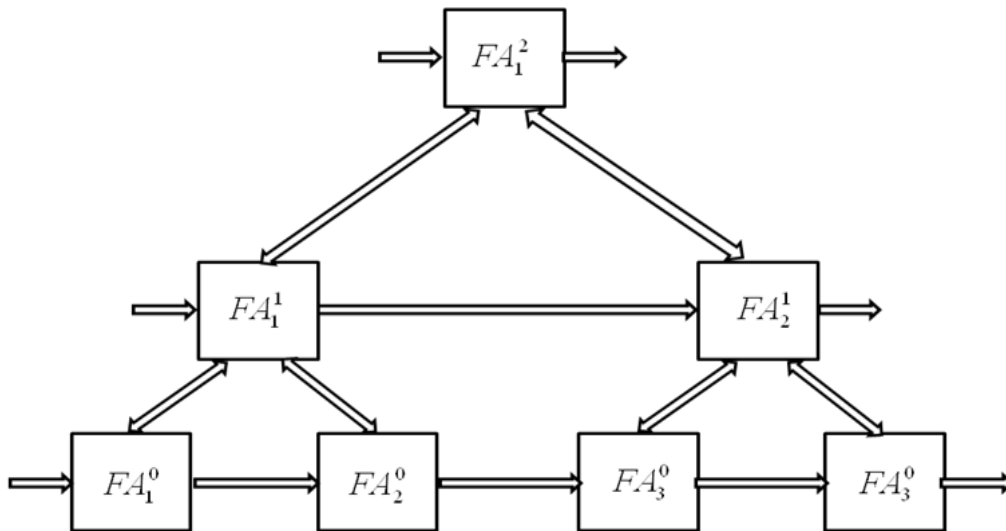


Рис.2 Функциональная модель объектов мониторинга

Пространство состояний ОКА также имеет иерархическую структуру.

При формировании пространств состояний и функциональных пространств определяются допустимые функции и допустимые состояния. Для

этого выполняется обработка исходных данных. В результате формируются многоуровневые структуры вида:

$$K_z = K_z(S_z(e_{zi}, l_{zij}), \{e_{zi}\}, \{l_{zij}\}; e_{zi} \in E_z; l_{zij} \in L_z), \quad (7)$$

где $S_z(e_{zi}, l_{zij})$ - структура модели на z -ом уровне иерархии, $\{e_{zi}\}$ и $\{l_{zij}\}$ - информационные элементы и связи, содержащиеся в структуре, E_z , L_z - множества допустимых элементов и связей между элементами на z -ом уровне. Затем эти структуры связываются между собой.

На основе построенных единичных структур K_z строятся пространства состояний и функциональные пространства автоматов для условий одного шага. Такие автоматы определяют локальные модели объектов. Для определения глобальных моделей объектов предусматривается построение автоматов для различных условий. Их построение осуществляется на основе нескольких связанных структур.

Для построения моделей объектов мониторинга сформулированы новые задачи. Среди них задача поиска варианта построения моделей объектов, процессов и программ мониторинга V_o , обеспечивающего достижение максимума числа одновременно наблюдаемых объектов Q с периодичностью P не ниже заданной:

$$V_o(t) \in \underset{i \in \Omega}{\text{Arg max}} Q(V_i(K(t)), K(t), C(t), t), \\ P(V_i(K(t)), K(t), C(t), t) \geq P_{зад},$$

где $V_i(K(t))$ - варианты построения моделей объектов, процессов и программ мониторинга; $C(t)$ - контент; $K(t)$ - контекст, Ω - множество вариантов построения моделей объектов, процессов и программ мониторинга.

Другой новой задачей является задача поиска варианта синтеза моделей объектов, процессов и программ мониторинга V_o , обеспечивающего достижение максимума информативности G синтезируемых моделей объектов при ограничениях на точность Z и достоверность R :

$$V_o(t) \in \underset{i \in \Omega}{\text{Arg max}} G(Z(V_i, R), R(V_i), K(t), C(t), t), \\ Z(V_i(K(t)), R(V_i), t) \geq Z_{зад}, R(V_i(K(t)), K(t), C(t), t) \geq R_{зад}.$$

Рассматривается также задача поиска варианта синтеза моделей объектов, процессов и программ V_o , обеспечивающего получение необходимой информации за минимальное время T при заданных допустимых значениях точности Z и информативности G :

$$V_o(t) \in \underset{i \in \Omega}{\text{Arg min}} T(V_i(K(t)), K(t), C(t), t) \\ G(Z(V_i), R(V_i), K(t), t) \geq G_{дон}; Z(V_i(K(t)), R(V_i), t) \geq Z_{дон}; R(V_i(K(t)), K(t), C(t), t) \geq R_{дон}.$$

Поиск варианта синтеза моделей объектов, процессов и программ V_o может выполняться по критерию минимума расхода ресурсов U , обеспечивающего заданную информативность результирующей модели:

$$V_o(t) \in \underset{i \in \Omega}{\text{Arg min}} U(V_i(K(t)), K(t), C(t), t)$$

$$G(Z(V_i), R(V_i), K(t), t) \geq G_{\text{зад}}; Z(V_i(K(t)), R(V_i), t) \geq Z_{\text{дон}}; R(V_i(K(t)), K(t), C(t), t) \geq R_{\text{дон}}.$$

Кроме того, сформулированы новые задачи оптимизации моделей наблюдаемых объектов, процессов и программ по их собственным показателям, а также задачи оптимизации трансформации данных мониторинга.

Для решения задач многоуровневого синтеза предложен обобщенный алгоритм, позволяющий синтезировать модели объектов мониторинга в соответствии с поставленными целями синтеза и заданными критериями эффективности с применением новых методов синтеза, которые рассматриваются в третьей главе.

В **третьей главе** предложены методы многоуровневого синтеза автоматных моделей объектов мониторинга, моделей процессов и программ мониторинга, а также методы трансформации данных мониторинга.

Задача многоуровневого синтеза автоматных моделей объектов мониторинга формулируется следующим образом. Известны исходные данные на $\{d_s(t_i)\}$ в моменты времени t_i , $t_i \in \overline{[1, T]}$. Требуется построить многоуровневую автоматную модель, определенную на временном интервале: $DOKA(t_k); t_k \in \overline{[1, T]}$. Накладываются условия:

$$\begin{aligned} \{d_s\} &\rightarrow \{\{d_s^0(t_i)\}, \{d_s^1(t_i)\}, \dots, \{d_s^j(t_i)\}, \dots, \{d_s^L(t_i)\}\}; \\ \{d_w\} &\rightarrow \{\{d_w^0(t_i)\}, \{d_w^1(t_i)\}, \dots, \{d_w^j(t_i)\}, \dots, \{d_w^L(t_i)\}\}; t_i \in [0; T]. \end{aligned}$$

В соответствии с ними данные должны быть представимы по уровням, число уровней L конечно.

Для решения задачи многоуровневого синтеза моделей объектов предложен новый метод. Метод включает следующие шаги.

$$T = \sum_{j=0}^{N-1} T_j$$

1. Формирование условно стационарных интервалов
 2. Многоуровневый индуктивный синтез структур (7) на основе обработки исходных данных и представление их в виде:
 $d_w^i : F_{zv}^i(d_{zv_e}^i; e = \overline{1, E_z}) \rightarrow d_{zv_a}^j; z = \overline{1, Z_i}; v = \overline{1, V_{iz}}; i, j = \overline{1, L}.$

3. Многоуровневый синтез локальных моделей объектов. На основе синтезированных структур для каждой модели строятся допустимые множества элементов и функций, их связывающих $\{DA^i, DB^i, DC^i, FB^i, FC^i\}$.

4. Многоуровневый дедуктивный синтез глобальных моделей объектов. Допустимые множества состояний определяются на основе локальных моделей объектов. Для построения допустимых множеств функций устанавливаются связи между элементами локальных моделей вида
 $F_{zv_e}^i : (d_{zv_e}^i(t_j), F_{zv_e}^i(t_j)) \xrightarrow{c_{zv_e}^1(F_{zv_e}^1(\cdot)), c_{zv_e}^1(d_{zv_e}^1(\cdot))} d_{zv_a}^r(t_k); z = \overline{1, Z}; v = \overline{1, V_z}; i, j = \overline{1, L}$, которые затем обобщаются. В результате формируются требуемые множества $\{DA^i, DB^i, DC^i, FB^i, FC^i\}$.

Метод предусматривает совместное использование индуктивного и дедуктивного подходов применительно к многоуровневому синтезу моделей объектов мониторинга.

Задача многоуровневого индуктивного синтеза локальных моделей предусматривает, что заданы исходные данные $\{d_s\}$ и типы правил их связывающие DF_{zv} ; $z = \overline{1, Z}$; $v = \overline{1, V}$. Требуется по исходным данным построить локальные модели объектов в виде многоуровневых автоматов: $F_{zv}^i(d_{zv}^i; e = \overline{1, E_z}) \rightarrow d_{zv}^i$; $z = \overline{1, Z}$; $v = \overline{1, V}$; $i = \overline{1, L}$; $F_{zv}^i(\cdot) \in FB^i$; $d_{zv}^i, d_{zva}^i \in DD^i$. Для элементов структуры должны быть определены предикаты $P_{zv0}(F_{zv0}(\cdot)), P_{zv1}(d_{zv1}), \dots, P_{zva}(d_{zva})$, определяющие условия переходов в виде $\{P_{zv0} \wedge P_{zv1} \wedge, \dots, P_{ZVE_z} \rightarrow P_{zva} \mid S_{zv}, M_{zv}\}$, где S_{zv} - статус zv -го условия, M_{zv} - множество условий, определяющих значения предикатов.

Предлагаемый метод индуктивного синтеза локальных моделей предусматривает:

1. Построение стационарных интервалов: T_j , $j = \overline{1, N}$. Построение по исходным данным статических структур вида (7) на каждом из интервалов.

2. Синтез допустимых множеств элементов входных DA^0 , выходных DB^0 данных и внутренних элементов DC^0 модели на нулевом уровне: $\{DA^0, DB^0, DC^0\}$.

3. Синтез допустимых множеств связей между элементами FB^0 и с элементами выхода FC^0 модели на нулевом уровне: $\{FB^0, FC^0\}$.

4. Синтез допустимых множеств элементов на i уровне и связей между ними: $\{DA^i, DB^i, DC^i, FB^i, FC^i\}$.

5. Синтез расширенного множества допустимых связей i -го уровня с учетом связей с другими уровнями: $\{FB^{i,j}, FC^{i,j}; i \neq j; j = \overline{1, L}\}$; $FB^i \supset FB^{i,j}$; $FC^i \supset FC^{i,j}$.

6. Формирование логических условий для элементов и связей между ними: $P_{zv0}^i(F_{zv0}^i(\cdot)), P_{zv1}^i(d_{zv1}^i), \dots, P_{zva}^i(d_{zva}^i)$; $\{P_{zv0}^i \wedge P_{zv1}^i \wedge, \dots, P_{ZVE_z}^i \rightarrow P_{zva}^i \mid S_{zv}^i, M_{zv}^i, z = \overline{1, Z}; v = \overline{1, V}\}$,

где S_{zv}^i - статус zv условия; M_{zv}^i - множество условий, определяющих значения предикатов.

Задача многоуровневого дедуктивного синтеза глобальных структур предусматривает, что заданы локальные модели, элементы которых разнесены

по уровням: $\{d_s^0(t_k)\}, \{d_s^1(t_k)\}, \dots, \{d_s^i(t_k)\}, \dots, \{d_s^L(t_k)\}$;

$\{d_w^0(t_{k+\Delta t})\}, \{d_w^1(t_{k+\Delta t})\}, \dots, \{d_w^i(t_{k+\Delta t})\}, \dots, \{d_w^L(t_{k+\Delta t})\}$.

Требуется за счет связывания локальных моделей между собой построить глобальные модели объектов для интересующего временного интервала с функциями переходов вида:

$$\left\{ \begin{array}{l} F_{zv_e}^0 : (d_{zv_e}^0(t_k), F_{zv_e}^0(t_k)) \xrightarrow{P_{zv_e}^{0,j}(F_{zv_e}^0(\cdot)), P_{zv_e}^{0,j}(d_{zv_e}^0(\cdot))} d_{zv_a}^j(t_{k \pm \Delta t}) \\ F_{zv_e}^1 : (d_{zv_e}^1(t_k), F_{zv_e}^1(t_k)) \xrightarrow{P_{zv_e}^{1,j}(F_{zv_e}^1(\cdot)), P_{zv_e}^{1,j}(d_{zv_e}^1(\cdot))} d_{zv_a}^j(t_{k \pm \Delta t}) \\ \dots \\ F_{zv_e}^L : (d_{zv_e}^L(t_k), F_{zv_e}^L(t_k)) \xrightarrow{P_{zv_e}^{L,j}(F_{zv_e}^L(\cdot)), P_{zv_e}^{L,j}(d_{zv_e}^L(\cdot))} d_{zv_a}^j(t_{k \pm \Delta t}) \end{array} \right\}$$

При связывании должны учитываться уровни и условия существования связей.

Предлагаемый метод дедуктивного синтеза глобальных структур предусматривает:

1. Определение анализируемого интервала $T = [T_A; T_B]; d_w(t_k); t_k \in [T_A; T_B]$.
2. Синтез состава и типов зависимостей, наблюдаемых между элементами локальных моделей на различных уровнях: $\{F_{zv}^i(t_k, t_{k \pm \Delta t}); z = \overline{1, Z}; v = \overline{1, V}; i = \overline{1, L}\}$.
3. Синтез параметров S установленных зависимостей i уровня: $\{F_{zv_e}^i(S_{zv_e}, \Delta t); e = \overline{1, E}; i = \overline{1, L}\}$.

4. Синтез расширенного множества связей i -го уровня с учетом связей с другими j -ми уровнями: $\{F_{zv_e}^{i,j}(S_{zv_e}, \Delta t)\}; F_{zv_e}^i \supset F_{zv_e}^{i,j}$.

5. Синтез условий, при которых наблюдаются зависимости между

элементами: $\left\{ P_{zv_e}^{i,j}(F_{zv_e}^{i,j}(\cdot)), P_{zv_e}^{i,j}(d_{zv_e}^{i,j}(\cdot)); i = \overline{1, L} \right\}$.

6. Синтез модели вида:

$$\left\{ \begin{array}{l} F_{zv_e}^0(S_{zv_e}, \Delta t) | P_{zv_e}^i : (d_{zv_e}^0(t_k), F_{zv_e}^0(t_k)) \xrightarrow{P_{zv_e}^{i,j}(F_{zv_e}^{i,j}(\cdot)), P_{zv_e}^{i,j}(d_{zv_e}^{i,j}(\cdot))} d_{zv_a}^j(t_{k \pm \Delta t}) | P_{zv_e}^j \\ \dots \\ F_{zv_e}^L(S_{zv_e}, \Delta t) | P_{zv_e}^i : (d_{zv_e}^L(t_k), F_{zv_e}^L(t_k)) \xrightarrow{P_{zv_e}^{i,j}(F_{zv_e}^{i,j}(\cdot)), P_{zv_e}^{i,j}(d_{zv_e}^{i,j}(\cdot))} d_{zv_a}^j(t_{k \pm \Delta t}) | P_{zv_e}^j \end{array} \right\}$$

7. Построение на основе синтезированной модели допустимых множеств состояний и функций глобальных моделей на различных уровнях $\{DA^i, DB^i, DC^i, FB^i, FC^i\}$.

8. Масштабирование результатов на интервалы. Рассматриваются интервалы различной длительности: $[T_{a_i}; T_{b_i}]; [T_A; T_B] \subset [T_a; T_b] \subset [T_{a_i}; T_{b_i}]$.

Для синтеза моделей объектов с применением предложенных методов требуется наличие данных об объекте. Для получения необходимых данных выполняется синтез процессов мониторинга, на основе которых строятся программы мониторинга.

Задача синтеза многоуровневых процессов мониторинга предусматривает, что заданы: исходная модель $d_s = \{d_s^0(t_k)\}, \{d_s^1(t_k)\}, \dots, \{d_s^i(t_k)\}, \dots, \{d_s^L(t_k)\}$ и целевая модель $d_w = \{d_w^0(t_k)\}, \{d_w^1(t_k)\}, \dots, \{d_w^i(t_k)\}, \dots, \{d_w^L(t_k)\}$. Определены функции их связывающие

$$F_{zv} : \left\{ \begin{array}{l} F_{zv_e}^0(d_{zv_e}^0) | P_{zv_e}^i \xrightarrow{p_{zv_e}^{i,j}(\cdot)} d_{zv_a}^j | P_{zv_e}^j \\ \dots \\ F_{zv_e}^L(d_{zv_e}^L) | P_{zv_e}^L \xrightarrow{p_{zv_e}^{L,j}(\cdot)} d_{zv_a}^j | P_{zv_e}^j \end{array} \right\},$$

где $F_{zv}^i(\cdot) \in FB^i, FC^i$; $d_{zv_e}^i, d_{zv_a}^i \in DD_i$; $e = \overline{1, E_z}$; $z = \overline{1, Z_i}$; $v = \overline{1, V_{iz}}$; $i = \overline{1, L}$. Связи

определены для условий $p_{zv_e}^{i,j}(\cdot)$. Требуется синтезировать процесс $\{d_s\} \rightarrow \{d_w\}$ для условий $P_{zv}(\cdot)$:

$$PR = \{F_{zv}(d_{zv_e}; e = \overline{1, E_z}) \rightarrow d_{zv_a}; \{d_s\}; \{d_w\}; \{P_{zv}(\cdot)\}; z = \overline{1, Z}; v = \overline{1, V_z}\}. \quad (8)$$

Синтез процессов основан на доказательстве существования требуемого процесса. Для этого используется прямой вывод. Предлагаемый метод многоуровневого синтеза моделей процессов мониторинга включает следующие шаги:

1. Решение задачи синтеза на верхнем уровне $i = L-1$.

2. Обработка логических условий для уровня $P^i(\cdot)$.

3. Доказательство существования перехода $\{d_s^i\} \rightarrow \{d_w^i\}$.

4. Добавление доказанных результатов к данным $\{d_s^i\}$, не доказанные результаты добавляются к целям $\{d_w^i\}$.

5. Для не доказанных целей обращение к условиям задачи на более низких уровнях i : $\{d_s^{L-2}\} \xrightarrow{p^{L-2}(\cdot)} \{d_w^{L-2}\}, \dots, \{d_s^i\} \xrightarrow{p^i(\cdot)} \{d_w^i\}, \dots, \{d_s^0\} \xrightarrow{p^0(\cdot)} \{d_w^0\}$; $i = \overline{L-2, 0}$. При каждом переходе на более низкий уровень осуществляется возврат на Шаг 2.

6. Проверка достижимости целей $\{d_w\}$ по результатам синтеза.

7. Построение результирующих процессов по уровням:

$$\left\{ \begin{array}{l} PR = \{F^{L-1}(d_e^{L-1}; e = \overline{1, E_z}) \rightarrow d_a^{L-1}; \{d_s^{L-1}\}; \{d_w^{L-1}\}; \{P^{L-1}(\cdot)\}; \\ \dots \\ PR = \{F^0(d_e^0; e = \overline{1, E_z}) \rightarrow d_a^0; \{d_s^0\}; \{d_w^0\}; \{P^0(\cdot)\}; j = \overline{1, L-1}\} \end{array} \right\}.$$

8. Сведение процессов в общий процесс:

$$PR = \{F(d_{zv_e}; e = \overline{1, E_z}) \rightarrow d_a; \{d_s\}; \{d_w\}\}.$$

При отсутствии возможности доказательства могут изменяться требования, предъявляемые к моделям объектов.

Задача синтеза многоуровневых программ мониторинга формулируется следующим образом. Задан синтезированный процесс PR :

$$PR = \{F_{zv}^i(d_{zv_e}^i; e = \overline{1, E_z}); \{d_s^i\}; \{d_w^i\}; z = \overline{1, Z}; v = \overline{1, V_z}\}.$$

Требуется синтезировать соответствующую процессу PR программу PRG :

$$PRG = \{S_{zv}(d_{zv_e}; e = \overline{1, E_z}) \rightarrow d_{zv_a}; \{d_w\}; \{d_s\}; z = \overline{1, Z}; v = \overline{1, V_z}\}, \quad (9)$$

где s_{zv} - структурный элемент программы PRG, соответствующий функции F_{zv} .

Синтез программы на основе доказанного процесса построен на реализации обратного вывода. Вывод осуществляется по схеме зеркальной прямого вывода. При обратном выводе результирующая структура $\{d_w\}$, полученная при синтезе процессов, рассматривается как исходная, а исходная структура $\{d_s\}$ - как результирующая.

Метод синтеза программ мониторинга предусматривает выполнение следующих основных шагов.

1. Синтез структуры опорной программы на основе результатов доказательства: $\{d_s^i\} \leftarrow \{d_w^i\}; i = \overline{L-1, 0}$;

2. Синтез опорной программы в соответствии с синтезированной структурой: $\{S_{zv}^i(d_{zv_e}^i; e = \overline{1, E_z}) \rightarrow d_{zv_a}^i; z = \overline{1, Z}; v = \overline{1, V_z}; i = \overline{L-1, 0}\}$, где S_{zv}^i - элементы программной структуры.

3. Формирование логических условий для элементов опорной программы: $P_{zv0}^i(S_{zv0}^i(\bullet)), P_{zv1}^i(d_{zv1}^i), \dots, P_{zva}^i(d_{zva}^i)$.

4. Построение многоуровневой программы, учитывающей логические условия: $PRG^i = \{S_{zv}^i(d_{zv_e}^i; e = \overline{1, E_z}) \rightarrow d_{zv_a}^i; \{P_{zv}^i(\bullet)\}; \{d_w\}; \{d_s\}\}$.

5. Трансляция многоуровневой программы в программу нижнего уровня: $PRG^i \rightarrow PRG^{L-1}$.

6. Назначение результирующей программы: $PRG = PRG^{L-1}$. Результирующая программа представляет собой последовательность программных конструкций.

Рассмотренные алгоритмы синтеза обеспечивают построение формальных моделей. Для синтеза конкретных моделей на основе полученных об объектах данных предложены методы и модели трансформации данных.

Данные об объектах, получаемые в ходе мониторинга, представляются в виде: $\{d_s^0\} = \{\xi(t_k), \zeta(t_k)\}; t_{k-\Delta t} \leq t_k$, где ξ - контент, ζ - контекст обработки, t_k - заданный момент времени. Результатом их обработки является представление данных, описывающее наблюдаемый объект на l -ом уровне: $\{d_w^l\} = R\{d_w^l, t_k\}; l \leq L; t_{k-\Delta t} \leq t_k \leq t_{k+\Delta t}; [t_{k-\Delta t}, t_{k+\Delta t}] \in T_{набл}$, где $l \in L$ - уровни модели; $T_{набл}$ - период наблюдения. Требуется определить последовательности трансформаций контента в контексте, позволяющих сформировать представления данных, необходимые для синтеза моделей объектов. Полученные последовательности трансформаций определяют процессы обработки данных вида $P = \langle p_{uq}^j | C_{uq}^j \rangle; j = \overline{L, l}; u = \overline{1, j}; q = \overline{j, L}$, C_{uq}^j - условия обработки контента в контексте. При таком построении процессы (3.10) являются контентно-адаптивными процессами. Управление процессами осуществляется с учетом имеющихся результатов обработки.

Предложен метод многоуровневой трансформации данных. Он позволяет строить общие последовательности трансформаций и представлять их в виде параметрических семейств процессов обработки. Метод предусматривает:

1. Определение пространства построения процессов обработки, описание процесса обработки в общем виде. При этом определяются стратегии для достижения цели обработки, фазовое пространство и пространство управления обработкой, пространство функционалов, применимых для достижения цели обработки.

2. Построение семейств трансформаций данных для выбранной стратегии. При этом строятся множества допустимых правил управления трансформациями для выбранной стратегии, формируется общая структура системы трансформаций в виде последовательности управляемых переходов между различными представлениями данных.

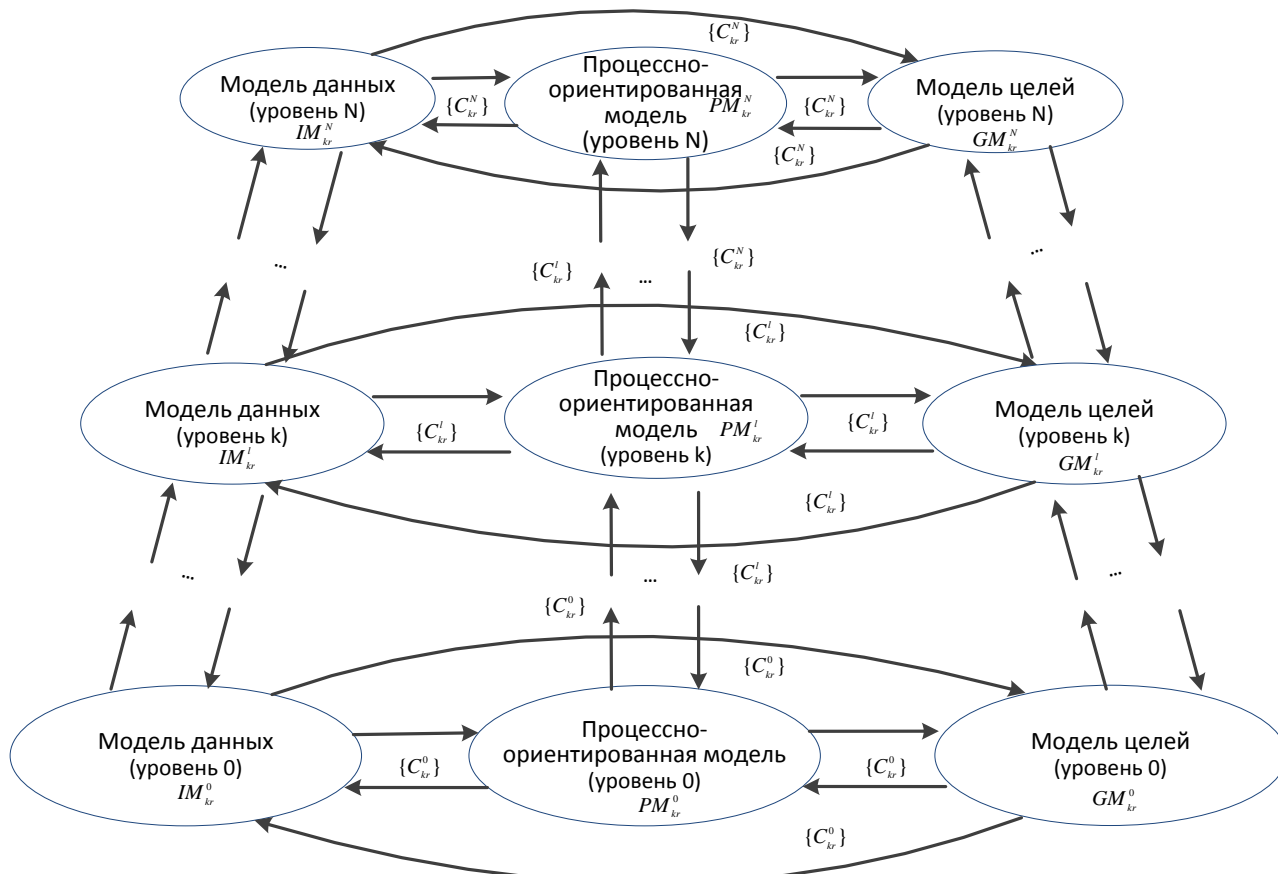
3. Построение системы трансформаций данных о наблюдаемых объектах. Для этого определяются трансформации для типов представлений данных. На их основе строятся многоуровневые горизонтально-вертикальные структуры трансформаций.

4. Построение параметрических семейств процессов обработки данных о наблюдаемых объектах. На основе построенных трансформаций с горизонтально - вертикальной структурой определяются семейства параметрических процессов обработки данных.

Для описания данных, их трансформаций и формируемых представлений предложена модель трансформаций. Исходное пространство трансформаций данных определяется допустимым контентом информационных потоков $K = \{\xi\}$, допустимым контекстом обработки $\Pi = \{\zeta\}$, множеством функционалов, применимых для обработки контента в контексте $\Phi = \{\varphi\}$, возможными стратегиями обработки $\Sigma = \{\sigma\}$. Под стратегией понимается совокупность правил выбора действий. Процессы, реализующие стратегию обработки σ за конечное время t_k представляются в виде: $P = [\tilde{U}, T_{\zeta}, L]$, $t < t_k$; $\tilde{U} = \cup U_F$; $U_F = (X, F, Y)$; $F: X^h \times Y^{h-1} \rightarrow Y$, где U_F - элементарный процесс; X - фазовое пространство обработки в контексте; Y - пространство управления процессами обработки; F - правила управления процессами, h - глубина памяти; T_{ζ} - параметрическое семейство трансформаций вида $T: D \rightarrow D$; D - множество допустимых правил управления для заданной стратегии; L - параметры, определяющие уровни обработки; $\zeta_s = \Psi(\xi, \zeta)$ - статистика процесса в контексте.

Семейства трансформаций, обеспечивающих достижение конечной цели на классе $K \times \Phi \times \Pi$ за m итераций за счет управляемых переходов на множестве D определяются как $F_k = T_{\zeta k} \otimes F_{k-1}$, $k = \overline{1, m}$, где F_k - правила управления на k -ом шаге; $T_{\zeta k}$ - состав трансформаций на k -ом шаге, \otimes - операция трансформации.

Системы трансформаций определяются для типов представлений данных: $T = \{E, T_E, id_E, \circ\}$; $T_E = \{\varphi \mid \varphi(\sigma) : E^n \rightarrow E, E \in E; n \in \mathbb{N}\}$, где E - множество типов представлений E , $E \in E$; $Cart(E) = \{E^n \mid E \in E; n \in \mathbb{N}\}$; $E^n = E \times E \times \dots \times E$; φ - функционалы, выбираемые в соответствии со стратегией σ ; \circ - композиция функций, id_E - единичный элемент. Системы трансформаций представляют собой структуры вида $T_E = \{T_E^G \cup T_E^{GV} \cup T_E^V\}$, где T_E^G - вертикальные, T_E^V - горизонтальные, T_E^{GV} - вертикально-горизонтальные трансформации.



$\{(\bullet)_{kr}^i\}$ - элемент l-го уровня при решении задачи k на шаге r;

$\{C_{kr}^i\}$ - условия существования переходов

Рис. 3 Обобщенная модель обеспечения многоуровневой трансформации данных

Параметрические семейства вертикальных P_E^V и горизонтальных P_E^G процессов обработки обеспечивают построение многоуровневых моделей объектов на основе представлений данных, определяемых структурами T_E^G и $T_E^V : P_E^{G,V} = \{E \rightarrow A_E; A = \psi_\tau(\xi, \zeta); A \in A_E; \tau \in Z\}$; $A : A^1 \triangleleft A^2 \triangleleft A^3 \triangleleft \dots \triangleleft A^K$; $\psi : \varphi \times A^{i-1} \rightarrow A^i$, где A_E - множество моделей объекта E ; A^i - i -ый уровень модели A ; $\psi(\xi, \zeta)$ - функционалы обработки на признаковом пространстве $S_f(A)$; $\tau = (\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_n)$ - параметры процессов обработки; ξ - контент; ζ - контекст. Параметрические семейства горизонтально-вертикальных процессов определяются структурой T_E^{GV} . Они обеспечивают построение систем связанных между собой моделей: $P_E^{GV} = \{r_\tau(\xi, \zeta) \mid r : A \times A \times \dots \rightarrow A^m; m \in \mathbb{N}\}$;

$A^m = \{A_i^k \rightleftharpoons A_j^l; i, j = \overline{1, m}; k, l = \overline{1, K}\}$, где A^m - система из m связанных моделей; $r(\xi, \zeta)$ - функционалы обработки на признаковом пространстве $S_f(A^m)$. Предложенная модель позволяет описывать процессы обработки данных в общем виде.

Для построения конечных процессов в соответствии с предложенным методом трансформации разработаны модели обеспечения многоуровневой трансформации данных и методы их построения. Определяется обобщенная модель обеспечения трансформации (рис. 3), которая разворачивается в виде связанных функциональной, информационной, процессной и сервисной моделей, образующих комплексную модель. Для ее построения разработаны управляющие модели (рис. 4). Управляющие модели определяют правила построения процессов обработки. В основе правил лежит система классификаторов, включающая классификаторы исходных данных, результатов их обработки, средств обработки и другие. В соответствии с комплексными моделями формируются программно-ориентированные модели. Они определяют модели программных систем.

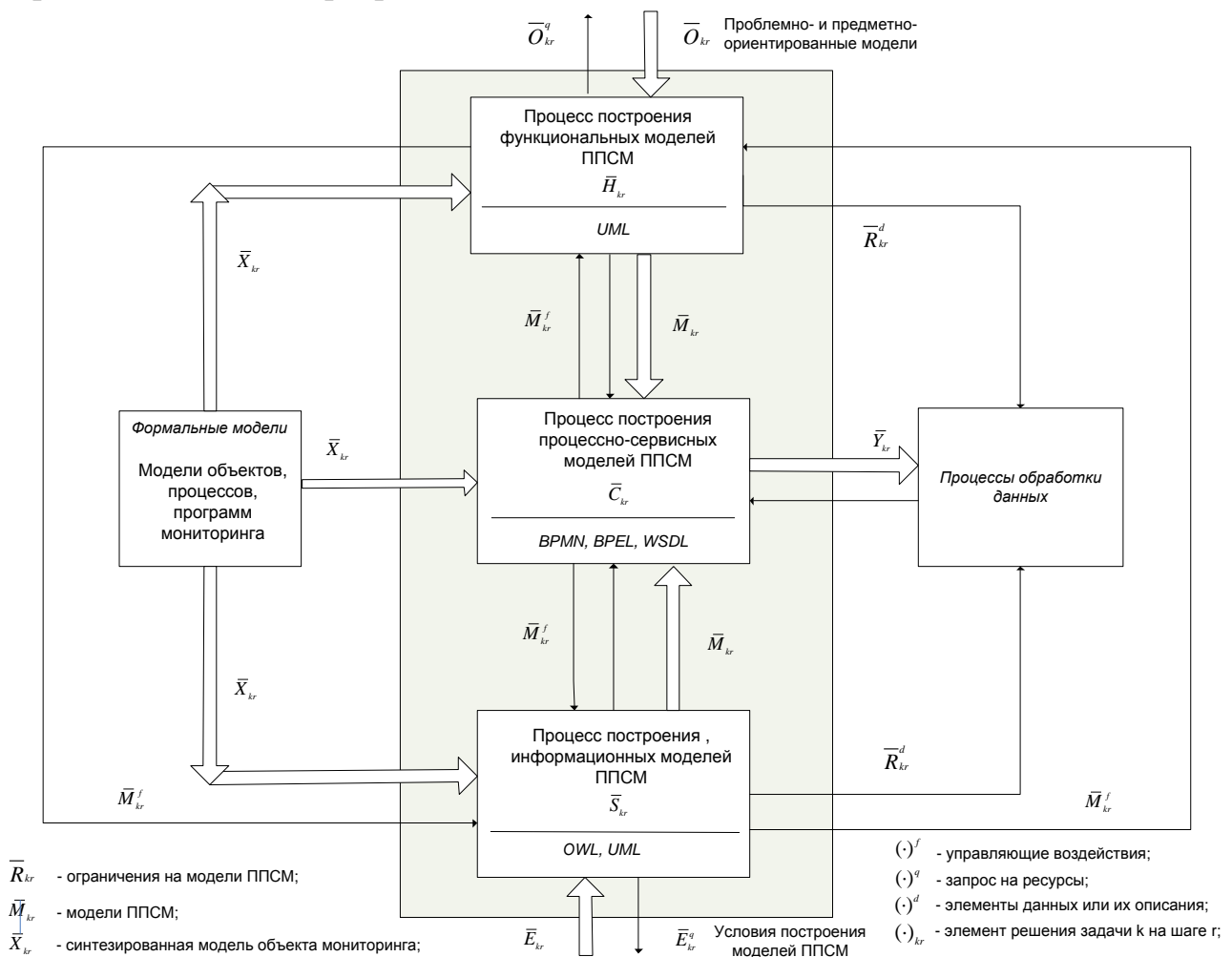


Рис. 4 Структура управляющей модели обеспечения трансформации данных

В четвертой главе рассмотрены модели и методы разработки проблемно- и предметно- ориентированных программных систем построения моделей объектов (ППСМ) по данным мониторинга.

Предлагаемые системы определяют новый класс систем в области мониторинга. Это системы, предназначенные для решения различных задач и относящиеся к различным предметным областям, но использующие похожие решения. Отличительная особенность систем состоит в наличии у них собственных моделей, моделей наблюдаемых объектов и моделей внешней среды, способности работать с этими моделями.

Предложен метод разработки проблемно- и предметно- ориентированных систем построения моделей объектов. Основные положения метода следующие:

1. ППСМ имеют гибкую архитектуру. Реализуется модельный подход к описанию систем, предусматривающий представление систем в виде совокупности связанных моделей, преобразование которых приводит к преобразованию самих систем.

2. ППСМ имеют иерархическую структуру, включающую многие подклассы систем, на основе которых формируются конечные системы.

3. Разработка ППСМ предполагает использование гибких методологий при проектировании, создании, применении и сопровождении систем.

4. Разработка ППСМ ориентирована на использование готовых высокоуровневых элементов, включая программные платформы и т.д.

5. Разработка ППСМ поддерживается инструментальными и программными средствами, включающими архитектурные каркасы и их расширения.

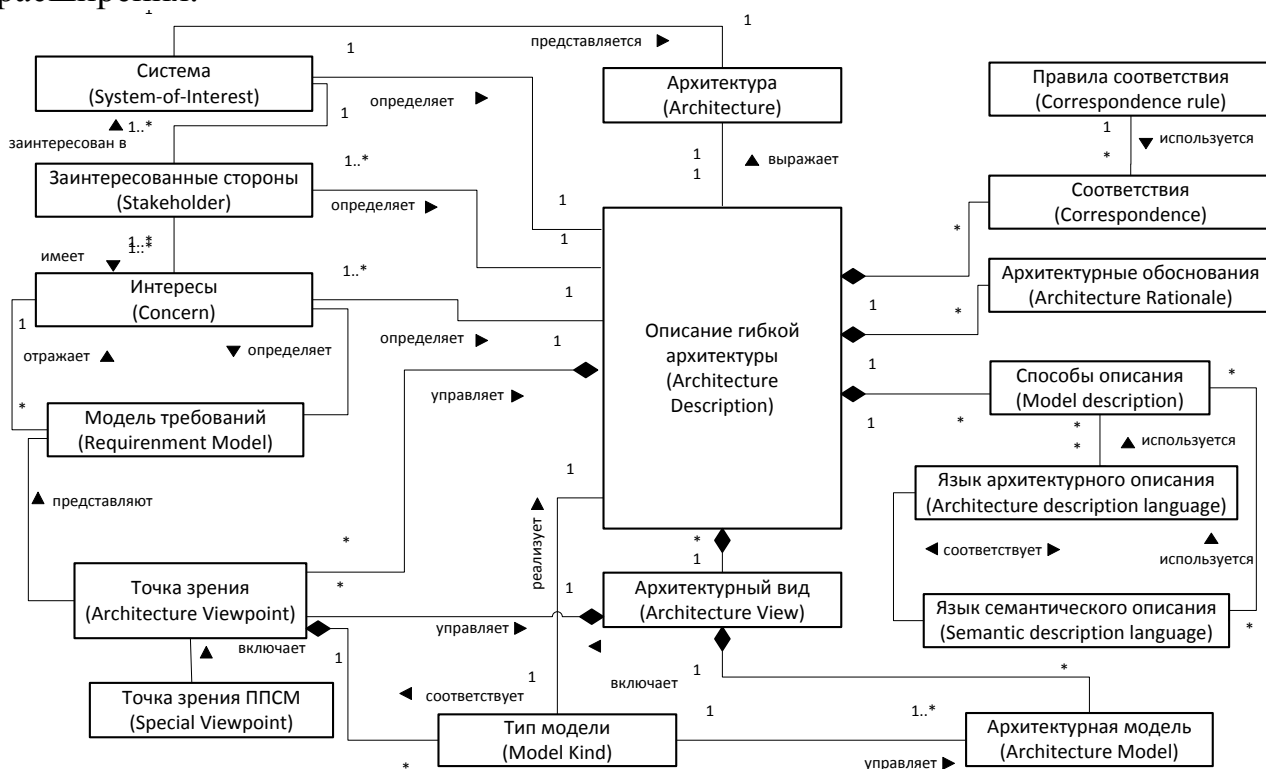


Рис.5 Модель гибкой архитектуры ППСМ

ППСМ имеют гибкую архитектуру, которая описывается на модельном уровне (рис. 5). Представленная модель архитектуры расширяет модель, определенную стандартом ISO/IEC/IEEE 42010:2011. В предлагаемой модели архитектура ППСМ описывается с различных точек зрения, включая проектную, системную, функциональную, модельную, информационную и процессно-сервисную. При описании архитектуры предусматривается совместное использование архитектурных и онтологических описаний. Для этого в модели определяются языки архитектурного описания и семантического описания. В качестве таких языков могут использоваться языки UML и OWL.

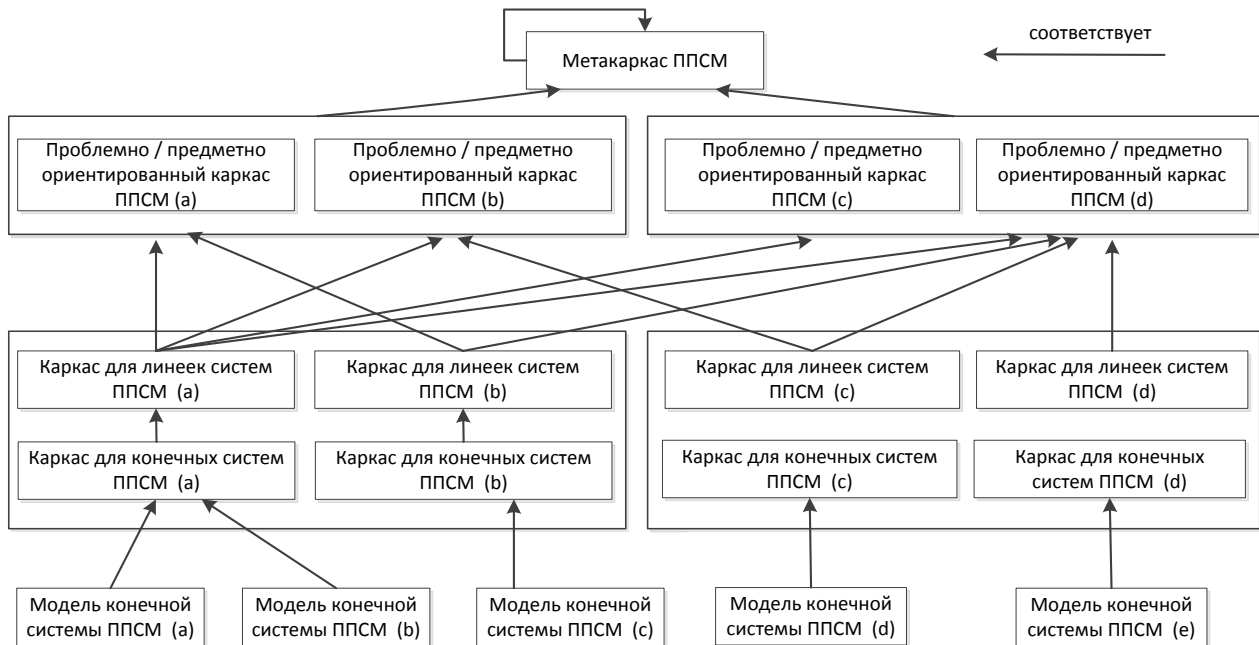


Рис.6 Иерархия архитектурных каркасов ППСМ

Разработан новый метод гибкого проектирования и сопровождения ППСМ. Он предусматривает разработку иерархии архитектурных каркасов (рис. 6), позволяющих строить модели систем различных уровней: уровня предметной области, линеек систем, семейств систем, конечных системы. Реализация моделей конечных систем обеспечивается за счет использования готовых программных решений.

Для ППСМ предложены типовые архитектурные решения, включающие новые трехслойные архитектуры. Разработана программная платформа, предоставляющая технологические и программные средства для создания ППСМ.

В пятой главе представлена система программно реализуемых методик построения моделей объектов мониторинга, включающая общую и частные методики построения моделей объектов для решения прикладных задач с применением разработанных моделей и методов. Предложены средства для построения моделей наблюдаемых объектов по данным мониторинга, сформулированы рекомендации по построению моделей объектов,

представлены результаты применения разработанного аппарата синтеза при решении задач в предметных областях.

Общая методика определяет способы решения задач построения моделей объектов с применением разработанных моделей и методов многоуровневого синтеза. В структурной схеме методики выделяются три контура, которые обеспечивают синтез формальных моделей, формирование конечных моделей на их основе, построение программных систем, позволяющих реализовать синтезированные модели на практике.

На основе общей методики строятся частные методики для предметных областей. В них определяются классы задач, решаемых в каждой из предметных областей, и критерии эффективности для оценки результатов. В частных методиках учитываются модели контента и контекста, характерные для предметных областей, предусматривается применение традиционно используемых в этих областях моделей и методов обработки данных.

Предложено программное средство, которое позволяет прикладным специалистам работать с данными, имеющимися в ППМС, а также выполнять настройку систем.

Сформулированы рекомендации по синтезу моделей объектов мониторинга. Они представлены в виде набора типовых решений, включающего язык для описания синтезируемых программ мониторинга, онтологические модели обработки данных мониторинга, открытую программную платформу построения моделей объектов.

Прикладные задачи синтеза моделей объектов решались для следующих предметных областей: объектов космического назначения, телекоммуникаций, практической и исследовательской медицины и океанографии. В ходе их решения разработано значительное число новых моделей и методов обработки данных, обеспечивающих обработку различных типов данных. Например, для области объектов космического назначения разработана графовая модель представления телеметрических сигналов, а для области медицины предложены новые методы вычисления комплексных показателей. Общее число новых моделей и методов составляет несколько десятков.

Для перечисленных прикладных областей разработаны программные системы. По результатам эксплуатации систем предметными специалистами, обладающими экспертными знаниями, подтверждена их эффективность.

Ниже приведены полученные результаты.

1. В области объектов космического назначения за счет применения разработанных моделей и методов многоуровневого автоматического синтеза автоматных моделей объектов обеспечено повышение точности и достоверности результатов обработки данных, получаемых от наблюдаемых объектов, существенное сокращение времени их обработки. Оценки даны специалистами космодромов и полигонов РФ по результатам решения задач восстановления характеристик объектов космической техники (ОКТ) по данным, передаваемым с них во время пусков, задач анализа состояния ОКТ по

результатам измерений их параметров при комплексной подготовке к пускам и их проведению и других. Обработка данных ракет - носителей семейства СОЮЗ показала, что применение ППСМ позволило сократить время их обработки с минут до секунд. При этом другие показатели не снизились. В частности, как с применением ППСМ, так и без них, процент достоверно решаемых задач составлял 85%-95%, обеспечивалась точность обработки порядка 98%.

2. В области океанографии использование разработанных моделей и методов синтеза позволило усовершенствовать существующие модели, применяемые при мониторинге, а также обеспечить адаптивность процедур обработки данных за счет внесения изменений в их конфигурацию и настройки параметров. Оценки даны специалистами Арктического и антарктического научно-исследовательского института (АНИИ). Результаты обработки данных по Баренцеву морю показали, что достоверность получаемых решений была увеличена в среднем на 15-17%, точность повысилась на 8-15%. Также обеспечено сокращение времени предоставления оперативных данных конечным пользователям. Время передачи данных от сети океанографических буев без использования ППСМ составляло от 12 до 24 часов. Внедрение новых систем позволило передавать потребителям порядка 85% данных практически без задержек.

3. В области практической и исследовательской медицины автоматический синтез моделей объектов позволил модифицировать постановки существующих задач, а также рассматривать принципиально новые, требующие использования сложных прикладных теорий. Оценки даны специалистами ФГБУ «НМИЦ им. В. А. Алмазова». Результаты обработки данных кардиологических больных, собранных более чем за десять лет, показали, что при решении задач комплексной оценки состояния пациентов в 99% случаев формируемые системой решения точно отражают динамику изменения состояния пациентов. В 1% случаев значения показателей оказались близкими к константным из-за противоречивости исходных данных. Такие же показатели точности обеспечиваются в условиях, когда обработка данных выполняется медицинскими специалистами вручную. Кроме того, ППСМ позволили на порядок повысить результативность назначения диагностических процедур. Для эхо кардиографического исследования этот показатель достиг 98%. До применения ППСМ исследование назначалось большинству пациентов, при этом в ряде случаев такая диагностика оказывалась не результативной.

4. В области телекоммуникаций существенно расширена область применения систем мониторинга сетей операторов кабельного телевидения за счет низкой стоимости их проектирования и сопровождения, а также удобства работы с ними конечных пользователей. Новые системы были развернуты в нескольких крупных и средних сегментах сетей в Северной Америке и Канаде в рамках проектов, реализуемых российско-американской компанией. До разработки ППСМ мониторинг, в основном, проводился специалистами

службы поддержки. При возникновении неисправностей они направлялись к пользователям или проводили удаленную диагностику и восстановление работоспособности устройств. Эффективность новых систем оценивалась на основе обработки статистических данных, собранных в ходе их эксплуатации. Общее число контролируемых пользовательских устройств составляло несколько миллионов. Применение ППСМ обеспечило автоматическое выявление 98,5% всех ошибок, возникающих в сети, что позволило сократить число специалистов службы поддержки более чем вдвое. Кроме того, при использовании ППСМ выявление и локализация ошибок стали занимать вместо часов минуты и секунды.

Пример практического применения моделей и методов синтеза в области телекоммуникаций. Возможности решения задач по своевременному выявлению и устранению возникающих ошибок определяются полнотой синтезированных моделей и вычислительной сложностью их синтеза. Полнота синтезируемых моделей телекоммуникационных сетей в части устройств, устанавливаемых у конечных пользователей, оценивалась исходя из числа своевременно выявленных и локализованных ошибок, возникающих при их работе. Модели устройств были построены по данным лог файлов. Пример модели, описывающей состояние устройства при возникновении одной из возможных ошибок и при ее отсутствии, показан на рис.7. Гистограммы отражают содержание лог файла одного из устройств. Рассматриваемый временной интервал составляет восемь минут. Время возникновения событий в лог файле регистрировалось с точностью до секунд. На рисунке для отображения одинаковых событий используется один цвет, высота столбцов гистограммы определяется числом зарегистрированных событий.



Рис 7. Синтезированные по лог файлам модели устройств при наличии (верхняя диаграмма) и отсутствии ошибки (нижняя диаграмма)

Модель сегмента сети, включающего несколько десятков тысяч пользовательских устройств, содержит сотни моделей, связанных между собой.

Оценка полноты синтезированных моделей была получена в результате сравнения числа ошибок, выявленных разработанной и внедренной системой построения моделей объектов, и числа ошибок, зарегистрированных специалистами службы поддержки сегмента сети. На одном из тестовых периодов длительностью в одну неделю были получены следующие результаты. Системой были зафиксированы ошибки четырех типов на 29 устройствах из всей популяции. Общее число выявленных ошибок составило 2422. Сравнение с данными за аналогичный период, предоставленными службой поддержки, показало, что системой выявлено 98,5% всех ошибок.

Сложность синтеза моделей объектов определяется числом операций, которые выполняются при сборе и обработке данных о наблюдаемых устройствах. Для оценки сложности исследовалась производительность разработанных систем. Для этого выполнялась генерация сообщений с различной частотой от 300 до 1000 с/с, которые подавались на вход системы (табл. 1). В результате было установлено, что максимально допустимая нагрузка на систему составляет 800 с/с, что превышает фактическую нагрузку практически в два раза.

Таблица 1. Сценарии оценки производительности ППСМ

| Сценарий оценки производительности | Продолжительность (секунды) | Отправлено сообщений | Интенсивность отправки | Ошибок отправки |
|------------------------------------|-----------------------------|----------------------|------------------------|-----------------|
| Сценарий 1 | 61174 | 19552411 | 300 с/с | 0 |
| Сценарий 2 | 2664 | 1332270 | 500 с/с | 0 |
| Сценарий 3 | 1203 | 962476 | 800 с/с | 0 |

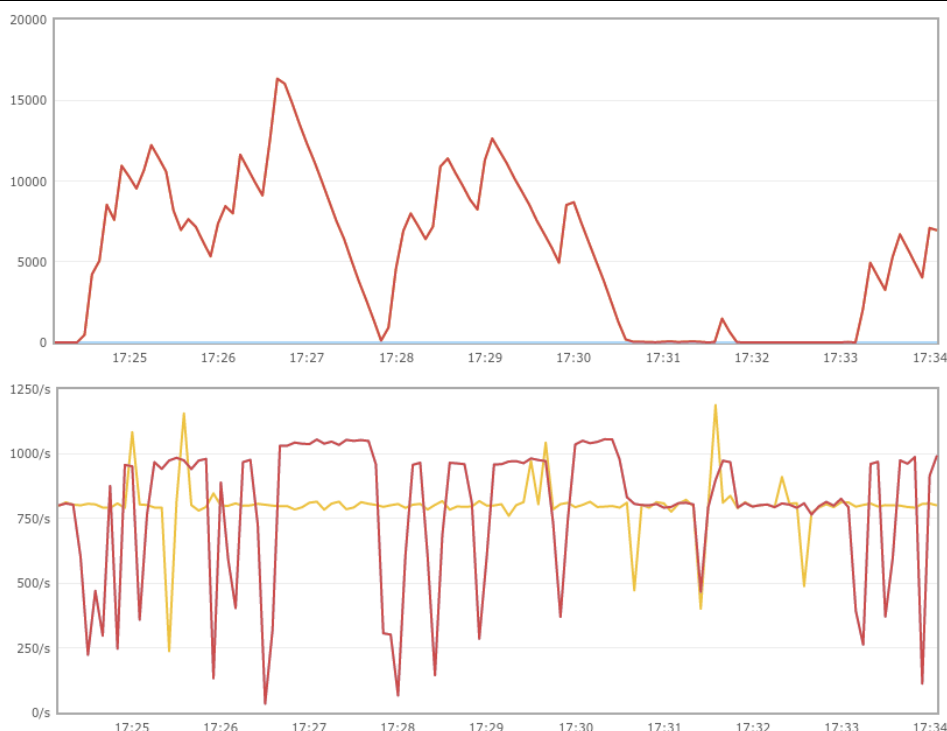


Рис.8 Поведение системы построения моделей объектов при нагрузке 800 с/с: зависимость длины очереди сообщений от времени работы (верхний график); зависимости числа полученных (нижний график, цвет желтый) и обработанных сообщений (нижний график, цвет красный) от времени работы

Наблюдавшееся поведение системы на временном интервале длительностью 15 минут при нагрузке 800 с/с показано на рис.8. Верхний график рис.8 показывает рост очереди числа сообщений, которые поступили в систему и ожидают обработки. Графики, расположенные в нижней части рис.8, показывают интенсивность генерации сообщений (график желтого цвета) и интенсивность их обработки (график красного цвета). Поведение графиков показывает, что на рассматриваемом временном интервале система работала стабильно.

Полученные результаты показали, что предложенные модели и методы многоуровневого синтеза имеют невысокую сложность, позволяющую их применять при решении практических задач. При применении методов одноуровневого синтеза не удавалось обеспечить выполнение ни одного из сценариев. Возможность автоматического выявления и локализации ошибок в работе сетей повлекло существенное сокращение временных затрат и затрат материальных ресурсов.

Подробные постановки других задач, ход их решения с использованием разработанных программных систем, а также развернутое описание и обоснование полученных результатов приведены в опубликованных монографиях автора. Монографии написаны совместно со специалистами предметных областей. Эффективность разработанного аппарата многоуровневого синтеза для решения прикладных задач в предметных областях подтверждается актами о внедрении ППСМ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Решена научная проблема разработки основ теории и методов многоуровневого автоматического синтеза автоматных моделей объектов мониторинга, отвечающих современным потребностям практики по снижению вычислительной сложности этого синтеза, имеющая существенное значение для развития народно-хозяйственной и оборонной отраслей. Получены следующие научные результаты:

1. Основы новой теории многоуровневого автоматического синтеза автоматных моделей объектов мониторинга, отличающейся оригинальными: концептуальной моделью синтеза многоуровневых перестраиваемых автоматных моделей, системой показателей и критериев эффективности, предусматривающей оценку полноты моделей и сложности их построения, формализмами математического описания иерархических относительно-конечных автоматов, математическими формулировками задач многоуровневого синтеза.

2. Новые индуктивно - дедуктивные методы многоуровневого автоматического синтеза автоматных моделей объектов мониторинга, основанные на новых постановках задач и методах их решения, включающих метод многоуровневого индуктивного синтеза, позволяющего строить модели объектов по поступающим от них данным, и метод многоуровневого

дедуктивного синтеза, позволяющий доказывать существование новых, ранее не рассматривавшихся моделей, в пространстве, построенном в результате индуктивного синтеза.

3. Новые методы многоуровневого автоматического синтеза автоматных моделей процессов и программ мониторинга, отличающиеся низкой вычислительной сложностью, обеспеченной за счет разработки оригинальных методов, позволяющих строить процессы мониторинга, основанные на доказательстве их существования с применением прямого нисходящего многоуровневого вывода, и программы мониторинга на основе обратного многоуровневого вывода.

4. Новые методы и модели многоуровневой трансформации данных, обеспечивающие возможность контентно адаптивной обработки результатов мониторинга за счет описания процессов обработки в общем виде и их поэтапной детализации до уровня программно-реализуемых с учетом содержания данных и условий синтеза моделей объектов.

5. Оригинальные методы и модели разработки проблемно- и предметно-ориентированных систем, описываемых в виде иерархии согласованных архитектурных и онтологических моделей, что позволяет применять гибкие методологии при их проектировании, создании и сопровождении.

6. Новая система методик построения моделей объектов по данным мониторинга для решения прикладных задач, отличающаяся от существующих тем, что обеспечивает полноту синтезируемых прикладных моделей и низкую сложность их синтеза, позволяет решать практические задачи с учетом их классов, показателей и критериев эффективности, используемых для оценки формируемых результатов, а также типов данных, обрабатываемых в предметных областях.

Результаты апробации разработанного аппарата многоуровневого синтеза при построении моделей объектов космического назначения, телекоммуникаций, практической и исследовательской медицины, океанографии с привлечением специалистов предметных областей подтвердили, что предложенные решения позволяют на практике обеспечить достижение требуемых показателей эффективности, включающих число успешно решенных задач, точность и достоверность решений, время, затрачиваемое на их формирование, а также стоимость разработки систем.

Результаты диссертационного исследования соответствуют следующим пунктам паспорта специальности 05.13.01 (технические системы):

1. Теоретические основы и методы системного анализа, оптимизации, управления, принятия решений и обработки информации.

2. Формализация и постановка задач системного анализа, оптимизации, управления, принятия решений и обработки информации.

4. Разработка методов и алгоритмов решения задач системного анализа, оптимизации, управления, принятия решений и обработки информации.

7. Методы и алгоритмы структурно-параметрического синтеза и идентификации сложных систем.

9. Методы разработки проблемно-ориентированных систем управления, принятия решений и оптимизации технических объектов.

Рекомендации, перспективы дальнейшей разработки темы диссертационных исследований.

Результаты диссертационного исследования могут быть использованы в перспективных НИР и ОКР, а также в учебном процессе при подготовке специалистов по решению проблем автоматизации мониторинга различных объектов и построения их моделей. Они также могут быть востребованы при модернизации существующих систем мониторинга.

Дальнейшие исследования по тематике диссертации целесообразно проводить в направлении развития многоуровневого автоматического синтеза процессов мониторинга, ориентированных на решение прикладных задач в предметных областях.

СПИСОК ОСНОВНЫХ ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи из «Перечня российских рецензируемых научных журналов, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание учёных степеней доктора и кандидата наук», рекомендованного ВАК

1. Жукова, Н.А. Общая и частные задачи многоуровневого синтеза моделей объектов мониторинга // Научно-техническая информация. Сер. 2, Информационные процессы и системы. – 2019. – № 11. – С. 16–22.

2. Жукова, Н. А. Онтологические модели трансформации данных о состоянии технических объектов / Н. А. Жукова // Онтология проектирования. – 2019. – Т. 9. – № 3 (33). – С. 345–360.

3. Жукова, Н. А. О возможностях синтеза многоуровневых моделей объектов / Н. А. Жукова // Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ». – 2019. – № 10. – С. 16–21.

4. Мультимодельный подход к построению систем мониторинга / А. И. Водяхо, Н. А. Жукова, С. А. Аббас, М. А. Червонцев // Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ». – 2019. – № 7. – С. 5–13.

5. Когнитивные технологии в управлении мониторингом / А. И. Водяхо, В. Ю. Осипов, Н. А. Жукова, М. А. Червонцев // Научно-техническая информация. Сер. 2, Информационные процессы и системы. – 2019. – № 4. – С. 1–12.

6. Жукова, Н. А. Проблема когнитивного мониторинга распределенных объектов / Н. А. Жукова, Н. Р. Андриянова // Научно-техническая информация. Сер. 2, Информационные процессы и системы. – 2019. – № 2. – С. 18–29.

7. Вычислительные модели когнитивных систем мониторинга / А. И. Водяхо, Н. А. Жукова, Н. В. Климов, О. О. Луковенкова, В. Ю. Осипов, А. Б.

Тристанов // Морские интеллектуальные технологии. – 2018. – Т. 3. – № 4 (42). – С. 147–153.

8. Жукова, Н. А. Архитектурное проектирование систем мониторинга состояния сложных технических и природных систем / Н. А. Жукова, А. И. Водяхо, М. А. Червонцев // Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ». – 2018. – № 7. – С. 38–46.

9. Лебедев, С. В. Слияние медицинских данных на основе онтологий / С. В. Лебедев, Н. А. Жукова // Онтология проектирования. – 2017. – Т. 7, № 2 (24). – С. 145–159.

10. Водяхо, А. И. Онтологический подход к построению систем мониторинга ресурсов в сетях кабельного телевидения / А. И. Водяхо, Н. Г. Мустафин, Н. А. Жукова // Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ». – 2017. – № 2. – С. 29–38.

11. Система обработки текстовых медицинских данных / М. В. Лапаев, А. И. Водяхо, А. Б. Смирнов, Н. А. Жукова // Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ». – 2016. – № 9. – С. 16–21.

12. Модели представления данных в области медицины / Д. А. Коробов, М. В. Лапаев, А. И. Водяхо, Н. А. Жукова // Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ». – 2016. – № 7. – С. 7–13.

13. Жукова, Н. А. Гармонизация, интеграция и слияние многомерных измерений параметров природных и технических объектов в системах мониторинга / Н. А. Жукова // Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ». Сер. Информатика, управление и компьютерные технологии. – 2014. – Вып. 2. – С. 27–33.

14. Применение алгоритма WOLA в задачах мониторинга широкого частотного диапазона / Д. И. Каплун, Н. А. Жукова, Д. М. Клионский, А. Л. Олейник, А. С. Вознесенский, В. В. Гульванский, А. А. Петровский // Известия вузов России. Радиоэлектроника. – 2013. – Вып. 4. – С. 40–45

15. Применение полифазных банков фильтров в задачах мониторинга широкого частотного диапазона / А. С. Вознесенский, В. В. Гульванский, Н. А. Жукова, Д. И. Каплун, Д. М. Клионский, А. Л. Олейник, А. А. Петровский // Известия вузов России. Радиоэлектроника. – 2013. – Вып. 3. – С. 38–43.

16. Жукова, Н. А. Методы адаптивной обработки и анализа метеорологических и океанографических данных в Арктическом регионе / Н. А. Жукова, О. В. Смирнова // Труды СПИИРАН. – 2013. – № 7. – С. 258–272.

17. Жукова, Н. А. Метод нечеткого сравнения телеметрических параметров на основе алгоритмов интеллектуального анализа данных / Н. А. Жукова, И. С. Соколов, А. В. Экало // Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ». Сер. Информатика, управление и компьютерные технологии. – 2013. – Вып. 9. – С. 25–29.

18. Васильев, А. В. Методы оценивания информативности результатов опытной эксплуатации сложных многопараметрических объектов в условиях неопределенности / А. В. Васильев, Н. А. Жукова // Известия СПбГЭТУ

«ЛЭТИ». Сер. Информатика, управление и компьютерные технологии. – 2013. – Вып. 9. – С. 63–67.

19. Архитектурный фреймворк, ориентированный на поддержку процесса разработки многомерных измерений параметров пространственно распределенных объектов. Архитектурный подход к управлению ИТ-сервисами / А. И. Водяхо, С. С. Голяк, С. А. Гордеев, Н. А. Жукова // Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ». – 2013. – № 4. – С. 24–29.

20. Жукова, Н. А. Архитектурный подход к построению систем обработки многомерных измерений параметров пространственно распределенных объектов / Н. А. Жукова, А. И. Водяхо // Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ». – 2013. – № 2. – С. 21–27.

21. Витол, А. Д. Метод построения статистических моделей технологических циклов управления космическими аппаратами / А. Д. Витол // Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ». Сер. Информатика, управление и компьютерные технологии. – 2012. – Вып. 7. – С. 31–37.

22. Доменно-онтологический подход к проектированию интеллектуальных систем сбора и обработки телеметрической информации / А. И. Водяхо, Н. А. Жукова, М. Г. Пантелеев, Д. В. Пузанков // Известия высших учебных заведений России. Радиоэлектроника. – 2011. – № 1. – С. 28–35.

23. Жукова, Н. А. Метод восстановления структуры группового телеметрического сигнала на основе графовой модели / Н. А. Жукова, И. С. Соколов // Труды СПИИРАН. – 2010. – № 2. – С. 45–66.

24. Васильев, А. В. Применение методов распознавания образов в задаче контроля состояния сложных технических объектов / А. В. Васильев, А. О. Дерипаска, Н. А. Жукова // Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ». Сер. Информатика, управление и компьютерные технологии. – 2010. – Вып. 10. – С. 88–93.

25. Васильев, А. В. Определение семантического состава группового телеметрического сигнала / А. В. Васильев, А. Д. Витол, Н. А. Жукова // Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ». Сер. Информатика, управление и компьютерные технологии. – 2010. – Вып. 10. – С. 18–23.

26. Балтрашевич, В. Э. Графовая модель группового телеметрического сигнала со сменой кадра / В. Э. Балтрашевич, Н. А. Жукова, И. С. Соколов // Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ». Сер. Информатика, управление и компьютерные технологии. – 2010. – Вып. 10. – С. 12–17.

27. Жукова, Н. А. Программный комплекс обработки оперативной информации от сложных динамических объектов / Н. А. Жукова, А. Р. Лисс // Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ». Сер. Информатика, управление и компьютерные технологии. – 2010. – Вып. 5. – С. 67–72.

28. Водяхо, А. И. Интеграция технологий и наследование знаний как средства повышения эффективности процесса разработки информационных систем / А. И. Водяхо, Н. А. Жукова, М. Г. Пантелеев // Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ». – 2010. – № 5. – С. 61–66.

29. Онтологический подход к проектированию проблемно-ориентированных информационных систем / А. И. Водяхо, Н. А. Жукова, М. Г. Пантелеев, Д. В. Пузанков // Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ». – 2010. – № 5. – С. 46–51.

30. Идентификация телеметрических параметров с использованием нейронных сетей / А. В. Васильев, В. В. Геппенер, И. В. Горбачева, Н. А. Жукова, И. С. Соколов // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. – 2009. – № 11. – С. 39–44.

31. Идентификация сложных динамических объектов с использованием шаблонов телеметрических параметров / А. В. Васильев, В. В. Геппенер, И. В. Горбачева, Н. А. Жукова, А. Б. Тристанов // Нейрокомпьютеры: разработка применение. – 2009. – № 3. – С. 44–49.

32. Водяхо, А. И. Адаптивные алгоритмы выявления чрезвычайных ситуаций в условиях ледовой обстановки / А. И. Водяхо, Н. А. Жукова // Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ». Сер. Информатика, управление и компьютерные технологии. – 2014. – Вып. 10. – С. 15–21.

33. Жукова, Н. А. Шаблоны проектирования объектно-ориентированных интеллектуальных геоинформационных систем / Н. А. Жукова // Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ». Сер. Информатика, управление и компьютерные технологии. – 2014. – Вып. 6. – С. 20–26.

Статьи в изданиях, входящих в базы цитирования SCOPUS и WoS

34. Tianxing, M. A Knowledge-Oriented Recommendation System for Machine Learning Algorithm Finding and Data Processing / M. Tianxing, N. Zhukova etc. // International Journal of Embedded and Real-Time Communication Systems (IJERTCS). – 2019. – Vol. 10, Iss. 4. – Art. 2. – P. 20–38.

35. A Bayesian Information Criterion for Unsupervised Learning Based on an Objective Prior / I. Baimuratov, Yu. Shichkina, E. Stankova, N. Zhukova, Nguyen Than // Proceedings of International Conference on Computational Science and Its Applications (ICCSA 2019). – Springer, Cham., 2019. – P. 707–716.

36. Automatic Synthesis of Multilevel Automata Models of Biological Objects / V. Osipov, M. Lushnov, E. Stankova, A. Vodyaho, Yu. Shichkina, N. Zhukova // Proceedings of International Conference on Computational Science and Its Applications (ICCSA 2019). – Springer, Cham., 2019. – P. 441–456.

37. Knowledge-Based Computational Environment for Real-World Data Processing / M. Tianxing, N. Zhukova, V. Meltsov, Y. A. Shichkina // International Conference on Computational Science and Its Applications. Lecture Notes in Computer Science. – Springer, Cham., 2017. – Vol. 10404. – P. 257–269.

38. Cognitive Technologies in Monitoring Management / A. I. Vodyaho, V. U. Osipov, N. A. Zhukova, M. A. Chervontsev // Automatic Documentation and Mathematical Linguistics. – 2019. – Vol. 53, Iss. 2. – P. 71–80.

39. Zhukova, N. A. Cognitive Monitoring of Distributed Objects / N. A. Zhukova, N. R. Andriyanova // Automatic Documentation and Mathematical Linguistics. – 2019. – Vol. 53, Iss. 1. – P. 32–43.

40. Distributed Technical Object Model Synthesis Based on Monitoring Data / V. Yu. Osipov, A. I. Vodyaho, N. A. Zhukova, M. Tianxing, S. Lebedev // *International Journal of Knowledge and Systems Science (IJKSS)*. – 2019. – Vol. 10, Iss. 3. – Art. 3. – P. 27–43.
41. Computational and technological models of cognitive monitoring systems / V. U. Osipov, A. I. Vodyaho, N. V. Klimov, N. A. Zhukova, M. A. Chervontsev // *Advances in Science, Technology and Engineering Systems Journal*. – 2019. – Vol. 2, Iss. 1. – P. 197–202.
42. Cognitive systems for monitoring: Architectural view / M. Chervontsev, A. Vodyaho, N. Zhukova, A. Ekalo, E. Postnikov, V. Osipov // *Advances in Science, Technology and Engineering Systems Journal*. – 2019. – Vol. 4, Iss. 3. – P. 117–125.
43. An Ontology-driven Toolset for Fast Prototyping of Medical Data Processing Systems / S. Lebedev, A. Vodyaho, N. Zhukova, D. Kurapeev, M. Lushnov // *International Journal of Biology and Biomedical Engineering*. – 2017. – Vol. 11. – P. 135–142.
44. Multilevel Automatic Synthesis of Behavioral Programs for Smart Devices / V. Osipov, A. Vodyaho, N. Zhukova, P. Glebovsky // *Control, Artificial Intelligence, Robotics & Optimization (ICCAIRO 2017)*. – IEEE, 2017. – P. 335–340.
45. Baymuratov, I. Logical and Mathematical Models of Data Fusion / I. Baymuratov, N. Zhukova // *Control, Artificial Intelligence, Robotics & Optimization (ICCAIRO 2017)*. – IEEE, 2017. – P. 121–126.
46. Finding motifs in Medical Data / V. Osipov, E. Stankova, A. Vodyaho, B. Zeno // *17th International Conference, Computational Science and Its Applications (ICCSA 2017) (Trieste, Italy, July 3–6, 2017)*. *Lecture Notes in Computer Science*. – Springer, Cham., 2017. – Part 5. – Vol. 10408. – P. 371–386.
47. Inductive Synthesis of the Models of Biological Systems According to Clinical Trials / V. Osipov, M. Lushnov, E. Stankova, A. Vodyaho // *International Conference on Computational Science and Its Applications (ICCSA 2017)*. *Lecture Notes in Computer Science*. – Springer, Cham., 2017. – Vol. 10404. – P. 103–115.
48. Medical text processing for SMDA project / M. Lushnov, T. Sanfin, M. Lapaev, N. Zhukova // *ESWC 2016 (Heraklion, Greece, May 29, 2016)* // *RichMedSem Workshop CEUR Proceedings*. – 2016. – Vol. 1613. – P. 1–13.
49. Medical Knowledge Representation for Evaluation of Patient's State Using Complex Indicators / M. Lushnov, V. Kudashov, A. Vodyaho, M. Lapaev, N. Zhukova, D. Korobov // *International Conference on Knowledge Engineering and the Semantic Web*. – Springer International Publishing, 2016. – C. 344–359.
50. Vodyaho, A. I. Implementation of Agile Concepts in Recommender Systems for Data Processing and Analyses / A. I. Vodyaho, N. A. Zhukova // *Communications in Computer and Information Science*. Vol. 542: *Analysis of Images, Social Networks and Texts*. 4th International Conference, AIST 2015 (Yekaterinburg, Russia, April 9–11, 2015). – Springer, 2015. – P. 443–457.

51. Zhukova N. Dynamic Resources Management in Agile IGIS / N. Zhukova // Information Fusion and Geographic Information Systems (IF&GIS' 2015): 7th International Workshop on Information Fusion and Geographic Information Systems: Deep Virtualization for Mobile (Grenoble, France, May 18–20, 2015) / Ed. by V. Popovich, C. Claramunt, M. Schrenk, K. Korolenko, J. Gensel. – Springer International Publishing, 2015. – P. 125–145. (Lecture Notes in Geoinformation and Cartography).
52. Vodyaho, A. System of Ontologies for Data Processing Applications Based on Implementation of Data Mining Techniques / A. Vodyaho, N. Zhukova // Proceedings of the 3rd International Conference on Analysis of Images, Social Networks and Texts, AIST 2014 (Yekaterinburg, Russia, April, 2014). – 2014. – Vol. 1197. – P. 102–116.
53. Vitol, A. D. Model for knowledge representation of multidimensional measurements processing results in the environment of intelligent GIS / A. D. Vitol, A.V. Pankin, N. A. Zhukova // Proceedings of the 20th International Conference on Conceptual Structures (India, Mumbai, Jan. 10–12, 2013). – Berlin; Heidelberg: Springer, 2013. – P. 266–276.

Монографии

54. Когнитивный мониторинг телекоммуникационных сетей [Текст]: Монография / В. Ю. Осипов, А. Калмацкий, А. И. Водяхо, Н. А. Жукова, П. А. Глебовский. – СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2018. – 202 с.
55. Когнитивные информационные системы мониторинга [Текст]: Монография / А. В. Васильев, А. И. Вайнтрауб, А. И. Водяхо, Н. А. Жукова, Д. И. Курапеев, М. С. Лушнов, Н. А. Смирнов. – СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2017. – 200 с.
56. Водяхо, А. И. Архитектурный подход к построению адаптивных интеллектуальных систем анализа многомерных измерений параметров пространственно соотнесенных объектов [Текст]: Монография / А. И. Водяхо, Н. А. Жукова. – СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2014. – 228 с.
57. Интеллектуальные географические информационные системы для мониторинга морской обстановки [Текст] / М.В. Цветков, С.Н. Потапычев, Н.А. Жукова и др.// Под общ. ред. чл.-кор. РАН Р. М. Юсупова и д-ра техн. наук В. В. Поповича. – СПб.: Наука, 2013. – 284 с.
58. Витол, А. Д. Технология адаптивной обработки измерительных данных [Текст]: Монография / А. Д. Витол, Н. А. Жукова. – СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2012.

Свидетельства РОСПАТЕНТа о государственной регистрации программ для ЭВМ, промышленных образцов, баз данных

59. Программа автоматического многоуровневого синтеза моделей объектов мониторинга [Текст] / В. Ю. Осипов, Н. А. Жукова, Н. В. Климов;

патентообладатель Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации Российской академии наук (СПИИРАН). № 2019662386; заявл. 10.10.2019; опубл. 14.10.2019.

60. Программа автоматического многоуровневого синтеза действий интеллектуальных машин [Текст] / В. Ю. Осипов, Н. А. Жукова, Н. В. Климов; патентообладатель Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации Российской академии наук (СПИИРАН). № 2018664168; заявл. 16.10.2018; опубл. 12.11.2018.

61. Модуль построения предикторов значений параметров систем организма / Д. И. Муромцев, Н. А. Жукова, С. В. Лебедев; патентообладатель Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики». № 2018612644; заявл. 29.12.2017; опубл. 21.02.2018.