

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
«Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники»

На правах рукописи

УДК 681.5-027.45

ЩЕГОЛЕВ
Вячеслав Валерьевич

**МЕТОДЫ, АЛГОРИТМЫ И ПРОГРАММНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ
АНАЛИЗА НАДЕЖНОСТИ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание степени
магистра техники и технологии

по специальности 1-38 80 04 «Технология приборостроения»

Минск 2018

Работа выполнена на кафедре проектирования информационно-компьютерных систем учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»

Научный руководитель: **Ефименко Сергей Афанасьевич**,
кандидат технических наук, доцент, главный конструктор ОАО «ИНТЕГРАЛ»-управляющая компания холдинга «ИНТЕГРАЛ»

Рецензент: **Полубок Владислав Анатольевич**,
кандидат технических наук, доцент, ведущий инженер программист Республиканского унитарного предприятия «Центр информационных технологий Национального статистического комитета Республики Беларусь»

Защита диссертации состоится «26» января 2018 г. года в 09⁰⁰ часов на заседании Государственной комиссии по защите магистерских диссертаций в учреждении образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» по адресу: 220013, г.Минск, ул. П.Бровки, 6, 1 уч. корп., ауд. 415, тел.: 293-20-80, e-mail: kafpiks@bsuir.by.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники».

КРАТКОЕ ВВЕДЕНИЕ

Катастрофические отказы и аварии сложных технических систем (СТС), характеризуются отсутствием не только представительной статистической выборки, но и отсутствием полной повторяемости их причинно-следственных связей. То есть катастрофические отказы и аварии являются уникальными процессами и событиями и для их прогнозирования невозможно использовать вероятностно-статистические методы или статистические методы должны рассматриваться на таком уровне структуры систем и их элементов, на котором можно выделить статистические объекты. Такой подход для оценки событий, составляющих сценарий формирования чрезвычайных ситуаций (ЧС), только формируется, и настоящая работа является определенным вкладом в такой подход.

Одной из основных задач фундаментальных исследований является разработка методов прикладных исследований, включающей базовые положения, методики, математические модели и принципы обоснования решений при проведении исследований. Методология системного анализа требует развития для эффективного решения прикладных задач, например, таких как обеспечение надежности и безопасности сложных технических систем.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования

Проблема возникновения аварий и техногенных катастроф вследствие нарушения безопасности сложных технических систем (СТС) обостряется, несмотря на организационно-методические и научно-технические методы, мероприятия и решения. Катастрофические отказы и аварии являются уникальными процессами и событиями. Количество взрывов, пожаров и выбросов ядовитых веществ в промышленности, энергетике и на трубопроводном транспорте не снижается. По различным оценкам ежегодный ущерб от чрезвычайных ситуаций в последние годы составляет около 7% объема ВВП. Невосполнимы ежегодные потери человеческого и природного потенциала в результате чрезвычайных ситуаций (ЧС).

Социальные, экономические и экологические последствия аварий и техногенных катастроф обуславливают необходимость совершенствования научных основ обеспечения надежности и безопасности СТС и разработка методов прикладных исследований, методики, математические модели и принципы обоснования решений при проведении исследований.

Степень разработанности проблемы

На сегодняшний день существует достаточно большое количество работ в области анализа сложных технических систем.

В современных условиях использование информационных технологий поддержки жизненного цикла является одним из ключевых факторов поддержания высокой надежности и готовности к применению сложных наукоемких технических систем на этапе их эксплуатации.

Наиболее значимые результаты были получены русскими учеными, которые проводили исследования в таких областях, как управление промышленной безопасностью, теория катастроф, методологические аспекты управления риском (Борзенков С.Л., Полозов В.А., Александров А.А., Арнольд В.И.)

Одним из недостатков в представленной литературе является то, что существующие методы и модели не включают всей совокупности мультидисциплинарных знаний и алгоритмов их обработки для обеспечения свойств надежности и техногенной безопасности таких объектов на всех стадиях их жизненного цикла. Не обеспечивают эффективного взаимодействия и принятия согласованных решений специалистами, создающими и эксплуатирующими опасные техногенные объекты.

Цель и задачи исследования

Разработать методологию создания инструментального средства для исследования мультидисциплинарной проблемы надежности и безопасности СТС, базирующуюся на агрегировании разработанных и существующих моделей, знаний и опыта, отражающих динамику состояний СТС. Для выполнения поставленной цели в работе были сформулированы **следующие задачи:**

- анализ исследования мультидисциплинарной проблемы надежности и безопасности сложных технических систем;
- анализ методов построения инструментального средства для исследования свойств надежности и безопасности сложных технических и уникальных механических систем;
- обзор методов исследования надежности и безопасности сложных технических систем и инструментальные средства для исследования надежности и безопасности сложных технических систем.

Область исследования. Содержание диссертационной работы соответствует образовательному стандарту высшего образования второй ступени (магистратуры) специальности 1-38 80 04 «Технология приборостроения»

Теоретическая и методологическая основа исследования

В основу диссертации легли работы белорусских и зарубежных ученых, а также анализ технических нормативных правовых актов по рассматри-

ваемой тематике.

Информационная база исследования сформирована на основе литературы, открытой информации, технических нормативно-правовых актов, сведений из электронных ресурсов, а также материалов научных конференций и семинаров.

Информационная база исследования надежности сложных технических систем сформирована на основе ранее проведенных исследований в данной области с последующим применением в проектировании.

Научная новизна Полученные в работе результаты направлены на развитие методов системного анализа, управления и обработки информации для решения актуальной прикладной проблемы исследования и обеспечения надежности и безопасности уникальных механических и сложных технических систем. Декомпозиция проблемы, обоснование задач, структурирование и выявление связи между данными и знаниями различных научных направлений и дисциплин, необходимых для решения задач надежности и безопасности СТС, обеспечивает взаимодействие специалистов на всех стадиях жизненного цикла технических объектов. Модели и алгоритмы исследования являются вкладом в методологию исследования, агрегирующую общепринятые знания, специализированные знания и данные различных отраслей науки и прикладных дисциплин. Применение программной системы обеспечивает имитационное моделирование, позволяющее прогнозировать изменение состояния опасных объектов на любой стадии жизненного цикла.

Основные положения, выносимые на защиту

1. Систематизация информации исследования мультидисциплинарной проблемы надежности и безопасности сложных технических систем.
2. Методы построения инструментального средства для исследования свойств надежности и безопасности сложных технических и уникальных механических систем.
3. Обзор и результаты инструментальных методов исследования надежности и безопасности сложных технических систем.

Теоретическая значимость диссертации заключается в том, что в ней предложен подход для оценки событий составляющих сценарий формирования ЧС, и данная работа является определенным вкладом в такой подход.

Практическая значимость Полученные научные результаты использованы при решении задач и обосновании рекомендаций, направленных на систематизированный сбор и анализ информации для построения систем принятия решений, построения моделей исследования и прогнозирования, направленных на обеспечение надежности и безопасности сложных технических объектов, и при разработке различных программных документов, программных продуктов.

Опубликование результатов диссертации

Изложенные в диссертации основные положения и выводы опубликованы в 6 печатных работах. В их числе 6 статей в сборниках материалов научных конференций.

Структура и объем работы. Структура диссертационной работы обусловлена целью, задачами и логикой исследования. Работа состоит из введения, трёх глав и заключения, библиографического списка и приложений. Общий объем диссертации – 110 страницы. Работа содержит 19 рисунка. Библиографический список включает 68 наименования.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** рассмотрено современное состояние проблемы сложных технических систем, указаны основные направления исследований, проводимых по данной тематике, а также описано обоснование актуальности темы.

В **общей характеристике работы** сформулированы ее цель и задачи, показана актуальность проводимых исследований, степень разработанности проблемы, сформулированы цель и задачи диссертации, обозначена область исследований, научная (теоретическая и практическая) значимость исследований.

В **первой главе** приведен обзор методологии системного анализа и принятия решений при исследовании мультидисциплинарной проблемы надежности и безопасности сложных технических систем.

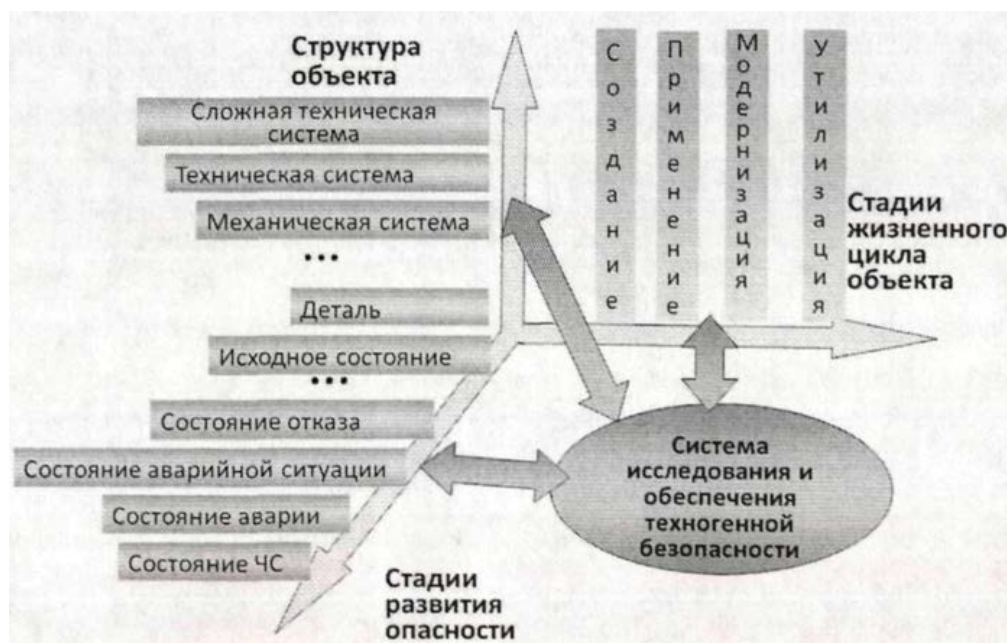


Рисунок 1 – Мультидисциплинарность проблемы создания и применения надежных и безопасных СТС

Анализ состояния проблем и задач техногенной безопасности позволяет сделать следующие выводы:

– Проблема техногенной безопасности является мультидисциплинарной. Аналитические и эмпирические модели имеются только в пределах отдельных научных отраслей и дисциплин, связанных с отдельными стадиями и этапами создания и применения СТС и УМС. Из-за этого не обеспечивается взаимоувязанное, по всем этапам и стадиям создания и применения СТС, исследование возможных причин отказов, аварий и техногенных катастроф, обоснование свойств безопасности, точность оценки уровня техногенной безопасности объекта. Отсутствует в полной мере обоснованная и общепринятая теория, отражающая закономерности изменения безопасно (СТС) и обеспечивающая прогнозирование вида и типа катастрофических отказов и аварий. Методы прикладных исследований не всегда обеспечивает выявление закономерностей нарушения техногенной безопасности, представленных причинно-следственным комплексом механофизико-химических процессов, обуславливающих деградацию и состояния компонентов и элементов СТС, на всех стадиях и этапах жизненного цикла.

– Системный анализ, моделирование, в том числе имитационное (ИМ), становятся все более распространенными методами исследования, и используется для решения задач техногенной безопасности. При этом, ИМ используется в совокупности с программными системами различного назначения.

– Использование информационных технологий и искусственного интеллекта, при адекватном применении методов моделирования, может обеспечить эффективное исследование и обеспечение техногенной безопасности.

– На стадии становления находится подход к построению математических моделей катастрофических отказов, аварий и ЧС с позиций их механофизико-химической природы.

– Доступные для ознакомления инструментальные программные средства направлены на выполнение конструкторских и проектных расчетов в соответствие с существующими, в той или иной стране, стандартами и нормативными требованиями.

Описания инструментальных средств, для выполнения исследований, направленных на поиск решений, обеспечивающих повышение надежности и безопасности на всех стадиях жизненного цикла, не удалось обнаружить в научно-технической литературе.

Постановка задач исследования:

– Разработать методы создания инструментального средства для исследования мультидисциплинарной проблемы надежности и безопасности сложных технических систем (СТС), базирующуюся на агрегировании разработанных и существующих моделей, знаний и опыта, отражающих дина-

мику состояний СТС.

– Выявить и формализовать закономерности изменения состояний СТС и входящих в их состав Уникальных Механических Систем (УМС) на основе знаний физики и механики отказов и аварий, опыта моделирования физики отказов, для обеспечения возможности обоснования адекватных методов прогнозирования, диагностирования и генезиса технического состояния изучаемых объектов.

– Разработать и агрегировать в систему исследования модели динамики состояний УМС и СТС, отражающие основные процессы, явления и события, обуславливающие изменение состояний и приводящие к катастрофическим отказам, авариям и техногенным ЧС.

– Обосновать иерархию и рекурсивность задач исследования, отражающих мультидисциплинарность процесса обеспечения безопасности СТС и УМС на стадиях создания и применения.

– Разработать имитационную модель динамики состояний СТС и УМС и соответствующие этой динамике методы и средства исследования и обеспечения техногенной безопасности.

– Разработать алгоритм процесса исследования в виде набора этапов, операций, процедур и действий соответствующих иерархической и итерационной структуре имитационной модели;

– Разработать концепцию применения информационных технологий, искусственного интеллекта и структуру программной системы для автоматизации исследований и обеспечения техногенной безопасности;

– Разработать инструментальное средство для накопления данных и знаний, обеспечивающее проведение эффективных вычислительных экспериментов на моделях различного типа (структурных, математических, логических и др.), для анализа опасностей и синтеза свойств безопасности;

– Идентифицировать параметры моделей, обуславливающие и характеризующие механические, физико-химические и иные закономерности изменения состояний УМС и СТС, приводящие к катастрофическим отказам, с помощью разработанного инструментального средства.

Во второй главе изучена методология построения инструментального средства для исследования свойств надежности и безопасности сложных технических и уникальных механических. Были сделаны следующие выводы:

– Разработан метод декомпозиции состояний СТС по этапам жизненного цикла, структуре объекта, по информационным уровням и классам динамики состояний на каждом информационном и структурном уровнях. Применение метода декомпозиции изложено в гл. 3.

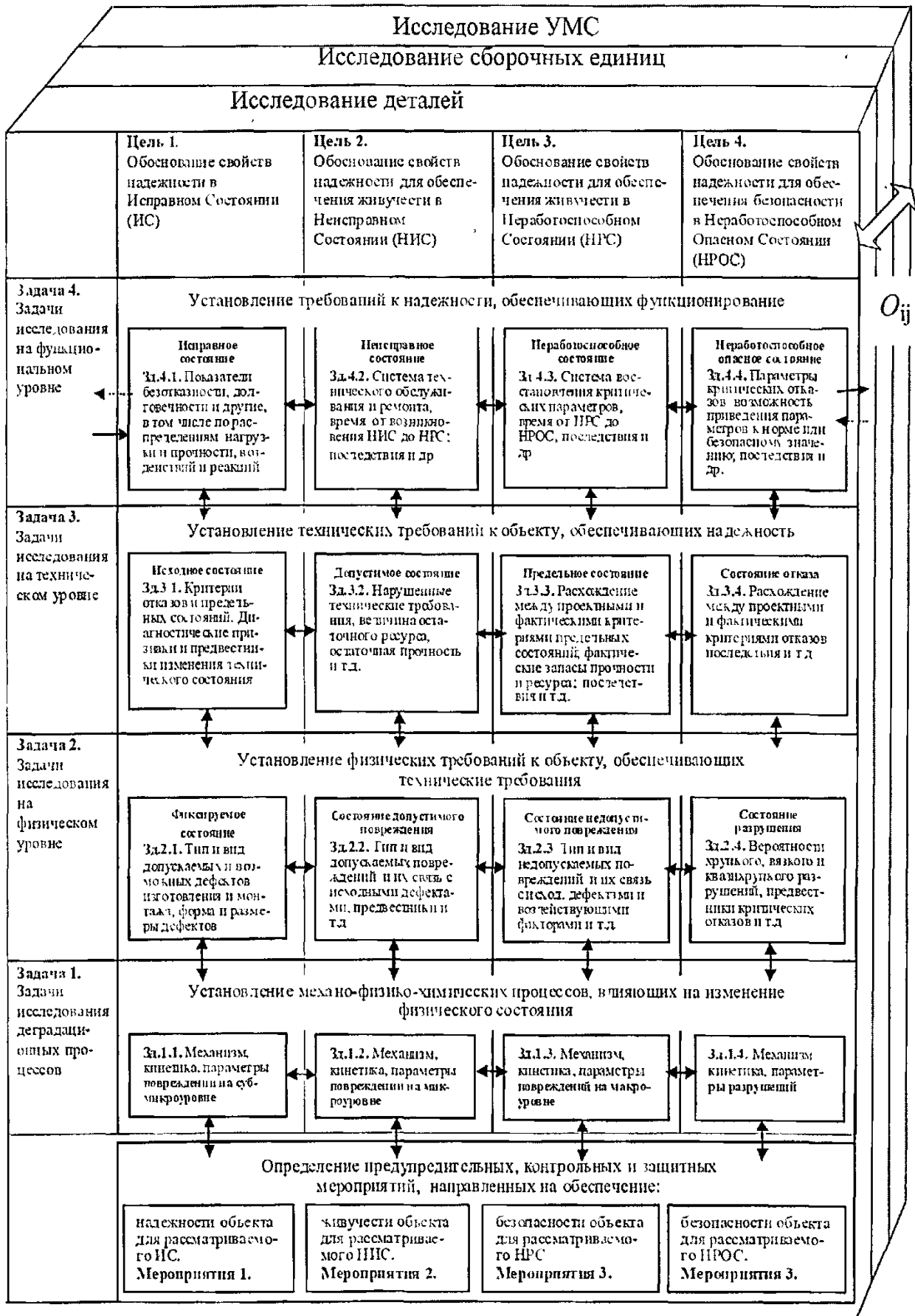


Рисунок 2 – Модель процесса исследования надежности

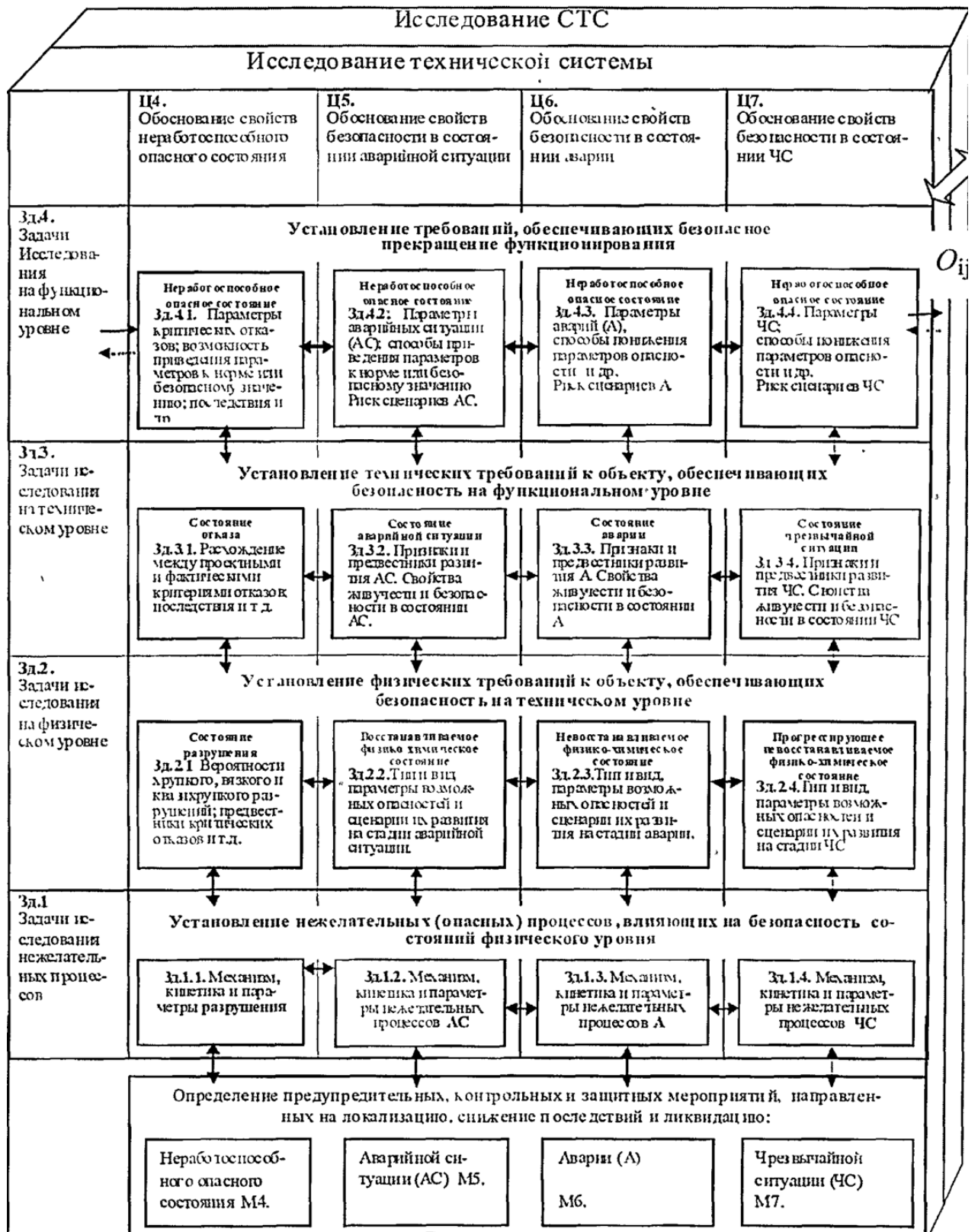


Рисунок 3 – Модель процесса исследования безопасности

– Обоснованы подходы, принципы, методы и модели, положенные в основу методологии построения инструментального средства исследования

надежности и безопасности СТС;

– Предложено рассматривать совокупность параметров повреждения, разрушения и катастрофического отказа деталей, сборочных единиц и Уникальных Механических систем (УМС) как состояния, обусловленные протеканием в них механо-физико-химических деградиационных процессов, обусловленных выполнением ими рабочих функций;

– Предложено рассматривать совокупность параметров аварийной ситуации, аварии и техногенной ЧС как состояния, характеризующие сложную техническую систему вследствие катастрофического отказа механической (их) системы и обусловленные нежелательными процессами распространения опасных веществ в окружающем пространстве, горения, взрывов.

– Разработана модель декомпозиции СТС и УМС на подсистемы, представленные информационными уровнями взаимосвязанных и взаимообусловленных параметров состояний, обеспечивающими решение задач

– Разработана модель декомпозиции СТС и УМС на классы состояний в пределах каждого информационного уровня;

В третьей главе сделаны следующие выводы:

– Обоснованы требования к инструментальному средству на основе алгоритма исследования и имитационной модели.

– Разработана архитектура инструментального средства.

– Определены функции инструментального средства.

– Реализован исследовательский прототип специализированного инструментального средства, обеспечивающий имитационное моделирование динамики технического состояния и поддержку принятия решений исследователем при решении задач идентификации, прогнозирования и генезиса технического состояния, являющихся составной частью обеспечения техногенной безопасности СТС и позволяющих прогнозировать параметры приближения катастрофических отказов, аварийных ситуаций, аварий и техногенных ЧС.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе системного анализа, формализации, абстрагирования, обобщения, аналогии, моделирования и других научных методов осмысления результатов эмпирических исследований, включающих наблюдение, эксперимент, сравнение, описание и измерение и отраженных в специальной научно-технической литературе получены следующие результаты:

Разработаны методы построения инструментального средства для исследования свойств надежности и безопасности функционирования СТС, ко-

торая обеспечивает структурирование, представление, накопление, обработку и использование информации из различных научных дисциплин[3]. Предложен метод декомпозиции объекта исследования, обеспечивающий анализ и структурирование проблем и задач исследования свойств надежности и безопасности СТС [1,4]. Создана причинно-следственная модель объекта, описывающая функциональный, технический, физический аспекты процесса изменения состояний и обеспечивающая структурирование и представление информации для исследования и принятия решений [5].

Разработан метод агрегирования математических, логических и информационных моделей данных и знаний, алгоритмов их обработки, который позволяет обрабатывать разнородную и взаимосвязанную информацию по заданной проблеме. Разработана гибридная информационная модель динамики состояний технической системы, которая позволяет выявлять закономерности изменения состояний объекта.

Разработаны модели и методы обработки причинно-следственной информации на основе прецедентного и продукционного подходов для обеспечения поддержки принятия решений при выборе свойств надежности и безопасности объекта. Разработан алгоритм, архитектура и исследовательская версия специализированного инструментального средства включающий модули онтологии, экспертных систем, для прогноза параметров наступления аварий и техногенных ЧС и осуществлять поддержку принятия решений по предупреждению, ликвидации ЧС [2].

Приведены результаты применения предложенной методов автоматизации исследований для прогнозирования технического состояния уникальной механической системы «трубчатый реактор», являющейся компонентом СТС «производство полиэтилена низкой плотности».

Практическая ценность работы заключается в применении полученных результатов для решения задач обеспечения техногенной безопасности и сопутствующих им задач анализа и оценки риска аварийных ситуаций.

Научные результаты использованы при разработке различных программных документов, программных систем, решении некоторых задач и обосновании рекомендаций, направленных на обеспечение техногенной безопасности сложных технических объектов.

Дальнейшие исследования должны быть направлены на:

- повышение универсальности агрегирования моделей, знаний и опыта;
- обеспечение точности моделей, отражающих закономерности изменения технического состояния объектов и приближения признаков техногенных ЧС;
- повышение адекватности представления, извлечения и обработки знаний;

- расширение специализированной онтологии за счет автоматизированного ввода данных и знаний из электронных источников;
- создание мультиагентной системы имитационного моделирования свойств надежности и безопасности сложных технических систем на основе использования разнородной информации;
- создание полно функционального инструментального средства для исследования надежности и безопасности сложных технических систем.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ

Статьи в сборниках материалов научных конференций

[1] Щеголев В.В. Обзор программных комплексов расчета надежности технических систем/Щеголев В.В., Фисунов А.В., Богатко М.П. // Проблемы эффективности функционирования технических и информационных систем. Сборник материалов V международной научно-практической конференции (Россия, Санкт-Петербург, 16 января 2018 г.)

[2] Щеголев В.В. Концепция к постановке задачи принятия решений и выбору альтернатив при создании сложных технических систем/Щеголев В.В., Богатко М.П., Фисунов А.В. // ADVANCED SCIENCE. Сборник материалов II международной научно-практической конференции (Россия, Пенза, 17 января 2018 г.)

[3] Фисунов А.В. Обзор мер безопасности в системах электронного документооборота / А.В. Фисунов, М.П. Богатко, В.В. Щеголев // Вопросы современных научных исследований. Сборник материалов XVI международной научно-практической конференции (г. Омск, Российская Федерация, 19 января, 2018 г.)

[4] Богатко М.П. Анализ комплексных систем защиты информации от несанкционированного доступа / М.П. Богатко, А.В. Фисунов, В.В. Щеголев // Вопросы современных научных исследований. Сборник материалов XVI международной научно-практической конференции (г. Омск, Российская Федерация, 19 января, 2018 г.)

[5] Богатко, М. П. Основы оценки соответствия средств защиты информации требованиям, изложенным в технических нормативно-правовых актах / М.П. Богатко, А.В. Фисунов, В.В. Щеголев. // Современные тенденции в науке. Сборник материалов II международной научно-практической конференции (г. Самара, Российская Федерация, 19 января, 2018 г.). – С. 164–168.

[6] Фисунов, А.В. Алгоритм поиска простых чисел решето Эратосфена / А.В. Фисунов, В.В. Щеголев, М.П. Богатко // международный электронный научный журнал Общества Науки и Творчества «Научное знание современности» (ISSN 2541-7827).

РЕЗЮМЕ

Щеголев Вячеслав Валерьевич **Методы, алгоритмы и программные средства для анализа** **надежности технических систем**

Ключевые слова: сложные технические системы, системный анализ, модель надежности, уникальные механические системы, чрезвычайные ситуации.

Цель работы: Разработать методологию создания инструментального средства для исследования мультидисциплинарной проблемы надежности и безопасности СТС, базирующуюся на агрегировании разработанных и существующих моделей, знаний и опыта, отражающих динамику состояний СТС.

Полученные результаты и их новизна: Полученные в работе результаты направлены на развитие методов системного анализа, управления и обработки информации для решения актуальной прикладной проблемы исследования и обеспечения надежности и безопасности уникальных механических и сложных технических систем. Декомпозиция проблемы, обоснование задач, структурирование и выявление связи между данными и знаниями различных научных направлений и дисциплин, необходимых для решения задач надежности и безопасности СТС, обеспечивает взаимодействие специалистов на всех стадиях жизненного цикла технических объектов. Модели и алгоритмы исследования являются вкладом в методологию исследования, агрегирующую общепринятые знания, специализированные знания и данные различных отраслей науки и прикладных дисциплин. Применение программной системы обеспечивает имитационное моделирование, позволяющее прогнозировать изменение состояния опасных объектов на любой стадии жизненного цикла.

Степень использования: результаты внедрены в учебный процесс на кафедре проектирования информационно–компьютерных систем учреждения образования “Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники в учебный курс “Физические основы проектирования радиоэлектронных средств”.

Область применения: тяжелая и легкая промышленность.

SUMMARY

Schegolev Vyacheslav Valerievich **Methods, algorithms and software for the analysis of the reliability** **of technical systems**

Keywords: complex technical systems, system analysis, reliability model, unique mechanical systems, emergencies.

Objective: To develop a methodology for creating an instrumental tool for investigating the multidisciplinary reliability and safety problem of STS, based on the aggregation of developed and existing models, knowledge and experience reflecting the dynamics of STS conditions.

The results obtained and their novelty: The results obtained in the work are aimed at developing methods of system analysis, management and processing of information for solving the actual applied research problem and ensuring the reliability and safety of unique mechanical and complex technical systems. The decomposition of the problem, the justification of tasks, the structuring and identification of the connection between data and knowledge of various scientific directions and disciplines necessary for solving the problems of reliability and safety of STS, ensures the interaction of specialists at all stages of the life cycle of technical objects. Models and algorithms of research are a contribution to the methodology of research, aggregating common knowledge, specialized knowledge and data from various branches of science and applied disciplines. The application of the software system provides simulation simulation, allowing to predict the change in the state of dangerous objects at any stage of the life cycle.

Degree of use: the results are implemented in the educational process at the Department of Design of Information and Computer Systems of the Educational Establishment "Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics in the training course" Physical Basics of Designing Radioelectronic Facilities. "

Scope: heavy and light industry.

РЭЗІЮМЭ

Шчогалеў Вячаслаў Валер'евіч

**Метады, алгарытмы і праграмныя сродкі для аналізу надзейнасці
тэхнічных сістэм**

Ключавыя словы: складаныя тэхнічныя сістэмы, сістэмны аналіз, мадэль надзейнасці, унікальныя механічныя сістэмы, надзвычайныя сітуацыі.

Мэта работы: Распрацаваць метадалогію стварэння інструментальна-га сродкі для даследавання мультыдысцыплінарных праблемы надзейна-насці і бяспекі СТС, якая базуецца на агрэгаванні распрацаваных і існуючых мадэляў, ведаў і вопыту, якія адлюстроўваюць дынаміку складаючыся-няў СТС.

Атрыманыя вынікі і іх навізна: атрыманыя ў працы вынікі накіраваны на развіццё метадаў сістэмнага аналізу, кірава-ня і апрацоўкі інфармацыі для вырашэння актуальнай прыкладной пра-блем даследаванні і забеспячэння надзейнасці і бяспекі унікальны-ных механічных і складаных тэхнічных сістэм. Дэкомпозиция праблем-мы, абгрунтаванне задач, структураванне і выяўленне сувязі паміж дадзены-нымі і ведамі розных навуковых кірункаў і дысцыплін, неабходныя-дмых для вырашэння задач надзейнасці і бяспекі СТС, забяспечвае ўзаемадзеянне спецыялістаў на ўсіх стадыях жыццёвага цыкла-тэхнічнай-пейскіх аб'ектаў. Мадэлі і алгарытмы даследавання з'яўляюцца укладам у ме-тодологию даследаванні, агрэгую агульнапрынятыя веда, спецыяліста-лизированные веда і дадзеныя розных галін навукі і прыкладных дысцыплін. Прымяненне праграмнай сістэмы забяспечвае імітацыйнае мадэляванне, якое дазваляе прагназаваць змяненне стану небяспеч-ных аб'ектаў на любой стадыі жыццёвага цыклу.

Ступень выкарыстання: вынікі ўкаранёны ў навучальны працэс на кафедры праектавання інфармацыйна-камп'ютэрных сістэм заснаваны-ня адукацыі "Беларускі дзяржаўны ўніверсітэт інфарматы-кі і радыёэлектронікі ў навучальны курс" Фізічныя асновы праектавання радыёэлектронных сродкаў".

Вобласць ужывання: цяжкая і лёгкая прамысловасць.