

На правах рукописи

ТАГАНОВ Александр Иванович

**НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ ИДЕНТИФИКАЦИИ, АНАЛИЗА
И МОНИТОРИНГА ПРОЕКТНЫХ РИСКОВ КАЧЕСТВА
ПРОГРАММНЫХ ИЗДЕЛИЙ В УСЛОВИЯХ НЕЧЕТКОСТИ**

Специальности:

05.13.12 – «Системы автоматизации проектирования
(технические системы)»

05.13.11 – «Математическое и программное обеспечение
вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей»

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

Рязань 2011

Работа выполнена в государственном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Рязанский государственный радиотехнический университет»

Научный консультант: доктор технических наук, профессор,
заслуженный деятель науки и техники
Российской Федерации
КОРЯЧКО Вячеслав Петрович

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
АЗАРОВ Владимир Николаевич

доктор технических наук, профессор
КАШИРИН Игорь Юрьевич

доктор технических наук, профессор,
Заслуженный деятель науки и техники
Российской Федерации
НОРЕНКОВ Игорь Петрович

Ведущая организация: ОАО «Российская корпорация ракетно-
космического приборостроения
и информационных систем»
(ОАО «Российские космические системы»),
г. Москва

Защита состоится 29 июня 2011 г. в 12.00 часов на заседании диссертационного совета Д 212.211.02 в Рязанском государственном радиотехническом университете по адресу: 390005, г. Рязань, ул. Гагарина, д. 59/1.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Рязанского государственного радиотехнического университета.

Автореферат разослан « » _____ 2011 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
д-р. техн. наук, профессор

С.В.Скворцов

Актуальность темы

Важным направлением повышения результативности современных процессно-ориентированных CASE-технологий является расширение их функциональных возможностей в направлении повышения качества проектируемых программных изделий (ПИ) и снижения проектных рисков качества. Решение указанной проблемы требует проведения специальных исследований и разработок, связанных с созданием эффективных методов, моделей и средств, для решения в интерактивном режиме трудно формализуемых задач идентификации, анализа и мониторинга проектных рисков качества программных изделий в условиях нечеткости проектных данных, что характерно для современных систем автоматизации проектирования (САПР).

Проектные риски сложных программных изделий являются объективным явлением, связанным со многими видами неопределенности, имеющими место на различных этапах выполнения программного проекта (ПП) и оказывающими влияние на процессы принятия проектных и управленческих решений. Строгое регламентирование процессов проектирования и процессов управления проектированием в САПР, а также использование в проектировании интегрированных CASE-технологий, основанных на автоматизированных принципах создания программных изделий, способствуют снижению энтропии программных проектов, и соответственно уменьшают проектные риски. В связи этим проблема формализации и автоматизации процессов сокращения проектных рисков качества ПИ в условиях нечеткости проектных данных может рассматриваться как важное и актуальное направление развития теории и методологии программной инженерии для повышения результативности проектно-управленческих работ по стадиям жизненного цикла ПИ.

Успешное решение данной проблемы в настоящее время невозможно без применения новых информационных технологий, составной частью которых являются интеллектуальные методы и средства обработки проектной информации в САПР. К последним методам следует отнести методы теории нечетких множеств (ТНМ), позволяющие на модельном уровне рассмотреть проектные проблемы идентификации проектных рисков, проблемы анализа проектных рисков и проблемы мониторинга проектных рисков, и тем самым расширить круг успешно решаемых задач по формализации и автоматизации процессов сокращения проектных рисков качества ПИ в условиях нечеткости.

Задачи принятия проектных решений по проектным рискам качества в условиях неопределенности и нечеткости представляют собой слабоструктурированные или неструктурированные задачи. При этом слабоструктурированные задачи характерны для этапа количественного анализа проектных рисков и этапа мониторинга проектных рисков и характеризуются отсутствием методов решения на основе непосредственных преобразований проектных данных, а постановки задач базируются на принятии проектных решений в условиях неполной информации. Неструктурированные задачи проявляются на этапах планирования, идентификации и качественного анализа проектных рисков ПИ и содержат неформализуемые процедуры, базирующиеся на неструктурированной проектной информации, которая также определяется высокой степенью неопределенности.

Теоретические исследования по применению ТНМ и ее приложений к решению актуальной проблемы сокращения проектных рисков качества ПИ ориентированы, прежде всего, на построение новых формальных схем инженерного анализа для решения проектных задач по рискам качества в сложных условиях исходных данных. Эти данные, как правило, характеризуются той или иной степенью неопределенности, обусловленной неполнотой, внутренней противоречивостью, неоднозначностью, и представляют собой приближенные количественные или качественные оценки параметров процессов проектирования и процессов управления проектированием.

Использование в ТНМ понятия «лингвистическая переменная» позволяет в новых методах сокращения проектных рисков адекватно отразить приблизительное словесное описание некоторых параметров и состояний проектного риска или процесса управления проектными рисками, когда точное описание либо отсутствует, либо является слишком сложным, либо требует больших временных и финансовых затрат. В этом случае применение ТНМ совместно с методами алгебры логики обеспечивает решение многих проблемных задач по формализации и автоматизации процессов сокращения проектных рисков качества ПИ в условиях лингвистической неопределенности (нечеткости).

Основополагающими работами, оказавшими влияние на исследования автора, являются труды А.Н.Аверкина, В.Н.Азарова, А.В.Андрейчикова, И.З.Батыршина, Р.Беллмана, Л.С.Берштейна, А.Н.Борисова, М.В.Горячевой, Л.А.Демидовой, Л.А.Заде, М.Кантора, Р.Л.Кини, С.Я.Коровина, В.П.Корячко, А.Коффмана, В.В.Круглова, В.М.Курейчика, А.В.Леоненкова, Н.Г.Мальшева, А.Н.Мелехова, В.В.Липаева, И.П.Норенкова, С.А.Орловского, А.И.Петренко, Д.А.Поспелова, Х.Райфа, А.П.Ротштейна, Г.В.Рыбиной, Т.Л.Саати, Е.А.Саксонова, Э.А.Трахтенгерца, Р.Т.Фатрелла, Д.Ф.Шафера, С.Д.Штовбы, Р.Ягера и многих других.

Актуальность настоящей работы определяется важностью проблемы повышения качества ПИ, решаемой в диссертационной работе на основе реализации стратегии сокращения проектных рисков качества по стадиям ЖЦ ПИ. Это потребовало проведения исследований и разработки новых эффективных методов, моделей, алгоритмов и инструментальных средств, обеспечивающих в составе интегрированных CALS- и CASE-технологий эффективную автоматизированную поддержку процессов идентификации, анализа, планирования и мониторинга проектных рисков качества ПИ в условиях нечеткости проектных данных, что характерно для современных САПР.

Объект исследования - процесс сокращения проектных рисков программного проекта по характеристикам качества, содержащий в своем составе процесс идентификации проектных рисков, процесс анализа проектных рисков и процесс мониторинга проектных рисков, функционирование которых рассматривается в условиях нечеткости проектных данных.

Предметом исследования являются:

1. Модели и методы формализации и автоматизации процесса идентификации проектных рисков в условиях лингвистической неопределенности и нечеткости проектных данных.

2. Методы и алгоритмы формализации и автоматизации процесса анализа проектных рисков качества ПИ в условиях отсутствия априорной информации о вероятностных характеристиках проектных рисков качества ПИ.

3. Методы и алгоритмы формализации и автоматизации процесса мониторинга проектных рисков качества в условиях нечеткости проектных данных.

Цель диссертационной работы состоит в разработке эффективных методов, моделей и алгоритмов формализации и автоматизации процессов сокращения проектных рисков качества программных изделий в условиях нечеткости проектных данных для использования в составе интегрированных CASE-технологий с целью автоматизации процессов идентификации, анализа и мониторинга проектных рисков качества для повышения качества и гарантий качества создаваемой программной продукции.

Для достижения поставленной цели решались следующие **задачи**:

1. Исследование проблемы сокращения проектных рисков по стадиям жизненного цикла сложных программных изделий с целью определения и построения современной концепции программно-ориентированной методики сокращения проектных рисков качества ПИ в условиях нечеткости проектных данных; методики, которая позволяет использовать достаточно простую формализацию и эффективную реализацию интерактивных компьютерных методов управления проектными рисками в составе интегрированных CASE-технологий.

2. Разработка формализованной методики идентификации проектных рисков качества ПИ, содержащей в своем составе эффективные методы многопараметрического анализа и выявления потенциальных рисков программного проекта по характеристикам качества с выполнением классификации рисков проекта для этапа анализа рисков.

3. Разработка метода формализации процесса анализа проектных рисков качества, ориентированного на определение оптимального состава контролируемых проектных рисков качества по стадиям ЖЦ ПИ в условиях нечеткости и включающего в свой состав модели и алгоритмы, учитывающие иерархическую структуру моделей характеристик качества ПИ с весовыми коэффициентами значимости, способы представления нечеткой экспертной информации по рискам, условия объективной и субъективной связности рисков по стадиям ЖЦ ПИ, а также учитывающие ресурсные ограничения проекта на этапе оптимизации состава контролируемых рисков по критерию их максимального влияния на характеристики качества проекта ПИ.

4. Разработка модифицированного метода анализа иерархий, построенного на основе положений теории нечетких множеств и предназначенного для решения задачи по определению вектора степени влияния проектных рисков на обобщенный критерий качества ПИ, учитывающего по стадиям жизненного цикла программного проекта многоуровневое представление как модели характеристик качества, так и модели рисков качества.

5. Разработка метода формализации процесса мониторинга проектных рисков качества, ориентированного на программное определение (идентификацию) по ходу проекта текущих рисков ситуаций с последующим выбором рациональной альтернативы реагирования на проектные риски.

6. Разработка методики построения базы знаний по рискам программного проекта, содержащей в своем составе необходимые интеллектуальные методы, модели и алгоритмы разработки и настройки нечетких баз знаний по проектным рискам качества ПИ.

7. Разработка и исследование инструментальных средств, обеспечивающих поддержку нечетких процедур идентификации, анализа, планирования и мониторинга проектных рисков качества ПИ, реализующих разработанные методы, модели и алгоритмы, и предназначенных для практического использования в составе интегрированных CASE-технологий, ориентированных на проектирование и управление проектированием сложных программных изделий высокого качества.

Методы исследований. Теоретические исследования выполнены с использованием методов системного анализа, методов теории нечетких множеств, нечеткой логики, теории принятия решений, теории управления программными проектами, теории графов, аналитической геометрии, методов математического программирования и теории построения алгоритмов; экспериментальные исследования выполнены с привлечением методов математического, имитационного и IDEF-моделирования, технологий модульного и объектно-ориентированного программирования.

Научная новизна. В рамках диссертационной работы были получены следующие основные результаты, обладающие научной новизной.

1. Разработана концепция программно-ориентированной методики сокращения проектных рисков качества ПИ, формализованная методами теории нечетких множеств и ее приложениями, основанная на декомпозиции регламентированного процесса сокращения проектных рисков ПП на взаимосвязанные процессы идентификации рисков, анализа рисков, планирования рисков и мониторинга рисков проекта, позволяющая использовать на практике достаточно простую реализацию интерактивных компьютерных методов в составе интегрированной CASE-технологии с целью поддержки принятия эффективных проектных решений по проектным рискам качества ПИ в условиях нечеткости проектных данных.

2. Разработана методика формализации и автоматизации процесса идентификации проектных рисков качества ПИ, содержащая в своем составе: графический метод многопараметрического анализа и идентификации потенциальных рисков ПП по характеристикам качества, формализованную процедуру снижения размерности идентифицированных рисков проекта нечеткими методами автоматической классификации, формализованную процедуру идентификации рисков проекта методами нечеткого логического вывода и приложения нечетких сетей Петри для представления правил нечетких продукций.

3. Разработан метод формализации и автоматизации процесса анализа проектных рисков качества ПИ, ориентированный на определение оптимального состава контролируемых проектных рисков по стадиям жизненного цикла программного проекта, включающий в свой состав серию разработанных нечетких методов и алгоритмов, учитывающих иерархическую структуру модели характеристик качества проекта с весовыми коэффициентами значимости, способы представления нечеткой экспертной информации по проектным рискам, усло-

вия объективной и субъективной связности рисков по стадиям жизненного цикла проекта, а также учитывающих ресурсные ограничения проекта на этапе оптимизации состава контролируемых проектных рисков по критерию их максимального потенциального влияния на характеристики качества проекта ПИ.

4. Предложен модифицированный метод анализа иерархий, разработанный на основе положений теории нечетких множеств, предназначенный для решения задачи по определению вектора влияния последствий проектных рисков на обобщенный критерий качества ПП в условиях нечеткости и многоуровневого представления иерархии характеристик и рисков качества программного проекта по стадиям его жизненного цикла.

5. Разработан метод формализации и автоматизации процесса мониторинга проектных рисков качества ПИ, ориентированный на программное определение (идентификацию) по ходу ЖЦ текущих рискованных ситуаций проекта с последующим выбором рациональной альтернативы реагирования на риски, а также содержащий в своем составе нечеткие процедуры ситуационного анализа с оптимизацией решений на основе диаграммы Хассе и содержащий способы оптимизации альтернатив для смягчения рисков в условиях нечеткости.

6. Предложена методика построения базы знаний по проектным рискам качества программного проекта, содержащая в своем составе способы нечеткой лингвистической аппроксимации в интеллектуальной технологии сокращения проектных рисков качества и процедуру настройки нечетких баз знаний по проектным рискам качества ПИ.

7. Разработаны база данных по проектным рискам качества и интерактивные программные средства поддержки нечетких процедур идентификации, анализа, планирования и мониторинга проектных рисков качества ПИ, реализующие разработанные методы, модели и алгоритмы сокращения проектных рисков качества ПИ и предназначенные для практического использования в составе интегрированной CASE-технологии для автоматизированного проектирования и управления проектированием сложных программных изделий высокого качества с минимальными рисками.

Соответствие паспорту специальности. Проблематика, исследованная в диссертации, соответствует двум специальностям – 05.13.12 и 05.13.11.

Согласно формуле специальности 05.13.12 – это специальность, занимающаяся проблемами создания и повышения эффективности функционирования систем автоматизированного проектирования, управления качеством проектных работ на основе использования современных методов моделирования и инженерного анализа. Проблематика диссертации соответствует областям исследований: п. 1. Методология автоматизированного проектирования в технике, включая постановку, формализацию и типизацию проектных процедур и процессов проектирования, вопросы выбора методов и средств для применения в САПР; п. 3. Разработка научных основ построения средств САПР, разработка и исследование моделей, алгоритмов и методов для синтеза и анализа проектных решений.

Кроме того, в диссертации решаются проблемы, входящие в формулу специальности 05.13.11, а именно задачи развития теории программирования, создания и сопровождения программных средств различного назначения. Диссер-

тация соответствует области исследования: п. 10. Оценка качества, стандартизация и сопровождение программных систем.

Теоретическая значимость работы заключается в разработке научных основ методологии формализации и автоматизации процессов идентификации, анализа и мониторинга проектных рисков качества программных изделий в условиях нечеткости проектных данных. Построение методов, моделей, алгоритмов и инструментальных средств современной методологии сокращения проектных рисков качества ПИ выполнено и основано на решении слабоструктурированных задач идентификации, анализа, планирования и мониторинга проектных рисков качества методами теории нечетких множеств и ее приложений.

Практическая ценность работы

Практическая ценность работы состоит в том, что разработанные методы, модели, алгоритмы и инструментальные средства, ориентированные на сокращения проектных рисков, позволяют в составе интегрированных CASE-технологий повысить результативность процессов проектирования и управления проектированием в направлении повышения качества и снижения проектных рисков качества программных изделий.

Достоверность научных положений, теоретических выводов и практических результатов диссертационной работы подтверждается:

- корректным использованием понятий и выводов теории нечетких множеств и нечеткой логики, теории графов и математического программирования, теории алгоритмов и методов IDEF-моделирования;
- результатами математического, имитационного моделирования разработанных методов, моделей и алгоритмов;
- апробацией предложенных разработанных методов, моделей и алгоритмов на конкретных примерах и прикладных задачах;
- разработкой действующих программных средств, подтвержденных свидетельствами об официальной регистрации;
- наличием актов внедрения результатов диссертационной работы.

Реализация и внедрение результатов диссертационной работы

Исследования по тематике диссертационной работы проводились в рамках фундаментальных и прикладных исследований, проводимых в Рязанском государственном радиотехническом университете совместно с отраслевыми организациями.

Фундаментальные научные исследования: НИР 17-95Г «Интегрированная система проектирования и управления НИОКР для исследовательских и конструкторских организаций Госкомвуза России (концепция и теоретические основы создания)» (1995 - 1999 гг.); НИР 2-00Г «Концептуальные основы создания аппаратно-программных и информационных средств автоматизированных систем с интеграцией CALS- и CASE-технологий» (2000-2003 гг.); НИР 5-05Г «Разработка теоретических основ процессно-ориентированного управления наукоемкими проектами автоматизированных систем с интеграцией CALS

(ИПИ)- и CASE-технологий» (2005-2006 гг.); НИР 1-07Г «Разработка теоретических основ процессно-ориентированной технологии создания интеллектуальных информационных систем с интеграцией ИПИ (CALS)- и CASE-технологий» (2007 – 2008 гг.); НИР 8-09Г «Разработка и развитие теоретических основ процессно-ориентированной технологии создания интеллектуальных инфокоммуникационных систем с интеграцией ИПИ (CALS)- и CASE-технологий» (2009 – 2011 гг.); НИР 1-10Г «Разработка методологии анализа и сокращения рисков программного проекта по характеристикам качества в условиях нечеткости» (2010 г.).

Прикладные научные исследования: НИР 19-00Г «Модели, методы, инструментальные средства и научно-методическое обеспечение процесса проектирования параллельных систем с использованием CASE-технологий» (2000-2002 гг.); НИР 26-01Г «Исследование и разработка нормативно-методического обеспечения менеджмента качества на основе процессно-ориентированного управления проектами по созданию программной продукции» (2001-2002 гг.); НИР 27-01Г «Интегрированное информационное сопровождение процессов проектирования и испытаний сложных технических комплексов на основе CALS-технологий» (2001-2002 гг.); НИР 8-04Г «Электронная информационно-образовательная система дистанционной подготовки, профессиональной переподготовки и повышения квалификации кадров по профилю ИПИ (CALS)-технологий» (2004 г.); ОКР 36-04 «Разработка концепции информационного взаимодействия предприятий космического комплекса на основе внедрения ИПИ (CALS)-технологий» (2004 г., заказчик ФГУП РНИИ КП); ОКР 24-05 «Разработка и внедрение электронной информационно-образовательной системы подготовки, переподготовки и повышения квалификации кадров предприятия по профилю САПР и ИПИ (CALS)-технологий» (2005 г., заказчик ФГУП РНИИ КП); ОКР 29-06 «Разработка и внедрение электронной информационно-образовательной системы подготовки, переподготовки и повышения квалификации кадров предприятия по профилю «Нормативно-методическое и инструментальное обеспечение управления проектами информационных систем» (2006 г., заказчик ФГУП РНИИ КП); НИР11-06Г «Интегрированная автоматизированная информационная система управления качеством образования вуза» (2006-2007 гг.); НИР 10-06Г «Разработка нормативной базы, информационного обеспечения и регламентов открытой информационно-образовательной среды для дистанционной подготовки, переподготовки и повышения квалификации специалистов в области ИПИ (CALS)- и CASE-технологий» (2006 – 2007 гг.); НИР 13-08Г «Разработка и развитие нормативной базы, информационного обеспечения и регламентов открытой информационно-образовательной среды для дистанционной подготовки, переподготовки и повышения квалификации специалистов в области ИПИ (CALS)- и CASE-технологий» (2008-2009 гг.); НИР 15-09Г «Разработка и развитие нормативной базы, информационного обеспечения и регламентов открытой информационно-образовательной среды для дистанционной подготовки, переподготовки и повышения квалификации специалистов в области ИПИ (CALS)- и CASE-технологий» (2010-2011 гг.).

Результаты, полученные в работе, внедрены на следующих предприятиях и в организациях: ОАО «Российская корпорация ракетно-космического прибо-

ростроении и информационных систем» (ОАО «Российские космические системы») (г. Москва), ФГУП «ГНПРКЦ «ЦСКБ-Прогресс» - «ОКБ «Спектр» (г. Рязань), ЗАО «Корпоративные Системы Обучения» (г. Санкт-Петербург), ООО «ГЕРТА» (г. Рязань), ООО «ТБинформ» (г. Рязань), ООО «ИНТРОТЕХ» (г. Рязань), ООО «АУДИТ-ПРОФ» (г. Рязань), ГОУ ВПО «Рязанский государственный радиотехнический университет» (г. Рязань), ГОУ ВПО «Ивановская государственная текстильная академия» (филиал в г. Рязани).

Использование результатов диссертационной работы на практике подтверждено соответствующими актами о внедрении. Получено 7 свидетельств ФГУ «Федеральный институт промышленной собственности Федеральной службы по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам» (ФГУ ФИПИ – РОСПАТЕНТ) об официальной регистрации программ для ЭВМ и получено 18 свидетельств об официальной регистрации программ для ЭВМ в Отраслевом фонде алгоритмов и программ (ОФАП).

Основные положения, выносимые на защиту

1. Концепция программно-ориентированной методики сокращения рисков проекта программных изделий по характеристикам качества, формализованная методами и приложениями теории нечетких множеств, основанная на декомпозиции регламентированного процесса сокращения рисков программного проекта на взаимосвязанные процессы идентификации рисков, анализа рисков, планирования рисков и мониторинга рисков проекта, позволяющая на практике простую реализацию интерактивных компьютерных методов в составе интегрированной CASE-технологии с целью повышения результативности и эффективности автоматизированного проектирования и управления проектированием ПИ в условиях нечеткости проектных данных.

2. Методика формализации и автоматизации процесса идентификации проектных рисков качества ПИ, содержащая в своем составе: графический метод многопараметрического анализа и выявления потенциальных рисков программного проекта по характеристикам качества, формализованную процедуру снижения размерности рисков проекта нечеткими методами автоматической классификации, формализованную процедуру идентификации рисков проекта методами нечеткого вывода и приложения нечетких сетей Петри для представления правил нечетких продукций.

3. Метод формализации и автоматизации процесса анализа проектных рисков качества ПИ, ориентированный на определение оптимального состава контролируемых проектных рисков по стадиям жизненного цикла программного проекта, включающий в свой состав серию разработанных нечетких методов и алгоритмов, учитывающих иерархическую структуру модели характеристик качества проекта с весовыми коэффициентами значимости, способы представления нечеткой экспертной информации по рискам, условия объективной и субъективной связности рисков по стадиям жизненного цикла проекта, а также учитывающих ресурсные ограничения проекта на этапе оптимизации состава контролируемых рисков по критерию их максимального влияния на характеристики качества проекта ПИ.

4. Модифицированный метод анализа иерархий, разработанный на основе положений теории нечетких множеств и предназначенный для решения задачи по определению вектора степени влияния последствий проектных рисков на обобщенный критерий качества ПИ в условиях нечеткости и многоуровневого представления иерархии характеристик качества и рисков качества по стадиям жизненного цикла программного проекта.

5. Метод формализации и автоматизации процесса мониторинга проектных рисков качества ПИ, ориентированный на программное определение (идентификацию) по ходу ЖЦ проекта текущих рисков ситуаций с последующим выбором рациональной альтернативы реагирования на идентифицированные риски, содержащий в своем составе нечеткие процедуры ситуационного анализа с оптимизацией решений на основе диаграммы Хассе и способы оптимизации альтернатив для смягчения рисков в условиях нечеткости.

6. Методика построения базы знаний по проектным рискам качества ПИ, содержащая в своем составе процедуры нечеткой лингвистической аппроксимации в интеллектуальной технологии сокращения проектных рисков и настройки нечетких баз знаний по проектным рискам качества ПИ.

7. База данных по проектным рискам качества и интерактивные программные средства поддержки процессов идентификации, анализа, планирования и мониторинга проектных рисков качества ПИ, реализующие разработанные методы, модели и алгоритмы программного сокращения проектных рисков качества, предназначенные для практического использования в составе интегрированных CASE-технологий для автоматизированного проектирования и управления проектированием сложных программных изделий высокого качества с минимальными рисками.

Апробация работы. Основные научные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на следующих научных конференциях: Всероссийской научно-технической конференции «Проблемы создания и развития интегрированных автоматизированных систем в проектировании и производстве» (Таганрог, 1987); Всероссийской научно-технической конференции «Математические методы распознавания образов» (Львов, 1987); 2-й Всероссийской научно-практической конференции «Современные информационные технологии в образовании» (Рязань, 1988); Международной научно-технической конференции «Технологии и системы сбора, обработки и представления информации» (Москва, 1995); Всероссийской научно-технической конференции «Перспективные информационные технологии в высшей школе» (Тамбов, 1995); 1, 3, 4, 7, 12, 14, 15 Всероссийской научно-технической конференции «Новые информационные технологии в научных исследованиях и в образовании» (Рязань, 1996, 1998, 1999, 2002, 2007, 2009, 2010); Всероссийской научно-технической конференции «КАЧЕСТВО» (Москва, 2001); 12, 13, 15, 16 Международной научно-технической конференции «Проблемы передачи и обработки информации в сетях и системах телекоммуникаций» (Рязань, 2004, 2004, 2008, 2010); Международной научно-технической конференции «Научная сессия МИФИ» (Москва, 2001, 2003, 2004); Всероссийской научно-

технической конференции «Качество и ИПИ-технологии» (Москва, 2002); II Международном научно-практическом семинаре «Интегрированные модели и мягкие вычисления в искусственном интеллекте» (Коломна, 2003); 5-й Международной конференции-форуме «Применение ИПИ (CALS)-технологий для повышения качества и конкурентоспособности наукоёмкой продукции» (Москва, 2003); Всероссийской научно-методической конференции «ТЕЛЕМАТИКА» (Санкт-Петербург, 2004, 2006, 2010); Международной открытой научной конференции «Современные проблемы информатизации в моделировании и социальных технологиях» (Воронеж, 2009, 2010); Международной научно-технической конференции «Гагаринские чтения» (Москва, 2004); Международной открытой научной конференции «Современные проблемы информатизации в экономике и обеспечении безопасности» (Воронеж, 2009, 2010); Международной открытой научной конференции «Современные проблемы информатизации в анализе и синтезе технологических и программно-телекоммуникационных систем» (Воронеж, 2009, 2010).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 136 печатных работ (23 – без соавторов), в том числе: 12 статей в изданиях, входящих в перечень ВАК для докторских диссертаций; 2 монографии в издательствах «Энергоатомиздат» и «Горячая линия - Телеком»; 47 статей в научно-технических журналах и межвузовских сборниках научных трудов; 43 доклада на международных и всероссийских конференциях; 25 свидетельств о регистрации программ: 7 свидетельств о регистрации программ для ЭВМ в ФГУ «Федеральный институт промышленной собственности Федеральной службы по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам» (ФГУ ФИПИ – РОСПАТЕНТ); 18 свидетельств об официальной регистрации комплексов программ в Отраслевом фонде алгоритмов и программ (ОФАП); 7 учебных пособий (в том числе 1 с грифом УМО).

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, шести глав, списка литературы, заключения, изложенных на 390 страницах (включая 79 рисунков и 9 таблиц) и 3-х приложений на 100 страницах. Список литературы содержит 351 наименование.

Личный вклад автора в получение результатов, изложенных в диссертации. Все результаты диссертационной работы, в том числе постановка задач, разработка и исследование защищаемых методов, моделей и алгоритмов, основные научные результаты, выводы и рекомендации принадлежат лично автору. Программные средства, реализующие разработанные методы, модели и алгоритмы, разработаны под руководством и при непосредственном участии автора. Работы, выполненные в соавторстве, посвящены общей постановке проблемы, концепции ее решения, предложенной автором, конкретизации разработанных методов, моделей и алгоритмов для ряда актуальных прикладных задач, разработке отдельных программных средств.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность научной работы, сформулированы цель и задачи исследования, приведены положения, выносимые на защиту, показаны научная новизна и практическая ценность полученных результатов.

В первой главе приведен анализ концепций, подходов, методов и моделей сокращения рисков проектов программных изделий. В перечень анализируемых направлений вошли теоретические и методологические вопросы идентификации, анализа и мониторинга проектных рисков. Представлены основные характеристики и результаты анализа известных в инженерной практике моделей и методов сокращения рисков проектов сложных ПИ. В число анализируемых методик вошли: PMBOK (Project management body of knowledge) – Институт управления проектами (Project Management Institute) США; PJM (Project Management Method) - Корпорация Oracle; SEI (Software Engineering Institute) - Институт программной инженерии США; Riskit (The Riskit Method for Software Risk Management) - Университет Мэриленда (США); SPMN (Software Program Managers Network) - Сеть управления программами создания программного обеспечения США; MSF (Microsoft Solutions Framework) - Корпорация Microsoft; методика Института системного программирования РАН (Липаев В.В.) и другие модели.

Показано, что в условиях нечеткости проектных данных требуется развитие научных основ методологии идентификации, анализа и мониторинга рисков ПП в направлении создания эффективных формализованных моделей, методов и алгоритмов, необходимых для построения современных методик, обеспечивающих решение задач по формализации и автоматизации процессов сокращения проектных рисков качества сложных программных изделий.

Сформулирована концепция современной методики анализа и сокращения проектных рисков качества ПИ, акцентирующая свое функциональное содержание на процессах идентификации, анализа, планирования и мониторинга проектных рисков качества с позиций программной инженерии для использования в проектной деятельности. Разработана функциональная IDEF модель процесса анализа и сокращения проектных рисков качества ПИ, содержащая детализацию контекстной функциональной модели на подмодели процесса идентификации проектных рисков, процесса анализа проектных рисков, процесса планирования реагирования на проектные риски и процесса мониторинга проектных рисков качества программных изделий.

Проведена классификация задач принятия решений по проектным рискам качества ПИ в условиях нечеткости исходных данных. Показано, что решение слабоструктурированных и неструктурированных задач по анализу и сокращению проектных рисков ПИ может быть обеспечено за счет разработки нечетких моделей и методов, а также использования специализированных экспертных систем и интеллектуальных нечетких систем поддержки принятия решений по проектным рискам.

Показано, что нечеткие системы анализа и сокращения проектных рисков качества могут быть определены с помощью нечетких продукционных моделей, основанных на правилах нечеткого вывода, которые являются наиболее

общими для представления различных плохо формализуемых сложных проектных задач. При этом основные трудности при использовании нечетких моделей для решения практических задач сокращения проектных рисков связаны с априорным определением компонентов этих моделей, выражаемых в виде функций принадлежности входных и выходных лингвистических переменных, структуры базы правил нечеткого вывода и весовых коэффициентов правил.

Отмечено также, что нечеткие сети Петри и расплывчатые ситуационные модели поддержки принятия решений в условиях нечеткости являются перспективными для использования при решении задач нечеткого моделирования и нечеткого анализа проектных рисков, в которых неопределенность имеет нестохастический или субъективный характер.

Определены задачи диссертационных исследований в направлении использования и исследования методов теории нечетких множеств и ее приложений с целью разработки на их основе эффективных методов, моделей, алгоритмов и инструментальных средств, обеспечивающих в составе интегрированных CASE-технологий снижение проектных рисков качества и, как следствие, повышение качества проектируемых программных изделий.

Вторая глава посвящена разработке научных основ идентификации проектных рисков качества ПИ. Сюда вошли методы, модели и алгоритмы формализации и автоматизации процесса идентификации проектных рисков качества ПИ в условиях нечеткости проектных данных. Под идентификацией проектных рисков качества ПИ понимается итеративный по всем стадиям ЖЦ проекта процесс, связанный с определением перечня возможных рисковых ситуаций, прогнозированием причин и признаков (последствий) их возникновения, классификацией рисков и определением критериев рисков. При этом от того насколько полным и исчерпывающим является перечень идентифицированных рисковых ситуаций и насколько адекватными являются предлагаемые критерии проектного риска, во многом зависят успех и возможность упреждающего смягчения и сокращения проектных рисков качества ПИ.

В диссертационной работе представлены результаты исследований по развитию и расширению перечня методов и средств, направленных на формализацию и автоматизацию решения задач процесса идентификации с целью повышения его результативности на основе более детального рассмотрения и глубокого анализа причин и критериев проектных рисков. Предложены такие новые нечеткие методы, как: графический метод нечеткого моделирования рисковых полей проекта, метод нечеткого логического вывода по проектным рискам качества, способ нечеткой классификации рисков, способ построения правил нечетких продукций на основе математического аппарата нечетких сетей Петри. Эти новые методы и способы в совокупности с известными методами мозгового штурма, методом Дельфи и др. позволяют на практике повысить результативность процесса идентификации проектных рисков качества и снизить трудоемкость проектных работ на этапе идентификации.

Графический метод нечеткого моделирования рисковых полей программного проекта заключается в интерактивном теоретико-множественном синтезе контурных моделей проектных рисков качества в заданных системах координат (этапы/работы проекта, степень/вероятность риска, мера риска,

ущерб характеристикам качества и др.) на основе использования библиотеки базовых контурных моделей рисков, заданных в структурно-символьном представлении.

Структурно-символьная модель проектных рисков имеет вид:

$$M = (t_j, (x, y)_j, (\xi_K)_j, Q), (j = \overline{1, N}), \quad (1)$$

где t_j – код базовой графической модели проектного риска в виде j -го базового графического элемента (БГЭ) в библиотеке; $(x, y)_i$ – абсолютные координаты центра относительной системы координат j -го БГЭ; $(\xi_K)_j, (K = 1, 2, \dots, l_j)$ – кортеж системных параметров j -го БГЭ (масштаб, код ориентации и др.); $Q = (E, U)$ – граф отношений БГЭ, в котором множеству вершин $E = \{e_1, e_2, \dots, e_N\}$ соответствует множество БГЭ в модели (1), а множеству дуг $U = \{u_1, u_2, \dots, u_L\}$ – множество пар БГЭ, находящихся в определенном теоретико-множественном отношении.

При задании в модели (1) графа Q в виде матрицы весовых соотношений $C = \|C_{ij}\|_{N \times N}$ элемент $C_{ij} = \lambda_{ij}$, если вершины e_j и e_i являются смежными, и $C_{ij} = 0$ в противном случае. Значение λ_{ij} определяет код заданного теоретико-множественного отношения (совместного преобразования) БГЭ между собой из числа операций, поддерживаемых системой обработки и отображения графической информации (операции объединения, пересечения, отсечения и дополнения контурных областей).

Из структуры модели (1) следует ряд ее особенностей:

- модель позволяет задавать графические модели рисков проекта достаточно высокой сложности посредством программного синтеза контурных моделей рискованных областей проекта на основе открытой библиотеки БГЭ;

- имеет достаточно простую и компактную структуру и не требует значительных объемов памяти для своего хранения;

- наличие в модели графа Q и кортежей системных параметров значительно повышает адаптируемость и гибкость модели в процессе настройки системы программного синтеза на отображение контурных моделей рискованных областей требуемой информативности и графической сложности;

- математическая модель БГЭ в библиотеке однозначно может быть задана в виде:

$$M_j = (K_j, G_j, E_j, L_j), \quad (2)$$

где K_j – множество контуров j -го БГЭ; G_j – множество описаний, задающее взаимное расположение элементов множества K_j ; L_j – множество описаний градаций, используемых при построении j -го БГЭ; E_j – множество описаний, задающих отображение $E_j : K_j \rightarrow L_j$.

Для построения библиотеки с необходимой длиной алфавита и сложностью БГЭ в работе предложен метод построения структуры библиотечных данных по критериям информационного объема графических данных и времени программного синтеза библиотечных описаний. В основу метода положены три разработанных способа представления контурной информации в библиотеке,

которые в совокупности позволяют конструировать различные структуры библиотечных данных в интерактивном режиме.

Согласно лингвистическому способу математическая модель алфавита БГЭ рисков проекта задается в виде:

$$M_{\delta} = \{M_j\}, (j = \overline{1, N}), \quad (3)$$

где N – длина алфавита, под которой понимается количество БГЭ в библиотеке. Рассматривая всю совокупность множества контуров K_{δ} , входящих в (3), выделяется подмножество контуров $K(A)$, на основе которого строятся подмножества $K_j(A)$, необходимые для описания каждого j -го БГЭ из заданного

алфавита библиотеки $K(A) = \{k_1(A), k_2(A), \dots, k_i(A), \dots, k_n(A)\} = \bigcup_{i=1}^n k_i(A)$, где

$k_1(A), k_2(A), \dots, k_i(A), \dots, k_n(A)$ есть контуры, абсолютные описания которых привязаны к системе координат БГЭ в библиотеке. Далее совокупность элементов множества K_{δ} рассматривается как некоторый формальный язык. Каждое отдельное подмножество $K_j(A) \in K_{\delta}, (j = \overline{1, N})$ этого языка представляется «фразой», составленной из ряда «слов», а «словом» считается контур. «Грамматика» такого формального языка содержит набор правил, обеспечивающих однозначное представление всех «фраз» языка на основе «слов». В рассматриваемом конкретном случае грамматика содержит указания, какие контуры входят в состав синтезируемых множеств $K_j \in K_{\delta}, (j = \overline{1, N})$. Давая каждому из абсолютных описаний контуров $k_i(A) \in K_j(A), (i = \overline{1, n}; j = \overline{1, N})$ его относительные описания, например порядковые номера, и указывая, какие относительные описания содержат элементы множества $K_j(A)$, тем самым устанавливаются грамматические правила синтеза элементов множества K_{δ} .

Согласно второму предлагаемому программному способу задание множества $K(A)$ в модели (3) основывается на программном синтезе его элементов в целях сокращения числа хранимых абсолютных описаний контуров в библиотеке БГЭ. Выделяется некоторое множество $K'(A) \in K(A)$ такое, что $K_p'(A) = K(A) \setminus K'(A)$ синтезируются на основе $K'(A)$ программными средствами графической системы, т.е. $K(A) \equiv K_p(A) = \{K_p'(A), K'(A)\}$, где $K_p(A)$ – множество требуемых абсолютных описаний контуров; $K'(A)$ – множество хранящихся абсолютных описаний контуров; $K_p'(A)$ – множество описаний, программно-синтезируемых на основе $K'(A)$. Этот способ, в отличие от лингвистического способа, позволяет оптимизировать информационный объем контурных описаний согласно модели (3).

Согласно третьему программно-лингвистическому способу вместо абсолютных информационных описаний $K_p(A)$ вводятся относительные описания $K_p(O)$, указывающие, где хранятся абсолютные описания. Такое разделение позволяет хранить без повторов всю совокупность абсолютных описаний

$K(A)$ и отдельно хранить с возможными повторениями уже относительные описания.

В рамках предложенного графического метода разработан специальный математический аппарат геометрического моделирования рисков поля проекта, основывающийся на концепции синтеза таких моделей в соответствии с (1). Теоретической основой предложенного подхода явились сформулированные свойства жордановых контуров, ограничивающие односвязные и многосвязные рисковые области при их различных вариантах наложения. Здесь также представлен ряд утверждений и доказательств, определяющих результат геометрического моделирования на основе выполнения теоретико-множественных операций в контурном представлении.

Метод нечеткого логического вывода по проектным рискам качества ПИ основывается на построении и использовании специальной нечеткой продукционной системы (см. рисунок) для поддержки принятия решений по проектным рискам. Здесь менеджеры проекта по ходу работ по проекту выделяют рисковую информацию, которая на этапе идентификации рисков преобразуется специалистами в нечеткие вербальные высказывания об угрозах проекту. Эти высказывания (мнения) специалистов посредством использования базы нечетких правил вывода преобразуются в нечеткое вербальное описание величины проектного риска. Затем на основе синтаксического правила формализации лингвистической переменной «величина риска» формируется значение важности рискового события. Основным элементом указанной продукционной системы идентификации и анализа рисков является база правил, для которой условия и заключения отдельных правил формулируются в форме нечетких высказываний относительно значений тех или иных лингвистических переменных. Методика нечеткой лингвистической аппроксимации для задач этапа идентификации и построения нечеткой модели проектных рисков представлена в пятой главе диссертации.

Способ идентификации и анализа проектных рисков на основе нечетких сетей Петри рассмотрен в контексте формализованного подхода к идентификации и анализу проектных рисков ПИ. Здесь исследованы нечеткие сети Петри (НСП), получаемые в результате введения нечеткости в начальную маркировку и в правила срабатывания переходов базового формализма ординарных сетей Петри (СП). При этом нечеткая сеть Петри типа C_f определяется как $C_f = (N, f, \lambda, m_0)$, где $N = (P, T, I, O)$ – структура НСП C_f , для которой $I: P \times T \rightarrow \{0,1\}$ и $O: T \times P \rightarrow \{0,1\}$ – входная и выходная функции переходов соответственно; $f = (f_1, f_2, \dots, f_u)$ – вектор значений функции принадлежности нечеткого срабатывания переходов, при этом $f_j \in [0,1]$ ($\forall j \in \{1, 2, \dots, u\}$); $\lambda = (\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_u)$ – вектор значений порога срабатывания переходов, при этом $\lambda_j \in [0,1]$ ($\forall j \in \{1, 2, \dots, u\}$); $m = (m_1^0, m_2^0, \dots, m_n^0)$ – вектор начальной маркировки, каждая компонента которого определяется значением функции принадлежно-

сти нечеткого наличия одного маркера в соответствующей позиции данной НСП C_f , при этом $m_i^0 \in [0,1] \ (\forall i \in \{1,2,\dots,n\})$. Структура N введенного в рассмотрение подкласса НСП C_f также имеет обычный (не нечеткий) вид, определяемый матрицами входных I и выходных O позиций. Поэтому графически НСП C_f изображаются ориентированным двудольным графом аналогично ординарным СП.



Структура процесса нечеткой идентификации

Динамика изменения начальной и последующих маркировок НСП C_f после момента ее запуска подчиняется следующим правилам $P(C_f)$.

(P_1) Правило определения текущей маркировки. Любое текущее состояние НСП C_f определяется вектором $m = (m_1, m_2, \dots, m_n)$, компоненты которого ($m_i \in [0,1]$) интерпретируются как значения функции принадлежности нечеткого наличия одного маркера в соответствующих позициях $p_i \in P$ НСП C_f . Начальное состояние НСП определяется вектором начальной маркировки m_0 .

(P_2) Правило (условие) активности перехода. Переход $t_k \in T$ НСП C_f называется активным (разрешенным, возбужденным) при некоторой текущей маркировке m , если выполнено следующее условие:

$$\min_{(j \in \{1,2,\dots,n\}) \wedge (I(p_j, t_k) > 0)} \{m_j\} \geq \lambda_k, \quad (4)$$

где λ_k – значения порога срабатывания перехода $t_k \in T$. Переход $t_k \in T$ НСП C_f является активным, если во всех его входных позициях имеются ненулевые значения компонентов вектора текущей маркировки, а минимальное из них – не меньше порога срабатывания рассматриваемого перехода.

(P_3) Правило нечеткого срабатывания перехода. Если переход $t_k \in T$ НСП C_f является активным при некоторой текущей маркировке m [т. е. для него выполнено условие (4)], то нечеткое срабатывание данного перехода, осуществляемое мгновенным образом, приводит к новой маркировке $m_v = (m_1^v, m_2^v, \dots, m_n^v)$, компоненты вектора которой определяются по следующим формулам:

- для каждой из входных позиций $p_i \in P$, для которых $I(p_i, t_k) > 0$:

$$m_i^v = 0, \quad (\forall p_i \in P) \wedge (I(p_i, t_k) > 0); \quad (5)$$

- для каждой из выходных позиций $p_j \in P$, для которых $O(t_k, p_j) > 0$:

$$m_j^v = \max_{(i \in \{1,2,\dots,n\}) \wedge (I(p_i, t_k) > 0)} \{ m_j, \min\{m_i, f_k\} \}, \quad (\forall p_j \in P) \wedge (O(t_k, p_j) > 0), \quad (6)$$

где f_k – значение функции принадлежности или мера возможности нечеткого срабатывания (запуска) перехода $t_k \in T$, которая задается при определении конкретной НСП C_f .

Если некоторые из позиций $p_i \in P$ являются одновременно входными и выходными для разрешенного перехода $t_k \in T$, то для них компоненты вектора новой маркировки рассчитываются последовательно, вначале по формуле (5), а затем – по формуле (6). При этом строгое определение диаграммы достижимых маркировок НСП C_f базируется на отношениях непосредственного следования и достижимости маркировок, что позволяет построить необходимые правила нечетких продукций для нечеткой продукционной системы анализа и сокращения проектных рисков качества программного изделия.

Теоретический анализ НСП C_f позволяет конкретизировать предлагаемый способ представления правил нечетких продукций при решении прикладных задач нечеткого моделирования и выполнения процесса приближенных рассуждений по рискам программного проекта. Для этого используются модифицированные нечеткие сети Петри $C_f' = (N, f, \lambda, m_0)$, для которых правила P_1, P_2 такие же, как и теоретически представленные выше для $P(C_f)$, а правило P_3 модифицировано и принимает следующий вид: (P_3').

При расчете компонентов вектора новой маркировки m как для входных, так и для выходных позиций применяется единая формула (6). Это правило

обусловлено тем обстоятельством, что НСП C'_f используют для интерпретации маркеров в позициях понятие нечеткой истинности высказывания. Значение последнего не становится равным нулю для высказываний в левой части правил продукций после их выполнения при данной интерпретации.

Способ снижения размерности исходных данных для этапа анализа проектных рисков

В процессе решения задачи снижения размерности проектных рисков исходно заданными являются: конечное множество проектных рисков $R = \{R_1, R_2, \dots, R_n\}$, называемое множеством объектов кластеризации; конечное множество характеристик качества $P = \{P_1, P_2, \dots, P_n\}$, на которые влияют потенциальные рисковые события, и значения последствий проектных рисков следует оценить; для каждого $R_i \in R$ измерены все признаки P в заданной количественной шкале и тем самым каждому из элементов $R_i \in R$ поставлен в соответствие вектор $x_i = (x_1^i, x_2^i, \dots, x_q^i)$, где x_j^i - количественное значение признака $p_j \in P$ для объекта данных $R_i \in R$. Соответственно для определения векторов $x_i = (x_1^i, x_2^i, \dots, x_q^i)$ применяется одна из следующих видов шкал измерений: шкала наименований, порядковая шкала, интервальная шкала, шкала отношений. Векторы значений признаков $x_i = (x_1^i, x_2^i, \dots, x_q^i)$ представлены в виде так называемой матрицы данных D размерностью $(n \times q)$, каждая строка которой равна значению вектора x_i .

Для задания вида целевой функции $f(\mathfrak{I}(A))$ искомые нечеткие кластеры рисков представлены нечеткими множествами A_k , образующими нечеткое покрытие исходного множества объектов кластеризации $A=R$ (проектных рисков), для которого условие нечеткого покрытия принимает следующий вид:

$$\sum_{i=1}^c \mu_{A_k}(R_i) = 1 \quad (\forall R_i \in R) \quad , \quad (7)$$

где c - общее количество нечетких кластеров проектных рисков $A_k (k \in \{2, \dots, c\})$, которое считается предварительно заданным.

Для каждого нечеткого кластера риска введены в рассмотрение так называемые типичные представители или центры v_k искомого нечетких кластеров проектных рисков $A_k (k \in \{2, \dots, c\})$, которые рассчитываются для каждого из нечетких кластеров и по каждому из признаков по следующей формуле:

$$v_j^k = \frac{\sum_{i=1}^n (\mu_{A_k}(R_i))^m * x_j^i}{\sum_{i=1}^n (\mu_{A_k}(R_i))^m} \quad , (\forall k \in \{2, \dots, c\}, \forall p_j \in P), \quad (8)$$

где m - параметр, называемый экспоненциальным весом и равный некоторому действительному числу ($m > 1$). Каждый из центров кластеров представляет со-

бой вектор $v_k = \{v_1^k, v_2^k, \dots, v_q^k\}$ в некотором q -мерном нормированном пространстве, изоморфном R_q , т.е. $v_j^k \in R_q$, если признаки измерены в шкале отношений.

В качестве целевой функции используется сумма квадратов взвешенных отклонений координат объектов кластеризации от центров искоемых нечетких кластеров проектных рисков:

$$f(A_k, v_j^k) \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^c (\mu_{A_k}(R_i))^m \sum_{j=1}^q (x_j^i - v_j^k)^2, \quad (9)$$

где m – экспоненциальный вес нечеткой кластеризации рисков, значение которого задается в зависимости от количества элементов (мощности) множества проектных рисков R . Чем больше проектных рисков содержит множество R , тем меньшее значение выбирается для m .

Задача нечеткой кластеризации проектных рисков формулируется следующим образом: для заданных параметров матрицы данных, количества нечетких кластеров рисков c ($c \in Nu$ $c > 1$), параметра m определить матрицу значений функций принадлежности рисков $R_i \in R$ нечетким кластерам рисков A_k ($k \in \{2, \dots, c\}$), которые доставляют минимум целевой функции (9) и удовлетворяют ограничениям (7), (8), а также дополнительным ограничениям (10) и (11):

$$\sum_{i=1}^n \mu_{A_k}(a_i) > 0 \quad (\forall k \in \{2, \dots, c\}), \quad (10)$$

$$\mu_{A_k}(a_i) > 0 \quad (\forall k \in \{2, \dots, c\}, \forall a_i \in A) \quad . \quad (11)$$

Условие (10) исключает появление пустых нечетких кластеров проектных рисков в искомой нечеткой кластеризации, а условие (11) непосредственно следует из определения функции принадлежности нечетких множеств. В этом случае минимизация целевой функции (9) минимизирует отклонение всех объектов кластеризации от центра нечетких кластеров пропорционально значениям функции принадлежности этих объектов соответствующим нечетким кластерам.

Поскольку нечеткая целевая функция (9) не является выпуклой, а ограничения (7), (8), (10), (11) в своей совокупности формируют невыпуклое множество допустимых альтернатив, то в общем случае задача нечеткой кластеризации относится к многоэкстремальным задачам математического программирования в условиях неопределенности (неопределенного программирования).

С учетом особенностей задачи идентификации рисков проекта предложен к практическому использованию алгоритм нечетких c -средних (FCM, Fuzzy C-Means), который позволяет существенно улучшить некоторое исходное нечеткое разбиение рисков, заданное исследователем для решения задачи снижения размерности рисков проекта.

Решение задачи нечеткой кластеризации проектных рисков ПИ методом c -средних на программном уровне представлено в виде специальной автомати-

зированной процедуры нечеткой кластеризации, используемой для определения рационального состава рисков проекта для этапов анализа и мониторинга рисков проекта. Включение такой процедуры в состав процесса управления рисками по характеристикам качества в условиях нечеткости исходных данных по рискам повышает эффективность процесса сокращения проектных рисков качества.

Таким образом, разработанные и исследованные во второй главе диссертации нечеткие модели, методы и алгоритмы идентификации проектных рисков качества отличаются простотой программной реализации и позволяют в условиях нечеткости проектных данных формализовать процесс идентификации проектных рисков по стадиям жизненного цикла ПИ.

Третья глава посвящена разработке научных основ методики анализа проектных рисков качества ПИ в условиях нечеткости проектных данных. Сюда вошли нечеткие методы, модели и алгоритмы формализации и автоматизации процесса анализа проектных рисков качества ПИ. Под анализом понимается итеративный по всем стадиям ЖЦ проекта процесс, связанный с определением из списка идентифицированных проектных рисков некоторого квазиоптимального состава контролируемых проектных рисков качества ПИ в условиях нечеткости.

Проблема анализа рисков в условиях нечеткости содержит в своем составе слабоструктурированные задачи, решение которых выполнено на основе использования положений и методов теории нечетких множеств. Итогом решения является оптимизация для следующих этапов планирования и мониторинга состава проектных рисков по критерию их максимального негативного воздействия на запланированные цели проекта по характеристикам качества. Решение указанной задачи оптимизации состава проектных рисков обосновано и выполнено здесь последовательным решением двух задач. Первая задача связана с определением вектора степени влияния каждого проектного риска на обобщенный критерий качества ПИ в условиях лингвистической неопределенности и нечеткости проектных данных, и вторая задача сопряжена с выбором квазиоптимального состава контролируемых проектных рисков качества ПИ на основе принятия решений в условиях неопределенности.

Первая задача здесь сформулирована как задача формализации и согласования мнений специалистов по проектным рискам о возможной (субъективной) степени влияния последствий рисков на обобщенный критерий качества ПИ. Область определения такой задачи здесь представлена кортежем:

$$\langle R, H, f_s, P_s, G, W(R), D \rangle, \quad (12)$$

где R - множество проектных рисков, определенных специалистами на этапе идентификации рисков; H - модель характеристик качества ПИ; f_s - отображение R в H , определяющее оценки влияния последствий R на H ; P_s - структура предпочтений специалистов (экспертов); G - граф связности рисков качества ПИ; $W(R)$ - искомый вектор степеней влияния последствий R на обобщенный критерий качества ПИ. Необходимо определить (разработать) набор алгорит-

мов D , позволяющих покрыть все варианты информационного состава рисковей информации по стадиям жизненного цикла ПИ, и определить адекватный вектор $W(R)$. Для этого на основе анализа концептуальных моделей процесса анализа и сокращения проектных рисков качества, разработанных в первой главе диссертации, и на основе анализа информации, циркулирующей по стадиям программного проекта, здесь приведены результаты исследований и решения задачи (12) в рамках следующих пяти подходов к разработке набора методов и алгоритмов D .

Подход 1 связан с разработкой алгоритма $D1$, который позволяет определять по стадиям жизненного цикла ПИ вектор $W(R)$ на основе следующих исходных данных: модель H задана множеством независимых характеристик качества программного изделия; R - множество независимых проектных рисков; f_s и P_s представлены экспертным способом на основе количественных оценок.

Подход 2 связан с разработкой алгоритма $D2$, который отличается от $D1$ тем, что экспертные оценки по рискам заданы вербальным способом.

Подход 3 связан с разработкой алгоритма $D3$, который отличается от $D1$ и $D2$ тем, что модель H представлена деревом характеристик качества.

Подход 4 связан с разработкой алгоритма $D4$, который позволяет на основе данных, полученных при использовании одного из $D1$, $D2$, $D3$, учитывать дополнительную однозначную связность проектных рисков по стадиям жизненного цикла ПИ.

Подход 5 связан с разработкой алгоритма $D5$, который в отличие от $D4$ учитывает субъективную связность проектных рисков по стадиям жизненного цикла ПИ.

В первом подходе на основе выделенных при планировании проекта независимых характеристик качества $H = \{H_1, H_2, \dots, H_m\}$ и определенного на этапе идентификации списка $R = \{R_1, R_2, \dots, R_n\}$ получают количественные оценки $\mu_i(H_j)$ степени влияния R_i на характеристику качества H_j на основе использования косвенных или прямых методов формализации суждений специалистов.

Далее совокупность этих оценок представляется нечетким множеством:

$$T_i = \{\mu_i(H_1)/H_1, \mu_i(H_2)/H_2, \dots, \mu_i(H_m)/H_m\}.$$

Свертка вектора степеней влияния $(\mu_i(H_1), \mu_i(H_2), \dots, \mu_i(H_m))$ осуществляется на основе взвешенного аддитивного критерия:

$$\lambda(R_i) = \sum_{j=1}^m a_j \mu_i(H_j), \quad (13)$$

где a_j - весовые коэффициенты характеристик качества ПИ.

В качестве значений степеней влияния R_i на обобщенный критерий качества $W(R_i)$ принимаются значения $\lambda(R_i)$, т.е. $W(R_i) = \lambda(R_i)$.

Во втором подходе формализация вербальных суждений менеджеров по рискам происходит на основе использования понятий лингвистической и структурированной лингвистической переменных.

Определение 1. Лингвистическая переменная (ЛП) называется структурированной, если ее терм-множество $T(X)$ и функцию $M_{\beta}(X)$ можно рассматривать как алгоритмические процедуры для порождения элементов множества $T(X)$ и вычисления смысла каждого термина в $T(X)$ соответственно.

На основе определения (1) для решения задачи (12) сформирована структурированная лингвистическая переменная с именем “Степень влияния последствий проектных рисков на обобщенный критерий качества ПИ”.

Степень влияния последствий R_i на H_j оценивается путем экспертного выбора наиболее соответствующего элемента терм-множества j -й ЛП. С использованием семантического правила определяется $\mu_i(H_j)$ численное значение вербального описания степени влияния последствий проектных рисков на характеристики качества ПИ. Полученные результаты представляются в виде совокупности нечетких множеств:

$$C_i = \{\mu_i(H_1)/H_1, \mu_i(H_2)/H_2, \dots, \mu_i(H_m)/H_m\}.$$

Значения $\lambda(R_i)$ степени влияния последствий проектных рисков на обобщенный критерий качества вычисляются по формуле (13) и $W(R_i) = \lambda(R_i)$.

Третий подход позволяет учитывать иерархическую модель характеристик качества H при независимых проектных рисках $R = \{R_1, R_2, \dots, R_n\}$. Иерархия характеристик качества ПИ здесь представляется следующими элементами: вершиной обобщенного качества H ; вершинами факторов качества, заданных элементами вектора H_i , и вершинами критериев качества, представленных элементами матрицы H_{ij} .

Решение задачи здесь представлено в виде последовательности этапов.

1. Задаются приоритеты влияния критериев качества на обобщенный критерий для последующего определения степени влияния соответствующих факторов проектного риска.

2. Определяются значения степени влияния $R_i \in R$ на характеристики качества ПИ на основе использования одного из двух выше представленных подходов. Таким образом, в результате получается набор матриц:

$P1[R_k]$ - вектор степеней влияния рисков событий на обобщенный критерий качества ПИ;

$P2[R_k, H_i]$ - матрица степеней влияния проектных рисков на i -й фактор качества ПИ;

$P3_{H_i}[R_k, H_{ij}]$ - набор матриц степеней влияния рисков событий на j -й критерий i -го фактора качества ПИ.

3. Выделяются проектные риски, влияющие на критерии i -го фактора качества, и определяется вектор приоритетов влияния последствий рисков относительно i -го фактора качества H_i по формуле

$$W_i = [A_i] \times [L_i] \times \bar{X}_i,$$

где A_i - нормированная матрица $P3_{H_i}[R_k, H_{ij}]$ относительно H_i ;

L_i - структурный критерий;

X_i - нормированный вектор приоритетов критериев i -го фактора;

4. На основе определенного вектора W_i и вектора степеней влияния последствий рисков на i -й фактор качества проекта вычисляется

$$P2[R_k, H_i] = \bigcup_{i=1}^k P2[R_k, H_i] \cup W_i.$$

5. Определяется вектор W_0 относительно критерия обобщенного качества:

$$W_0 = [A_0] \times [L_0] \times \overline{X_0}.$$

6. На основе объединения вектора W_0 с $P1[R_k]$ получается вектор приоритетов влияния проектных рисков на обобщенный критерий качества $W(R_i)$.

Четвертый подход позволяет учитывать однозначную связность проектных рисков. Для формализации данного подхода в работе вводится и обосновывается ряд определений и свойств однозначно связанных проектных рисков.

Определение 2. Под связностью \mathfrak{S} двух проектных рисков R_i, R_j понимается возможность появления в качестве последствий $X(R_i)$ другого проектного риска R_j . При этом связность \mathfrak{S} может быть в проекте однозначной и субъективной.

Определение 3. Связность $\mathfrak{S}(R_i, R_j)$ называется субъективной, если возможность появления в качестве последствий R_i другого рискованного события R_j может быть задана нечетким числом $D_{\mathfrak{S}} = \langle \eta(R_i, R_j) / (R_i, R_j) \rangle$, где $\eta(R_i, R_j)$ - субъективная величина, характеризующая меру возможности появления в качестве последствий R_i другого R_j .

Определение 4. Связность $\mathfrak{S}(R_i, R_j)$ называется однозначной в программном проекте, если $\mathfrak{S}^n(R_i, R_j) = 1$.

В данном случае задача (12) трансформируется в задачу определения вектора важности влияния последствий проектных рисков на обобщенный критерий качества ПИ. Для формализации введено определение важности.

Определение 5. Важностью проектного риска R_i называется положительное действительное число $V(R_i)$, учитывающее как степень влияния самого R_i , так и влияние на обобщенный критерий качества ПИ всех проектных рисков, принадлежащих поддереву графа связности с вершиной в R_i .

Тогда решение задачи (1) представляется в виде последовательности этапов.

1. На основании использования одного из вышеприведенных алгоритмов (D1-D3) определяется вектор $\{\lambda(R_i)\}$ степеней влияния рисков на обобщенный критерий качества ПИ.

2. На текущем этапе жизненного цикла определяется граф связности $G^{\mathfrak{S}}$, который представляется матрицей связности проектных рисков:

$$\mathfrak{S} = \begin{matrix} R_1 \\ R_2 \\ \dots \\ R_n \end{matrix} \begin{bmatrix} R_1 & R_2 & \dots & R_n \\ 0 & \mathfrak{S}(R_1, R_2) & \dots & \mathfrak{S}(R_1, R_n) \\ \mathfrak{S}(R_2, R_1) & 0 & \dots & \mathfrak{S}(R_2, R_n) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \mathfrak{S}(R_n, R_1) & \mathfrak{S}(R_n, R_2) & \dots & 0 \end{bmatrix}.$$

3. Последовательно по уровням иерархии графа связности $G^{\mathfrak{S}}$ от листьев к корням определяется вектор важности проектных рисков $V(R_i)$ по формуле:

$$V(R_i) = \lambda(R_i) + \sum_{q=1}^{k2} \lambda(R_q), \quad (14)$$

где R_q - все риски, принадлежащие поддереву графа $G^{\mathfrak{S}}$ с вершиной R_i .

Итогом работы данного алгоритма являются значения скорректированного вектора $W(R_i) = V(R_i)$.

Пятый подход позволяет учитывать субъективную связность проектных рисков. В этом случае в качестве последствий одного проектного риска появление в проекте другого проектного риска возможно с некоторой субъективной мерой $\mathfrak{S}^{\eta} \in [0,1]$, которая задается менеджерами по рискам.

На основе введенных и доказанных в диссертации свойств субъективно связанных проектных рисков решение задачи (12) представлено в виде последовательности этапов.

1. Определяется коэффициент связности проектных рисков $\psi_{R_i}^{\eta}$ путем рассмотрения графа связности $G^{\mathfrak{S}}$ от вершин до листьев. Данный процесс происходит в следующей последовательности.

1.1. Первоначально всем вершинам графа связности $\psi_{R_i}^{\eta} = 0$.

1.2. Граф $G^{\mathfrak{S}}$ разбивается на k деревьев с корнями в вершинах $R_j \mid j = \overline{1, k}$.

1.3. Рассматривается j -е дерево и принимается $\psi_{R_j}^{\eta} = 1$.

1.4. Коэффициент связности для проектного риска R_w определяется по доказанной формуле (15) при рассмотрении деревьев по уровням иерархии сверху вниз:

$$\psi_{R_w}^{\eta} = \psi_{R_v}^{\eta} + \mathfrak{S}(R_v, R_w) * \psi_{R_v}^{\eta}, \quad (15)$$

где $\mathfrak{S}(R_v, R_w)$ - степень связности рисков событий R_v и R_w ;

$\psi_{R_v}^{\eta}$ - коэффициент связности проектного риска R_v .

2. Следующим этапом определяется важность проектных рисков от листьев дерева связности до корней соответствующих деревьев графа связности $G^{\mathfrak{S}}$, при выполнении очередной последовательности шагов.

2.1. Для всех листьев графа связности важность $V(R_q)$ определяется как

$$V(R_q) = \psi_{R_q}^{\eta} * \lambda(R_q).$$

2.2. Далее вычисляется важность $V(R_q)$ снизу вверх по формуле

$$V(R_e) = \psi_{R_e}^{\eta} * \lambda(R_e) + \sum_{i=1}^k V(R_i),$$

где R_i - проектные риски, являющиеся элементами, непосредственно порождаемыми R_e .

Итогом работы данного алгоритма являются значения скорректированного вектора $W(R_i) = V(R_i)$.

Вторая задача, связанная с оптимизацией состава контролируемых рисков качества ПИ, представлена коротко:

$$\langle R, W(R), P_r, U \rangle, \quad (16)$$

где $W(R)$ - вектор степеней влияния последствий проектных рисков на обобщенный критерий качества ПИ; P_r - структура предпочтений экспертов по ресурсам, которая ставит в соответствие каждому рисковому событию из R требуемые ресурсы на управление каждым проектным риском. Требуется разработать набор алгоритмов U , позволяющий выбрать квазиоптимальный состав контролируемых проектных рисков качества на каждой стадии ЖЦ ПИ. В зависимости от наличия или отсутствия ресурсных ограничений здесь рассмотрены и исследованы два подхода к решению данной задачи.

- Подход 1 связан с разработкой алгоритма $U1$, позволяющего определять квазиоптимальный состав контролируемых рисков качества в условиях отсутствия жестких ресурсных ограничений.

- Подход 2 связан с разработкой алгоритма $U2$, отличающегося от первого подхода наличием предпочтений экспертов P_r по ресурсам проекта.

В первом подходе задача (16) по выбору квазиоптимального состава контролируемых проектных рисков качества ПИ решается как

$$R^* = \{R_i\} \in R \mid W(R^*) = \max_N W(R), i = \overline{1, N}.$$

Во втором подходе при наличии ресурсных ограничений указанная задача (16) представлена как задача нечеткого математического программирования с четкой целевой функцией:

$$\sum_{i=1}^n W(R_i) x_i \rightarrow \max,$$

где $W(R_i)$ - важность влияния последствий проектных рисков на обобщенный критерий качества ПИ, определенная при решении задачи (12); $x_i = \{0, 1\}$ - включение или не включение R_i в оптимальный состав контролируемых проектных рисков качества ПИ.

При нечетких ограничениях

$$\sum_{i=1}^n b_i x_i \leq B,$$

где b_i - предполагаемое количество ресурсов, необходимое для устранения последствий R_i ; B - ресурсы проекта, выделенные для управления рисками.

Итоговый состав контролируемых проектных рисков качества передается на этап планирования рисков, где эксперты разрабатывают различные альтернативы реагирования на каждый из проектных рисков и определяют признаки возникновения этих рисков в проекте.

Разработанные и исследованные в третьей главе диссертации нечеткие модели, методы и алгоритмы анализа проектных рисков качества отличаются простотой программной реализации и позволяют в условиях нечеткости формализовать процесс анализа проектных рисков по стадиям ЖЦ ПИ.

Четвертая глава диссертации посвящена разработке научных основ методики мониторинга и сокращения проектных рисков качества ПИ в условиях нечеткости. Сюда вошли нечеткие методы, модели и алгоритмы формализации и автоматизации процесса мониторинга проектных рисков качества ПИ. Под мониторингом понимается итеративный по всем стадиям ЖЦ проекта процесс, связанный с определением (идентификацией) по ходу проекта возникающих рисков ситуаций из списка подлежащих контролю и определению адекватных мер по устранению идентифицированных проектных рисков.

Основными задачами, решаемыми и исследуемыми здесь, являются:

- *задача 1*, связанная с разработкой нечетких моделей, методов и алгоритмов, необходимых для формализации и автоматизации процесса идентификации ситуаций возникновения рисков событий по стадиям ЖЦ ПП. Исходные данные задаются с этапа планирования проектных рисков качества в виде значений характеристик проекта, характерных для возникновения проектных рисков, и с текущего этапа проекта в виде проектной и рискованной информации;

- *задача 2*, заключающаяся в разработке моделей, методов и алгоритмов определения оптимальной (рациональной) альтернативы реагирования на каждое идентифицированное рискованное событие исходя из сложившейся ситуации по ходу проекта.

Постановка задачи 1, связанной с идентификацией ситуации возникновения рискованного события, представлена кортежем:

$$\langle S, w, f, h, P_s, Z \rangle, \quad (17)$$

где $S = \{s_1, s_2, \dots, s_N\}$ - набор эталонных ситуаций, характеризующих ситуации возникновения проектных рисков; w - текущая ситуация проекта; f - отображение w в S , характеризующее степень их соответствия; h - порог достоверности нечеткого соответствия; P_s - структура предпочтений эксперта по рискам. Необходимо разработать алгоритм Z , позволяющий определять соответствие текущей ситуации проекта w (согласно P_s) с некоторым порогом достоверности нечеткого соответствия h ситуациям из набора эталонных ситуаций.

Формализация решения задачи (17) основана здесь на теории расплывчатых ситуационных моделей принятия решений. Считается, что все текущие со-

стояния программного проекта по стадиям жизненного цикла ПИ оцениваются через некоторые дискретные промежутки времени на ключевых контрольных точках проекта (начало, окончание работы, этапа, стадии и т.д.). Состояние объекта проектирования, согласно предлагаемой здесь парадигме идентификации ситуации возникновения рисков, представляется в виде нечеткой ситуации \tilde{w} . Тогда полученная входная нечеткая ситуация может сравниваться со всеми эталонными ситуациями возникновения проектных рисков, хранящимися в базе данных. В результате определяются степени соответствия текущей ситуации проекта всем эталонным ситуациям. Ситуации, превышающие заданный порог h , являются идентифицированными ситуациями возникновения рисков.

В зависимости от особенностей состава контролируемых проектных рисков в качестве меры для определения степени соответствия текущей рискованной ситуации проекта \tilde{w} эталонным рискованным ситуациям $\tilde{s}_i \in S$ предложено использовать:

- степень нечеткого включения текущей ситуации \tilde{w} в \tilde{s}_i ;
- степень нечеткого равенства \tilde{w} и \tilde{s}_i .

В случае применения степени нечеткого включения в качестве меры соответствия в диссертации обоснована необходимость использования диаграммы Хассе для оптимизации идентификации ситуации возникновения рисков. Диаграмма Хассе строится для графа нечеткого включения эталонных ситуаций друг в друга. Поиск наиболее сходной с \tilde{w} ситуации \tilde{s}_i в множестве S начинается с верхнего уровня иерархии. Определяется ситуация \tilde{s}_l верхнего уровня, в которую нечетко включаются \tilde{w} , т.е. $\tilde{w} \subseteq \tilde{s}_l$. Ситуация \tilde{s}_i полагается равной \tilde{s}_l . Осуществляется переход к ситуациям, расположенным на нижних уровнях иерархии и смежным с \tilde{s}_l . Среди них определяется ситуация \tilde{s}_k , в которую включается ситуация \tilde{w} . Если ситуация \tilde{s}_k существует, то $\tilde{s}_i \approx \tilde{s}_k$ и поиск продолжается. Далее рассматриваются ситуации нижних по отношению ко второму уровню иерархии и т.д. Поиск заканчивается, если: а) на некотором уровне иерархии в ситуацию \tilde{s}_i не включается ни одна ситуация множества S ; б) для любой ситуации \tilde{s}_j , включающейся в ситуацию \tilde{s}_i , выполняется условие $\tilde{w} \not\subseteq \tilde{s}_j$.

Для случая использования степени нечеткого равенства в качестве меры соответствия в работе обоснована необходимость разбиения множества S типовых ситуаций на классы нечеткой эквивалентности, где в один класс входят нечетко равные между собой ситуации. Показано, что в пределах достоверности, ограничиваемой порогом нечеткого равенства h_r , все ситуации одного класса эквивалентности \tilde{A}_i можно считать одной ситуацией. Данное обстоятельство позволило снизить трудоемкость нечеткой процедуры идентификации ситуации возникновения рисков проекта по характеристикам качества.

Следующей задачей, решаемой на этапе мониторинга проектных рисков качества ПИ, является определение оптимальной альтернативы реагирования на идентифицированное рисковое событие.

Постановка задачи 2, связанной с разработкой методов определения оптимальной альтернативы реагирования, представлена кортежем:

$$\langle A(R_i), R_i, g, P_a, V \rangle, \quad (18)$$

где $A(R_i) = \{A_1(R_i), \dots, A_p(R_i)\}$ - множество альтернатив реагирования на идентифицированное рисковое событие R_i ; g - отображение $A(R_i)$ на R_i ; P_a - структура предпочтений экспертов по рискам. Необходимо разработать алгоритм V , позволяющий определять оптимальную (рациональную) альтернативу реагирования A_r на идентифицированное рисковое событие R_i согласно P_a .

В зависимости от числа привлекаемых менеджеров (экспертов) по рискам и способа задания отношения предпочтения мнений каждого из них разработаны следующие подходы:

Подход 1 связан с разработкой алгоритма $V1$, который позволяет определять оптимальную альтернативу реагирования на R_i в случае привлечения одного специалиста по рискам.

Подход 2 связан с разработкой алгоритма $V2$, который в отличие от $V1$ работает в случае привлечения группы менеджеров по рискам с весовыми коэффициентами важности мнений каждого из них.

Подход 3 связан с разработкой алгоритма $V3$, который в отличие от $V1$ работает в случае привлечения группы менеджеров по рискам при заданном отношении предпочтения важности мнений каждого из них.

При первом подходе специалист по рискам в терминах предпочтительности определяет матрицу важности альтернатив реагирования R_i . Далее для J_W строится нечеткое отношение строгого предпочтения J_W^S и вычисляется нечеткое подмножество $A_R^{nd} \subset A$ недоминируемых альтернатив реагирования, ассоциированное с J_W . За оптимальную принимается альтернатива реагирования A^* , для которой значение $\mu_{J_W}^{nd}(A^*)$ максимально:

$$A^* = \arg \max_{A_i \in A} \mu_{J_W}^{nd}(A_i).$$

При втором подходе на множестве определенных альтернатив реагирования $A = \{A_1, A_2, \dots, A_{N_A}\}$ каждый эксперт по рискам (с важностью мнений γ_k) задает свое видение важности альтернатив реагирования в терминах предпочтительности J_{W_k} . Для каждого отношения предпочтения J_{W_k} строится нечеткое отношение нестрогого предпочтения $J_{W_k}^S$. Далее строится свертка P отношений предпочтения как пересечение отношений нестрогого предпочтения экспертов:

$$P = \bigcap J_{W_k}^S(A_i, A_j) = \min\{\mu(A_i), \mu(A_j)\}.$$

На основе P построится отношение строгого предпочтения $P^S = P / P^T$. Следующим шагом определяется множество $A(P^S, nd)$ и строится выпуклая

свертка Q отношений J_{W_k} , которая определяется как $Q = \sum \gamma_k J_{W_k}$. Для нечеткого отношения предпочтения Q , аналогично P^S , строятся отношение строгого предпочтения Q^S и множество недоминируемых альтернатив U_q^{nd} . Далее определяется пересечение полученных множеств $U(J_W^S, nd)$ и $U(Q, nd)$ с функцией принадлежности: $\mu^{nd}(A_i) = \min(\mu_P^{nd}(A_i), \mu_Q^{nd}(A_i))$. Выбирается та альтернатива реагирования A^* , для которой значение $\mu^{nd}(A^*)$ максимально:

$$A^* = \arg \max_i \mu^{nd}(A_i), A_i \in A.$$

При третьем подходе группа экспертов характеризуется с помощью нечеткого отношения предпочтения J_N , заданного на множестве E экспертов по рискам. В данном случае для решения задачи (18) аналогично второму подходу для каждой J_{W_k} строятся $J_{W_k}^S$ и A_k^{nd} . Для формализации вводится обозначение $\mu_k^{nd}(A_i) = \mu_\Phi(A_i, e_k)$ и тем самым задается нечеткое соответствие Φ между множествами A и E . Следующим шагом строится свертка Γ в виде композиции соответствий $\Gamma = \Phi^T J_N \Phi$, причем результирующее отношение Γ определяется как произведение Φ^T, J_N, Φ . С отношением Γ ассоциируются отношение Γ^S и множество A_r^{nd} . Корректируется множество A_r^{nd} до множества A_r^{nd} с функцией принадлежности

$$\mu_\Gamma^{nd}(A_i) = \min(\mu_\Gamma^{nd}(A_i), \mu_\Gamma(A_i, A_i)).$$

Выбирается та альтернатива, для которой значение функции принадлежности скорректированного A_r^{nd} недоминируемых альтернатив максимально.

Разработанные и исследованные в четвертой главе диссертации нечеткие модели, методы и алгоритмы мониторинга проектных рисков качества отличаются простотой программной реализации и позволяют в условиях нечеткости проектных данных формализовать процесс мониторинга проектных рисков по стадиям жизненного цикла ПИ.

Пятая глава диссертационной работы посвящена разработке научных основ построения базы знаний по проектным рискам качества программных изделий. В перечень решаемых задач вошли вопросы разработки методики нечеткой лингвистической аппроксимации проектных рисков качества и обоснование подхода к настройке нечетких баз знаний по проектным рискам качества. Показано, что задачи принятия проектных решений в отношении проектных рисков качества ПИ следует рассматривать как задачи идентификации, обладающие рядом общих свойств:

- для принятия решения в проекте по отношению к проектному риску необходимо установить зависимость между входными параметрами (переменными) проектного риска и выходным параметром (переменной);

- выходная переменная проектного риска ассоциируется с объектом идентификации, т.е. с видом принимаемого решения относительно проектного риска качества ПИ; входные переменные риска ассоциируются с параметрами состояния объекта идентификации; выходная и входные переменные проектного риска могут иметь количественные и качественные оценки;

- структура взаимосвязи между выходной и входными переменными проектного риска описывается правилами ЕСЛИ <входы>, ТО <выход>, использующими качественные оценки переменных риска и представляющими собой нечеткие базы знаний по рискам проекта.

Формирование нечеткой базы знаний по проектным рискам трактуется как аналог этапа структурной идентификации, на котором строится грубая модель объекта с параметрами, подлежащими настройке. В данном случае настройке подлежат формы функций принадлежности нечетких термов, с помощью которых оцениваются входы и выходы объекта.

Совокупность правил ЕСЛИ-ТО рассмотрена как набор экспертных точек в пространстве <входы - выход>, позволяющих восстанавливать по этим точкам многомерную поверхность, которая в свою очередь позволяет получать значения выхода проектного риска при различных комбинациях значений входных переменных проектного риска.

В терминах предметной области проектных рисков качества представлен подход к двухэтапной настройке нечетких баз знаний по проектным рискам качества. На первом этапе осуществляются формирование и грубая настройка модели проектного риска путем построения базы знаний по доступной экспертной информации. На втором этапе осуществляется тонкая настройка нечеткой модели проектного риска путем обучения модели по экспериментальным данным. Этап тонкой настройки формулируется здесь как задача нелинейной оптимизации, и для ее решения показана целесообразность применения генетических алгоритмов оптимизации. Представленные в пятой главе диссертации результаты исследований аккумулируют и развивают существующий опыт построения нечетких баз знаний в направлении обоснования современной методики построения базы знаний по проектным рискам качества программных изделий.

Шестая глава диссертационной работы посвящена разработке и исследованию эффективности комплекса программных средств (ПС), реализующих разработанные методы, модели и алгоритмы по теме диссертации.

В перечень проектно-исследовательских работ вошли следующие: анализ системных требований, проектирование архитектуры, детальное проектирование, кодирование и тестирование, интеграция компонентов, квалификационное тестирование, инсталляция ПС и опытная эксплуатация ПС в составе интегрированных CASE-технологий проектирования и управления проектированием ПИ в ряде ведущих проектных организаций.

В качестве практических задач, связанных с разработкой программных средств по теме диссертации, определены 8 проектных задач, которые классифицированы: на 4 основные проектные задачи по разработке модуля идентификации, модуля анализа, модуля планирования, модуля мониторинга; на 3 вспо-

могательные проектные задачи по разработке модуля документирования результатов, модуля редактирования параметров рисков, модуля настройки ПС на характеристики проекта; на задачи по разработке базы данных и базы знаний по проектным рискам качества ПИ.

Перечень основных модулей, база данных и база знаний образуют ядро системы сокращения проектных рисков качества ПИ, а вспомогательные модули обеспечивают поддержку основных задач. Разработанная модульная архитектура программного комплекса по проектным рискам позволяет использовать комплекс в составе современных интегрированных CASE-технологий, а также допускает автономное использование всего программного комплекса и его отдельных модулей для решения локальных задач по идентификации, анализу, планированию и мониторингу проектных рисков качества ПИ.

Разработанные ПС и информационные базы зарегистрированы в РОСПАТЕНТ и ОФАП, внедрены в ряде проектных организаций. Опытная эксплуатация разработанного программного комплекса показала значительный положительный эффект, заключающийся: в снижении трудоемкости этапов идентификации, анализа, планирования и мониторинга проектных рисков качества; в снижении фактора субъективности принимаемых проектных решений по рискам; в повышении результативности ПП по характеристикам качества; в значительном снижении процента пропущенных проектных рисков качества и, как следствие, в повышении качества ПИ.

В заключении диссертационной работы сформулированы основные научные результаты, полученные в рамках решения поставленной научно-технической проблемы разработки научных основ идентификации, анализа и мониторинга проектных рисков качества программных изделий в условиях нечеткости проектных данных с целью повышения эффективности функционирования систем автоматизированного проектирования, управления качеством проектных работ на основе современных методов моделирования и инженерного анализа, что является характерным для современных САПР.

1. Разработана концепция программно-ориентированной методики сокращения рисков проекта программных изделий по характеристикам качества, формализованная методами и приложениями теории нечетких множеств, основанная на декомпозиции регламентированного процесса сокращения рисков качества программного проекта на взаимосвязанные процессы идентификации проектных рисков, анализа проектных рисков, планирования проектных рисков и мониторинга проектных рисков качества ПИ и позволяющая на практике достаточно простую реализацию компьютерных интерактивных методов для использования в составе интегрированной CASE-технологии с целью повышения результативности и эффективности автоматизированного проектирования и управления проектированием ПИ в условиях нечеткости проектных данных.

2. Разработана методика формализации и автоматизации процесса идентификации проектных рисков качества ПИ, содержащая в своем составе графический метод многопараметрического анализа и идентификации потенциальных рисков программного проекта по характеристикам качества, формализованную

процедуру снижения размерности идентифицированных рисков проекта нечеткими методами автоматической классификации, формализованную процедуру идентификации рисков качества проекта методами нечеткого вывода и приложения нечетких сетей Петри для представления правил нечетких продукций.

3. Разработан метод формализации и автоматизации процесса анализа проектных рисков качества ПИ, ориентированный на определение оптимального состава контролируемых проектных рисков по стадиям жизненного цикла программного проекта, включающий в свой состав серию разработанных нечетких методов и алгоритмов, учитывающих иерархическую структуру модели характеристик качества проекта с весовыми коэффициентами значимости, способы представления нечеткой экспертной информации по рискам, условия объективной и субъективной связности рисков по стадиям жизненного цикла проекта, а также учитывающий ресурсные ограничения проекта на этапе оптимизации состава контролируемых рисков по критерию их максимального потенциального влияния на характеристики качества проекта ПИ.

4. Предложен модифицированный метод анализа иерархий, разработанный на основе положений теории нечетких множеств и предназначенный для решения задачи по определению вектора влияния проектных рисков на обобщенный критерий качества программного проекта в условиях нечеткости и многоуровневого представления иерархии характеристик качества и рисков качества программного проекта по стадиям жизненного цикла.

5. Разработан метод формализации и автоматизации процесса мониторинга проектных рисков качества ПИ, ориентированный на программное определение (идентификацию) по ходу проекта текущих рисков ситуаций с последующим выбором рациональной альтернативы реагирования на риски и содержащий в своем составе нечеткие процедуры ситуационного анализа с оптимизацией решений на основе диаграммы Хассе, а также включающий способы оптимизации альтернатив для смягчения рисков в условиях нечеткости.

6. Предложена методика построения базы знаний по рискам программного проекта, содержащая в своем составе процедуры нечеткой лингвистической аппроксимации в интеллектуальной технологии сокращения рисков проекта и процедуру настройки нечетких баз знаний по проектным рискам качества ПИ.

7. Разработаны база данных по рискам качества ПИ и интерактивные инструментальные средства, обеспечивающие поддержку нечетких процедур идентификации, анализа, планирования и мониторинга проектных рисков качества по стадиям жизненного цикла ПИ. Инструментальные средства, реализующие разработанные методы, модели и алгоритмы программного анализа и сокращения проектных рисков качества, показали положительные результаты в экспериментальных проектах и предназначены для расширения функциональных возможностей и использования в составе современных интегрированных CASE-технологий, ориентированных на автоматизированное проектирование и управление проектированием сложных программных изделий высокого качества с минимальными рисками.

ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в центральных журналах перечня ВАК

1. Таганов А.И. Применение нечетких множеств для формализации процессов анализа и идентификации важности рисков программного проекта // Системы управления и информационные технологии. – Москва-Воронеж, 2007. – Вып. 30. - С. 46 - 51.
2. Таганов А.И. Методика анализа и сокращения рисков проектов сложных программных систем по характеристикам качества // Вестник РГРТУ. – Рязань, 2010. - Вып. 30. - С. 77 - 82.
3. Таганов А.И., Таганов Р.А. Применение нечетких ситуационных моделей для идентификации рисков программного проекта // Системы управления и информационные технологии. - Москва-Воронеж, 2007. – Вып. 30. - С. 297 -303.
4. Таганов А.И. Представление правил нечетких продукций в нечеткой системе анализа и сокращения рисков проекта на основе нечетких сетей Петри // Системы управления и информационные технологии. - Москва-Воронеж, 2009. – Вып. 38. - С. 46 - 51.
5. Таганов А.И. Способы построения графических моделей рисков проекта на основе структурно-символьного метода представления // Системы управления и информационные технологии. – Москва-Воронеж, 2010. – Вып. 40. - С. 43 - 47.
6. Таганов А.И. Методы представления сложной структурно-символьной информации // Вестник РГРТУ. - Рязань, 2006. - Выпуск 18. - С. 74 - 80.
7. Таганов А.И., Таганов Р.А. Метод определения важности субъективно-связных рисков качества программных проектов // Вестник РГРТА, 2002. – Вып. 10. - С. 64 - 69.
8. Таганов А.И., Таганов Р.А. Метод определения оптимальной альтернативы реагирования на этапе мониторинга рисков проекта // Вестник РГРТА, 2003. - Вып. 11. - С. 115 - 118.
9. Таганов А.И., Таганов Р.А. Методологические основы методов идентификации рисков событий проекта // Вестник РГРТА, 2003. -Вып. 12. - С. 70 - 77.
10. Таганов А.И., Таганов Р.А. Разработка инструментальных средств поддержки процессов управления рисками качества программного проекта // Вестник РГРТА. – Рязань, 2003. - Выпуск 13. - С. 52 - 57.
11. Везенов В.И., Таганов А.И., Таганов Р.А. Применение процедуры нечеткого вывода для анализа рисков программного проекта // Системы управления и информационные технологии. - Москва-Воронеж, 2006. – Вып. 24. - С. 34 - 39.
12. Бриндикова И.В., Воеводин А.А., Гуров В.С., Корячко В.П., Таганов А.И., Чернышев С.В. Системно-функциональное построение автоматизированной системы дистанционного обучения по направлению «Глонасс» // Вестник РГРТУ. - Рязань, 2010. - Вып. 33. - С. 82 - 89.

Монографии

13. Корячко В.П., Таганов А.И., Таганов Р.А. Методологические основы разработки и управления требованиями к программным системам. - М: Горячая линия - Телеком, 2009. - 224 с.
14. Везенов В.И., Светников О.Г., Таганов А.И. Основы процессно-ориентированного управления проектами информационных систем / под ред. проф. В.П.Корячко. – М.: Энергоатомиздат, 2002. - 320 с.

Свидетельства о регистрации программы в ФГУ ФИПС

15. Таганов Р.А., Таганов А.И. Многокритериальная оптимизация рисков качества программной продукции (Риск КПП) / Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ в РОСПАТЕНТ № 2001611541 от 15.11.2001.
16. Таганов Р.А., Таганов А.И. База данных рисков качества проектов программных изделий ("БДРКППИ") / Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ в РОСПАТЕНТ №2002620044 от 25.03.2002.
17. Таганов Р.А., Таганов А.И. Оптимизация процесса идентификации ситуации возникновения рисков события ("Риск-Иден") / Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ в РОСПАТЕНТ № 2002610046 от 16.01.2002.
18. Таганов Р.А., Таганов А.И. Система поддержки принятия решений по рискам проекта программных изделий ("Риск-ПИИ") / Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ в РОСПАТЕНТ № 2002610047 от 16.01.2002.

19. Корячко В.П., Таганов А.И., Таганов Р.А. Информационно-образовательная среда системного моделирования и управления проектами в CALS (ИОС-CALS) / Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ в РОСПАТЕНТ №2002610045 от 16.01.2002.

20. Таганов Р.А., Везенов В.И., Светников О.Г., Таганов А.И. Система оценивания качества программной продукции по ИСО/МЭК 9126-1-4 (СОК ПП) / Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ в РОСПАТЕНТ №2003610449 от 19.02.2003.

21. Таганов Р.А., Везенов В.И., Светников О.Г., Таганов А.И. Система планирования и мониторинга процесса оценивания качества программной продукции в соответствии с ИСО/МЭК 14598-1-6 (СПМ ПП) / Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ в РОСПАТЕНТ №2003610448 от 19.02.2003.

Свидетельства о регистрации программы в ОФАП РФ

22. Таганов А.И., Таганов Р.А. Качественный и количественный анализ рисков качества программных проектов / Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ в ОФАП № 3357 от 08.04.2004.

23. Таганов А.И., Таганов Р.А. Нечеткое ситуационное моделирование для процесса мониторинга рисков качества программных проектов / Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ в ОФАП № 3356 от 08.04.2004.

24. Таганов А.И., Таганов Р.А. Планирование рисков качества программного проекта методом мозгового штурма / Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ в ОФАП № 3358 от 08.04.2004.

25. Таганов А.И., Таганов Р.А. Система формализации нечетких исходных данных программных проектов для процесса идентификации рисков качества / Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ в ОФАП № 3359 от 08.04.2004.

26. Корячко В.П., Таганов А.И., Таганов Р.А. База знаний вуза: методы процессного моделирования для проектов внедрения ИПИ технологий / Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ в ОФАП № 7096 от 26.10.2006.

27. Корячко В.П., Таганов А.И., Таганов Р.А. База знаний вуза: методы информационного моделирования для проектов внедрения ИПИ технологий / Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ в ОФАП № 7095 от 26.10.2006.

28. Корячко В.П., Таганов А.И., Таганов Р.А. База знаний вуза: методы функционального моделирования для проектов внедрения ИПИ технологий / Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ в ОФАП № 7146 от 26.10.2006.

Статьи в научно-технических журналах и межвузовских сборниках

29. Таганов А.И. Анализ и классификация рисков проекта методами нечеткой классификации // Информационные технологии моделирования и управления. – Воронеж: Научная книга, 2010. – Вып. 63. – С. 455 - 461.

30. Таганов А.И., Хохлова А.С., Таганова Е.А. Методологические вопросы совершенствования процессов предприятия в соответствии с моделью интеграции моделей зрелости возможностей // Известия Белорусской инженерной академии, 2003. – Вып. №1 (15)/1. – С. 107 – 118.

31. Корячко В.П., Таганов А.И. Программный метод управления рисками качества проекта информационной системы // Известия Белорусской инженерной академии, 2004. – Вып. 1(17)/4. – С. 168 - 179.

32. Таганов А.И., Таганов Р.А., Черныш С.А. Анализ процесса определения уровня целостности программных средств на системном и формальном уровне // Известия Белорусской инженерной академии, 2004. – Вып. 1(17)/1. – С. 49 - 57.

33. Везенов В.И., Кондрашов С.П., Тимашев А.В., Таганов А.И. Автоматизация системного проектирования информационного обеспечения интегрированных автоматизированных систем испытаний // Научно-технический журнал РГРТА. Выпуск «100 лет радио». – Рязань, 1995, С. 87 - 91.

34. Корячко В.П., Таганов А.И. Методологические основы процессно-ориентированного управления программными и информационными проектами // Известия Белорусской инженерной академии, 2002. – Вып. № 1(13)/2. – С. 102 - 106.

35. Таганов А.И. Построение изображений физических полей на основе декомпозиции контурной информации // Методы и приборы контроля параметров биосферы: межвузовский сборник. - Л.: ЛИАП, 1984. - Вып. 171. - С. 90 - 942.
36. Таганов А.И. Теоретико-множественные операции геометрического моделирования контурных изображений // Автоматизация проектирования микроэлектронных вычислительных средств: межвузовский сборник. – Рязань: РРТИ, 1990. - С. 85 - 91.
37. Таганов А.И., Таганов Р.А., Фомов О.П. Управление рисками программных проектов на основе модели зрелости возможностей СММІ // Информационные технологии и телекоммуникации в образовании и науке: межвузовский сборник. – Рязань: РГРТА, 2005. - С. 107 - 121.
38. Таганов А.И., Манаев М.В. Модели и инструментальные средства анализа рисков проекта на основе использования нечетких сетей Петри // Информационные технологии в научных исследованиях и образовании: межвузовский сборник. - Рязань: РГРТУ, 2009. - С. 65 - 75.
39. Таганов А.И., Абакумова Е.Е. Модели и методы интеллектуальной технологии проектирования нечетких систем // Информационные технологии в научных исследованиях и образовании: межвузовский сборник. - Рязань: РГРТУ, 2009. - С. 45 - 49.
40. Таганов А.И. Модели, методы и инструментальные средства анализа и управления рисками на проектах сложных программных систем по характеристикам качества в условиях нечеткости // Информационные технологии в научных исследованиях и образовании: межвузовский сборник. - Рязань: РГРТУ, 2009. - С. 96 - 106.
41. Таганов А.И. Современная методика анализа и сокращения рисков проектов сложных программных систем по характеристикам качества в условиях нечеткости // Информационные технологии в научных исследованиях и образовании: межвузовский сборник. - Рязань: РГРТУ, 2009. - С. 149 - 162.
42. Таганов А.И. Метод синтеза логико-алгебраических моделей рисков проекта // Информационные технологии в образовании: межвузовский сборник. – Рязань: РГРТУ, 2010. - С. 141 - 150.
43. Таганов А.И. Методы представления рисков проекта на основе структурно-символьных моделей // Информационные технологии в образовании: межвузовский сборник. – Рязань: РГРТУ, 2010. - С. 133 - 140.
44. Таганов А.И. Модели системного прогнозирования рисков качества проектов сложных программных систем // Информационные технологии в научных исследованиях: межвузовский сборник. – Рязань: РГРТУ, 2010. - С. 122 - 126.
45. Таганов А.И. Методика системного анализа и прогнозирования технических рисков проекта сложных программных систем по характеристикам качества // Современные проблемы информатизации в экономике и обеспечении безопасности: сб. трудов под ред. д-ра техн. наук, проф. О.Я.Кравца. – Воронеж: Научная книга, 2010. - Вып. 15. - С. 130 - 134.
46. Корячко В.П., Таганов А.И., Таганов Р.А. Гибридные алгоритмы и бионические методы для анализа рисков и управления программными проектами // Информационные технологии в научных исследованиях: межвузовский сборник. – Рязань: РГРТУ, 2010. - С. 133 - 140.
47. Таганов А.И. Реализация метода нечеткого анализа и сокращения рисков программного проекта на основе нечетких сетей Петри // Современные проблемы информатизации в анализе и синтезе программных и телекоммуникационных систем: сб. трудов / под ред. д-ра техн. наук, проф. О.Я.Кравца. – Воронеж: Научная книга, 2010. - Вып. 15. - С. 353 - 357.
48. Таганов А.И., Журавлева Е.Н. Разработка средств автоматической классификации рисков проекта методами нечеткой кластеризации // Информационные технологии в научных исследованиях: межвузовский сборник. – Рязань: РГРТУ, 2010. - С. 127 - 134.
49. Таганов А.И. Способ снижения размерности задачи анализа рисков программного проекта методами нечеткой классификации // Современные проблемы информатизации в моделировании и социальных технологиях: сб. трудов / под ред. д-ра техн. наук, проф. О.Я.Кравца. - Воронеж: Научная книга, 2010. - Вып. 15. - С. 290 - 291.

Доклады на международных и всероссийских конференциях

50. Таганов А.И., Таганов Р.А. Многокритериальная оптимизация рисков качества проекта программных средств в условиях неопределенности // Проблемы передачи и обработки

- информации в сетях и системах телекоммуникаций: материалы международной научно-технической конференции. - Рязань: РГРТА, 2001. - С. 33-35.
51. Таганов А.И., Таганов Р.А. Метод управления рисками качества проекта программных средств на основе системного процессно-ориентированного подхода // Проблемы передачи и обработки информации в сетях и системах телекоммуникаций: материалы международной научно-технической конференции. - Рязань: РГРТА, 2001. - С. 30-32.
52. Таганов А.И., Таганов Р.А Система поддержки принятия решений по рискам проекта программных изделий // Программное обеспечение. Информационные технологии: сборник научных трудов научной сессии МИФИ. - М.: МИФИ, 2002 – Т2. - С. 77-78.
53. Таганов А.И., Таганов Р.А Оптимизация состава контролируемых рисков качества программного проекта // Технология разработки программных систем: сборник научных трудов научной сессии МИФИ. - М.: МИФИ, 2003. – Т2. - С. 123-124.
54. Корячко В.П., Таганов А.И., Таганов Р.А. Разработка интегрированной системы управления рисками программного проекта и качеством программной продукции // Применение ИПИ (CALS)-технологий для повышения качества и конкурентоспособности наукоемкой продукции: материалы 5-й международной конференции - форума. - М., 2003. – С. 78 - 79.
55. Таганов А.И., Таганов Р.А. Парадигма системных задач по реализации автоматизированного процесса управления рисками качества и качеством проекта // Проблемы передачи и обработки информации в сетях и системах телекоммуникаций: материалы 12-й международной науднотехнической конференции. - Рязань: РГРТА, 2004. - С. 105-107.
56. Таганов А.И., Таганова Е.А. Анализ методов усовершенствования процессов разработки программных систем // Технология разработки программных систем: сборник научных трудов научной сессии МИФИ. - М.: МИФИ, 2004. - С. 123 - 124.
57. Таганов А.И., Таганова Р.А. Применение аппарата нечеткой логики для формализации процесса мониторинга рисков качества программного проекта // Технология разработки программных систем: сборник научных трудов научной сессии МИФИ. - М.: МИФИ, 2004. - С. 78 - 79.
58. Таганов А.И., Таганова Е.А. Формализация процедуры анализа требований проекта методами нечеткой кластеризации // Проблемы передачи и обработки информации в сетях и системах телекоммуникаций: материалы 15-й международной научно-технической конференции. Часть 2. - Рязань: РГРТУ, 2008. - С. 30 - 32.
59. Таганов А.И. Нечеткие ситуационные модели принятия решений по характеристикам качества программного проекта // Проблемы передачи и обработки информации в сетях и системах телекоммуникаций: материалы 15-й международной научно-технической конференции. Часть 2. - Рязань: РГРТУ, 2008. - С. 26 - 28.
60. Таганов А.И., Леуцкий А.А., Фомичев А.Н. Принципы нечеткого анализа рисков алгоритмических процессов // Проблемы передачи и обработки информации в сетях и системах телекоммуникаций: материалы 15-й международной научно-технической конференции. Часть 2. - Рязань: РГРТУ, 2008. - С. 5 - 7.
61. Таганов А.И., Суворов А.В. Классификация рисков проекта методами нечеткого кластерного анализа // Проблемы передачи и обработки информации в сетях и системах телекоммуникаций: материалы 15-й международной научно-технической конференции. Часть 2. - Рязань: РГРТУ, 2008. - С. 22 - 24.
62. Таганов А.И. Методика сокращения рисков проектов сложных программных систем по характеристикам качества // Проблемы передачи и обработки информации в сетях и системах телекоммуникаций: материалы международной научно-технической конференции. – Рязань, 2010. - С. 77 - 82.
63. Гуров В.С., Корячко В.П., Таганов А.И, Таганов Р.А. Теория и практика снижения рисков проектов сложных программных систем по характеристикам качества // Телематика – 2010: труды VII Всероссийской научно-методической конференции. – СПб., 2010.- Том 2.- С. 389 - 390.
64. Гуров В.С., Корячко В.П., Таганов А.И. и др. Опыт создания и применения ресурсов электронной информационно-образовательной среды по направлению ИПИ (CALS) и CASE (САПР)–технологий // Телематика – 2010: труды VII Всероссийской научно-методической конференции. – СПб., 2010. - Том 1. - С. 166 - 167.

Таганов Александр Иванович

НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ
ИДЕНТИФИКАЦИИ, АНАЛИЗА И МОНИТОРИНГА
ПРОЕКТНЫХ РИСКОВ КАЧЕСТВА
ПРОГРАММНЫХ ИЗДЕЛИЙ
В УСЛОВИЯХ НЕЧЕТКОСТИ

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

Подписано в печать 11.04.11 Формат бумаги 60x84 1/16.

Бумага офсетная. Печать офсетная. Усл. печ. л. 2,25.

Тираж 100 экз. Бесплатно. Заказ

Рязанский государственный радиотехнический университет.

390005, Рязань, ул. Гагарина, 59/1.

Редакционно-издательский центр РГРТУ.