

На правах рукописи



**Гильман Дмитрий Владимирович**

**АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА АТТЕСТАЦИИ  
УРОВНЕЙ ЗРЕЛОСТИ ПРОЦЕССОВ  
ПРОГРАММНОГО ПРОЕКТА**

Специальность: 05.13.12  
«Системы автоматизации проектирования»  
(технические системы)

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

Рязань 2013

Работа выполнена на кафедре «Системы автоматизированного проектирования вычислительных средств» ФГБОУ ВПО «Рязанский государственный радиотехнический университет» (ФГБОУ ВПО «РГРТУ»).

**Научный руководитель:** **Таганов Александр Иванович,**  
доктор технических наук, профессор каф. САПР ВС ФГБОУ ВПО «РГРТУ»

**Официальные оппоненты:** **Каширин Игорь Юрьевич,**  
доктор технических наук, профессор, профессор каф. ВПМ ФГБОУ ВПО «РГРТУ»

**Новиков Юрий Александрович,**  
кандидат технических наук, заместитель главного конструктора – начальник  
комплексного отдела ФГУП «ГНПРКЦ «ЦСКБ Прогресс»-«ОКБ «Спектр»

**Ведущая организация:** **ФГБОУ ВПО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»**

Защита состоится 25 сентября 2013 г. в 12.00 часов на заседании диссертационного совета Д212.211.02 в ФГБОУ ВПО «Рязанский государственный радиотехнический университет» по адресу: 390005, г. Рязань, ул. Гагарина, д. 59/1.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВПО «Рязанский государственный радиотехнический университет».

Автореферат разослан "12" августа 2013 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета  
канд. техн. наук, доцент



Д.А. Перепелкин

## **ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ**

### **Актуальность темы**

Важным направлением повышения результативности современных процессно-ориентированных систем автоматизации проектирования (САПР) является расширение их функциональных возможностей на основе усовершенствования процессов проектирования и процессов управления проектированием. Решение указанной проблемы требует проведения специальных исследований и разработок по созданию эффективных методов, моделей и средств, для решения в интерактивном режиме трудно формализуемых задач, связанных с глубоким анализом и аттестацией уровня зрелости процессов и определением процессных рисков проекта в условиях нечеткости проектных данных, что характерно для современных САПР.

Процессные риски сложно организованных процессов интегрированных САПР программных изделий являются объективным явлением, связанным со многими видами неопределенности, имеющими место на различных этапах выполнения программного проекта и оказывающими влияние на процессы принятия проектных и управленческих решений. Повышение уровня зрелости процессов на основе стратегии усовершенствования процессов проектирования и процессов управления проектированием в интегрированных САПР, а также использование в проектировании интегрированных CASE-технологий, базирующихся на автоматизированных принципах создания программных изделий, способствуют снижению энтропии программных проектов и соответственно уменьшают процессные риски. В связи этим проблема формализации и автоматизации процессов анализа и аттестации уровня зрелости процессов проекта в условиях нечеткости проектных данных может рассматриваться как важное и актуальное направление развития теории и методологии усовершенствования процессов программной инженерии для повышения результативности проектно-управленческих работ по стадиям жизненного цикла наукоемких изделий.

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) и нечеткой логики, позволяющие на модельном уровне рассмотреть проблемы определения уровня зрелости процессов и оценки процессных рисков проекта и тем самым расширить круг успешно решаемых задач по аттестации и усовершенствованию процессов в составе интегрированных САПР.

Теоретические исследования по применению ТНМ и ее приложений к решению актуальной проблемы аттестации процессов проекта или процессов проектной организации ориентированы, прежде всего, на построение новых формальных схем инженерного анализа и принятия решений по определению уровня зрелости процессов и оценке процессных рисков 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 моделях и алгоритмах аттестации процессов проекта адекватно отразить приблизительное словесное описание некоторых параметров и состояний процессного риска или уровня зрелости процесса, 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 задач по формализации и автоматизации процесса аттестации процессов проекта в условиях лингвистической неопределенности (нечеткости).

Основополагающими работами, оказавшими влияние на исследования автора, являются труды Р.Беллмана, Л.С.Берштейна, А.Н.Борисова, Л.А.Демидовой, Л.А.Заде, С.Я.Коровина, В.П.Корячко, А.Коффмана, В.В.Круглова, В.М.Курейчика, А.В.Леоненкова, Н.Г.Малышева, А.Н.Мелехова, И.П.Норенкова, С.А.Орловского, А.И.Петренко, Д.А.Поспелова, А.Н.Пылькина, А.П.Ротштейна, Е.А.Саксонова, А.И.Таганова, С.Д.Штовбы, Р.Ягера и многих других.

Актуальность настоящей работы определяется важностью проблемы повышения результативности интегрированных САПР в направлении повышения качества проектируемых наукоемких программных изделий. Это потребовало проведения исследований и разработки новых эффективных моделей, алгоритмов и инструментальных средств, обеспечивающих в составе интегрированных CALS- и CASE-технологий эффективную автоматизированную поддержку процесса аттестации уровня зрелости процессов в условиях нечеткости проектных данных, что характерно для современных САПР.

Использование автоматизированного процесса оценивания и аттестации процессов проекта или процессов проектной организации способствует выработке культуры постоянного совершенствования и соответствующих механизмов поддержания этой культуры, разработке процессов, отвечающих целям проектов организации, а также оптимизации использования ресурсов.

### **Цель работы**

Целью диссертационной работы является разработка новых моделей, алгоритмов и инструментальных средств, обеспечивающих формализацию и автоматизацию процесса аттестации уровней зрелости процессов жизненного цикла проекта в условиях нечеткости исходных данных, создающих требуемые условия для глубокого анализа и усовершенствования процессов проекта в составе интегрированных САПР с целью мониторинга процессов проекта в направлении повышения их результативности по критериям качества проектных работ и сокращения процессных рисков.

## **Основные задачи**

Цель диссертационного исследования предопределила постановку и необходимость решения следующих задач:

1. Провести анализ проблемы усовершенствования процессов программного проекта в контексте формализации задач, связанных с определением уровня зрелости процессов проекта, с оценкой процессных рисков жизненного цикла проекта, с целью формирования научно обоснованного подхода к построению современной методики аттестации процессов программного проекта в условиях нечеткости исходных данных.

2. Разработать необходимые модели и алгоритмы, обеспечивающие эффективное решение задачи, связанной с определением уровня зрелости процессов программного проекта в условиях нечеткости исходных данных.

3. Разработать необходимые модели и алгоритмы, обеспечивающие эффективное решение задачи, связанной с оценкой процессных рисков программного проекта в условиях лингвистической неопределенности.

4. Разработать необходимые инструментальные программные средства, реализующие разработанные модели и алгоритмы и предназначенные для автоматизации процесса аттестации процессов программного проекта в условиях нечеткости и лингвистической неопределенности.

## **Объект исследования**

Объектом диссертационного исследования является понятие «процесс», определённое стандартом ИСО 9000:2000 и ИСО 15504 как комплекс скоординированных управляемых работ, выполняемых для достижения поставленной цели в условиях конкретных ресурсных ограничений. В теоретической части работы процесс проекта рассматривается как обобщённый системный процесс, в составе которого присутствуют функция анализа уровней зрелости процесса и функция оценки рисков, сопряженных с процессом.

## **Предмет исследования**

Предметом исследования являются модели, алгоритмы и инструментальные средства, обеспечивающие повышение эффективности решения слабоструктурированных задач, связанных с анализом уровня зрелости процессов и оценкой процессных рисков программного проекта в условиях нечеткости исходных данных, которые ориентированы на использование в составе интегрированных САПР для мониторинга и аттестации процессов жизненного цикла программных проектов.

## **Методы исследования**

При аналитическом обзоре литературных источников использовались общепринятые методы сбора, систематизации, анализа и обобщения данных в отношении задач, связанных с аттестацией уровней зрелости процессов и анализом рисков, сопряженных с процессами программного проекта.

Теоретические исследования и поиск решения сформулированных задач осуществлялись методами теории нечетких множеств, методами анализа и синтеза дискретных процессов, изучением проектных процессов на сетевых моделях с применением инструментов нечетких графов, а также с применением методов обобщения выявленных закономерностей средствами математической логики.

Апробация и корректность теоретически найденных закономерностей и решений проверялись вычислительными экспериментами и практическим применением результатов исследования в условиях реальной проектной деятельности.

### **Научная новизна**

В диссертационной работе предложены эффективные модели и алгоритмы решения сформулированных задач, научная новизна которых состоит в следующем:

1. Предложен подход к построению современной методики аттестации процессов программного проекта в условиях нечеткости исходных данных, основанный на решении методами теории нечетких множеств и нечеткой логики слабоструктурированных задач, связанных с определением уровня зрелости процессов проекта и оценкой процессных рисков.

2. Разработаны модель и алгоритмы решения задачи определения уровня зрелости процессов программного проекта в условиях нечеткости исходных данных, которые основаны на представлении модели процесса в виде нечеткого графа и на использовании математического аппарата теории нечетких множеств для построения алгоритмов, обеспечивающих свертывание нечеткого графа с целью получения искомого решения.

3. Разработана модель процесса оценки процессных рисков, основанная на качественном представлении экспертных данных по характеристикам анализируемого процесса, а также предложен алгоритм нечеткой оценки процессных рисков, основанный на построении нечеткой базы знаний по процессным рискам, формируемой посредством применения положений теории нечеткой идентификации и нечеткой логики.

4. Разработаны инструментальные программные средства, реализующие разработанные модели и алгоритмы, которые позволяют существенно повысить уровень автоматизации и эффективность процесса аттестации процессов программного проекта, а также качество решения слабоструктурированных задач, связанных с определением уровня зрелости процессов проекта и оценкой процессных рисков в условиях нечеткости.

### **Соответствие паспорту специальности**

Проблематика, исследованная в диссертации, соответствует специальности 05.13.12 «Системы автоматизации проектирования». Согласно формуле специальности 05.13.12 – это специальность, занимающаяся проблемами создания и повышения эффективности функционирования систем автоматизирован-

ного 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.

### **Теоретическая значимость**

Теоретическая значимость работы заключается в разработке научных основ формализации и автоматизации процесса аттестации процессов жизненного цикла программных проектов в условиях нечеткости проектных данных с целью последующего усовершенствования процессов проекта, что открывает новые возможности повышения эффективности функционирования процессно-ориентированных систем автоматизированного проектирования и управления качеством проектных работ. Построение моделей, алгоритмов и инструментальных средств аттестации процессов проекта основано на решении слабоструктурированных задач, связанных с определением уровня зрелости процессов проекта и оценкой процессных рисков методами теории нечетких множеств и ее приложений.

### **Практическая ценность работы**

Практическая ценность работы состоит в том, что разработанные модели, алгоритмы и инструментальные средства позволяют в составе интегрированных САПР повысить эффективность и результативность процесса аттестации процессов проектирования и управления проектированием в направлении их усовершенствования, что отражается в повышении качества и снижении проектных рисков качества проектируемых изделий.

### **Достоверность**

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 методов моделирования;
- 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 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.); НИР 18-12Г «Разработка и развитие теоретических и научно-методических основ процессно-ориентированной технологии создания интеллектуальных инфокоммуникационных» (2012 – 2014 гг.).

*Прикладные научные исследования:* 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:* ФГУП «ГНПРКЦ «ЦСКБ-Прогресс» - «ОКБ «Спектр» (г. Рязань), ООО «ТБинформ» (г. Рязань), ФГБОУ ВПО «Рязанский государственный радиотехнический университет» (г. Рязань), ООО "Барс-ИТ проект" (г. Рязань).

Использование результатов диссертационной работы на практике подтверждено соответствующими актами о внедрении. Получено свидетельство ФГБУ «Федеральный институт промышленной собственности Федеральной службы по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам» (ФГБУ «ФИПС» – РОСПАТЕНТ) об официальной регистрации программы для ЭВМ.

### **Основные положения, выносимые на защиту**

На защиту выносятся следующие результаты диссертационной работы:

1. Подход к построению современной методики аттестации процессов программного проекта в условиях нечеткости исходных данных, базирующийся на методологической основе ИСО/МЭК 15504 с введением в структуру методики аттестации методов решения слабоструктурированных задач, связанных с определением уровня зрелости процессов проекта и оценкой процессных рисков в условиях нечеткости.

2. Модель и алгоритмы решения слабоструктурированной задачи определения уровня зрелости процессов программного проекта в условиях нечеткости исходных данных, основанные на представлении модели процесса в виде нечеткого графа и на использовании математического аппарата теории нечетких множеств для построения алгоритмов, обеспечивающих свертывание нечеткого графа с получением искомого решения.

3. Модель процесса оценки процессных рисков, основанная на качественном представлении экспертных данных по характеристикам анализируемого процесса, и алгоритм нечеткой оценки процессных рисков, основанный на по-

строении нечеткой базы знаний, формируемой посредством применения положений теории нечеткой идентификации и нечеткой логики.

4. Инструментальные программные средства, реализующие разработанные модели и алгоритмы и позволяющие в составе интегрированных САПР существенно повысить уровень автоматизации и эффективности процесса аттестации процессов программного проекта, а также качество решения слабоструктурированных задач, связанных с определением уровня зрелости процессов проекта и оценкой процессных рисков в условиях нечеткости.

### **Апробация работы**

Основные научные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на следующих научных конференциях: 14-17-й Всероссийской научно-технической конференции «Новые информационные технологии в научных исследованиях и в образовании» (Рязань, 2009, 2010, 2011, 2012); Международной научно-технической конференции «Проблемы передачи и обработки информации в сетях и системах телекоммуникаций» (Рязань, 2010); Международной открытой научной конференции «Современные проблемы информатизации в моделировании и социальных технологиях» (Воронеж, 2010); 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); VIII Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы современных наук» (Пшемысль, Польша, 2012); Международной научно-практической конференции «Актуальные вопросы в научной работе и образовательной деятельности» (Тамбов, 2013).

### **Публикации**

По теме диссертации опубликовано 13 печатных работ, в том числе: статья в издании, входящем в перечень ВАК для кандидатских и докторских диссертаций; 4 статьи в научно-технических журналах и межвузовских сборниках научных трудов; 8 докладов на международных и всероссийских конференциях; свидетельство о регистрации программы для ЭВМ в ФГБУ «Федеральный институт промышленной собственности Федеральной службы по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам» (ФГБУ «ФИПС» – РОСПАТЕНТ).

### **Структура и объем диссертации**

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, списка литературы, заключения, изложенных на 156 страницах (включая 40 рисунков и 7 таблиц), и 2-х приложений на 5 страницах. Список литературы содержит 113 наименований.

## **Личный вклад автора**

Все результаты диссертационной работы, в том числе постановка задач, разработка и исследование защищаемых моделей и алгоритмов, основные научные результаты, выводы и рекомендации, принадлежат лично автору. Программные средства, реализующие разработанные модели и алгоритмы, созданы 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** обосновывается актуальность темы, сформулированы её цель, научная новизна, приведены сведения о практическом использовании полученных научных результатов и представлены основные положения, выносимые на защиту.

**В первой главе** приводится анализ концепций, подходов, методов и моделей, связанных с организацией процесса аттестации, используемого в информационных технологиях для анализа и усовершенствования процессов проектной деятельности в рамках жизненного цикла программных и других проектов. В перечень анализируемых направлений вошли:

- принципы процессного и системного подходов;
- современные модели и методы оценки зрелости процессов;
- профили нормативно-методических документов для оценки и аттестации процессов проекта;
- контекстные модели аттестации зрелости и усовершенствования процессов;
- структура построения эталонной модели процессов программного проекта с указанием атрибутов процессов, которые характеризуют зрелость этих процессов.

Показано, что заложенный в основу концепции ИСО 9000:2000 в области СМК принцип «Процессный подход» обуславливает рассмотрение видов деятельности любой проектной организации как сети взаимосвязанных и взаимодействующих процессов, а усовершенствование этих процессов – как технологический процесс, результативность и эффективность которого должны контролироваться и оцениваться. Оценив способность процессов выполнять требования заказчика (потребителя), можно определить уровень зрелости процессов, и как следствие, прогнозировать успешность реализации заказанного проекта или конкурентоспособность проектной организации на данном секторе рынка.

Из перечня методических документов и стандартов международного уровня для реализации целей диссертации выделен и проанализирован технический отчет из девяти частей ISO/IEC TR 15504 Technical Report «Information

technology – Software process assessment. Part 1–9» (Оценка и аттестация зрелости процессов создания и сопровождения программных средств и информационных систем, далее – ИСО/ МЭК ТО 15504 или ИСО 15504). На основе этого документа предложена схема современной методики аттестации уровней зрелости процессов программного проекта, содержащая этапы работ:

### **1) этап определения целевой зрелости процессов**

**п.1.** Анализ Исполнителем программного проекта (проектной организацией) заданного технического задания, требований, документов и спецификаций и определение перечня процессов (профиля упорядоченных процессов) программной инженерии, необходимых для реализации заданного проекта. Профиль упорядоченных процессов проекта формируется с учетом правил классификации процессов, представленных в эталонной модели процессов.

**п.2.** Формирование Заказчиком положения о целевой зрелости, в котором для каждого ключевого процесса постулируется профиль атрибутов процесса и для каждого атрибута постулируется требуемое обладание процессом этого атрибута. Целевыми значениями обладания процессом его атрибутов могут быть только словесные выражения: *полностью обладает, в основном обладает* или *не требуется*;

### **2) этап определения уровня зрелости процесса**

**п.3.** Выделение очередного процесса из профиля упорядоченных процессов проекта для его последующего анализа и определения уровня зрелости.

**п.4.** Выделение очередного атрибута из профиля упорядоченных атрибутов выбранного процесса.

**п.5.** Анализ аттестаторами (экспертами) всей доступной информации по анализируемому процессу и определение экспертным способом степени обладания атрибутом процессом. Степень обладания выражается качественно – словами: *полностью обладает, в основном обладает, частично обладает, не обладает*. Степень обладания является рейтингом атрибута процесса, которая фиксируется в профиле аттестованной зрелости процессов проекта. Здесь атрибут процесса представляет собой измеримую характеристику процесса, а рейтинг атрибута процесса – это суждение в рамках определенного контекста процессов о степени, в которой процесс обладает данным атрибутом.

**п.6.** Если рассмотрены все атрибуты анализируемого процесса, то переход к п.7, иначе к п.4.

**п.7.** Если рассмотрены все процессы проекта то переход к этапу 3 (анализ риска), иначе переход к п.3;

### **3) этап анализа риска, сопряженного с процессом**

В рамках описываемого подхода к аттестации риска, сопряженного с процессом, условная вероятность возникновения проблем выводится исходя из того, какой степени разрыв существует между целевой зрелостью и аттестованной зрелостью. *Разрыв атрибута процесса* возникает, когда конкретный рейтинг атрибута процесса ниже, чем соответствующий рейтинг, заданный в положении о целевой зрелости. *Разрыв уровня зрелости* возникает, когда существуют разрывы атрибутов процессов в рамках определенного уровня. Из сте-

пени разрыва уровня зрелости процессов проекта выводятся соответствующие условные вероятности возникновения проблем в проекте. При этом потенциальное влияние конкретной проблемы зависит от того *уровня зрелости*, на котором возникает разрыв.

В рамках предложенной схемы аттестации уровней зрелости процессов программного проекта сформулированы основные задачи, требующие своего решения на формализованном уровне:

- задача 1 – «Определение уровня зрелости процесса проекта в условиях нечеткости исходных данных» (глава 2);

- задача 2 – «Анализ и оценка рисков, сопряженных с процессом в условиях лингвистической неопределенности (нечеткости)» (глава 3).

Указанные задачи относятся к классу слабоструктурированных задач, для решения которых в условиях нечеткости предложено использовать модели и методы теории нечетких множеств и методы нечеткой логики.

***Вторая глава*** посвящена вопросам формализации и алгоритмизации решения задачи, связанной с определением уровней зрелости процессов проекта в условиях нечеткости. Область определения этой задачи построена на основе положений ИСО 15504 и содержит в своем составе эталонную модель процессов ЖЦ проекта, модель целевой зрелости процессов проекта, модель аттестованной зрелости процессов проекта и набор разрабатываемых алгоритмов для решения указанной задачи, каждый из которых может применяться для решения задачи в зависимости от вида представленной исходной информации.

Эталонная модель процессов ЖЦ проекта задается на основе модели «Измерение процесс» и модели «Измерение зрелость». При этом первая модель содержит множество категорий процессов проекта, множество процессов ЖЦ программных проектов и отображение второго множества в первое. Модель «Измерение зрелость» построена на основе модели уровней зрелости процессов, множества атрибутов процессов, множества рейтингов атрибутов и заданного отображения множества атрибутов во множество рейтингов атрибутов.

Модель уровней зрелости процессов программных проектов в соответствии с ИСО 15504 включает пять измеряемых уровней зрелости процессов:

- Уровень 0 – «Неполный», если в целом процесс не соответствует своему назначению.

- Уровень 1 – «Выполняемый», если процесс в целом соответствует своему назначению, но его выполнение не может быть строго запланировано и отслежено.

- Уровень 2 – «Управляемый», если процесс дает рабочие продукты в соответствии с определенными процедурами, а также планируется и отслеживается. Рабочие продукты соответствуют определенным требованиям и стандартам. Основное отличие от уровня 1 состоит в том, что теперь процесс дает рабочие продукты, которые соответствуют явным требованиям к качеству, при заданных ограничениях по времени и ресурсам.

- Уровень 3 – «Устоявшийся», если процесс осуществляется и управляется с использованием определенного процесса на основе надлежащих принципов разработки программных средств. Индивидуальные реализации процесса используют для получения заданного результата процесса принятые и адаптированные к конкретной ситуации версии стандартного, полностью документированного процесса. Также наличествуют ресурсы, необходимые для определения процессов. Основное отличие от уровня 2 состоит в том, что процесс уровня 3 использует заданный процесс, способный достичь определенных для него результатов процесса.

- Уровень 4 – «Предсказуемый», если заданный процесс на практике осуществляется в предписанных рамках для достижения определенных целей процесса. Собираются и анализируются детализированные результаты измерений производительности, что ведет к количественному пониманию возможностей процесса и повышенной способности к предсказанию производительности и управлению ею. Количественно известно качество продукта. Основное отличие от уровня 3 состоит в том, что заданный процесс осуществляется в предписанных рамках для достижения результатов процесса.

- Уровень 5 – «Оптимизируемый», если производительность процесса оптимизируется для соответствия текущим и будущим бизнес-потребностям, и процесс регулярно достигает определенной для него бизнес-цели. Устанавливаются количественные ориентиры (цели) по эффективности выполнения процесса в соответствии с бизнес-целями проектной организации. Постоянный мониторинг продвижения процесса к этим целям основывается на количественной обратной связи, а его усовершенствование основывается на анализе его результатов. Оптимизация процесса включает апробирование инновационных идей и технологий и изменение неэффективных процессов для приведения в соответствие с заданными целями и ориентирами. Основное отличие от уровня 4 состоит в том, что определенный и стандартный процессы претерпевают постоянные уточнения и улучшения для соответствия текущим и будущим бизнес-целям.

Модель атрибутов процесса может быть представлена как:

$$PA(MU) = (PA1.1, PA2.1, PA2.2, PA3.1, PA3.2, PA4.1, PA4.2, PA5.1, PA5.2),$$

где *PA1.1* - атрибут «Выполнение процесса», характерный только для Уровня 1;

*PA2.1* и *PA2.2* - атрибуты «Управление выполнением» и «Управление рабочими продуктами» соответственно, характерные только для Уровня 2;

*PA3.1* и *PA3.2* - атрибуты «Задание процесса» и «Обеспечение процесса ресурсами» соответственно, характерные только для Уровня 3;

*PA4.1* и *PA4.2* - атрибуты «Измерение» и «Количественное управление процессом» соответственно, характерные только для Уровня 4;

*PA5.1* и *PA5.2* - атрибуты «Измерение процесса» и «Непрерывное усовершенствование» соответственно, характерные только для Уровня 5.

Модель рейтингов атрибутов отражает шкалу рейтингов для выполнения процедуры оценки «Степень обладания атрибутом процессом»:

$$MR = (N, P, L, F),$$

где:

*N* - характеризует степень «Процесс не обладает атрибутом», если степень обладания от 0 % до 15 %;

*P* - характеризует степень «Процесс не обладает атрибутом частично», если степень обладания от 16 % до 50 %;

*L* - характеризует степень «Процесс не обладает атрибутом в основном», если степень обладания от 51 % до 85 %;

*F* - характеризует степень «Процесс обладает атрибутом полностью», если степень обладания от 86 % до 100 %.

Модель целевой зрелости процессов жизненного цикла программного проекта по своей структуре совпадает с эталонной моделью и отличается тем, что содержит не полный перечень процессов, а включает подмножество процессов, выделенное для успешного выполнения конкретного проекта. При этом профиль упорядоченных процессов проекта формируется с учетом правил классификации процессов, представленных в эталонной модели процессов. Для каждого выделенного ключевого процесса Заказчиком проекта постулируется профиль атрибутов процесса и для каждого атрибута постулируется требуемое обладание процессом этого атрибута. Целевыми значениями обладания процессом его атрибутов могут быть только словесные выражения, указанные в модели рейтингов атрибутов.

Модель аттестованной зрелости процессов проекта по структуре построения аналогична модели целевой зрелости. Отличие заключается в отображении, которое формируется экспертным способом на основе доступной информации по анализируемым и аттестуемым процессам проекта, и степень обладания выражается качественно – словами: *полностью обладает, в основном обладает, частично обладает, не обладает*. Степень обладания, называемая рейтингом атрибута процесса, фиксируется в профиле аттестованной зрелости процессов проекта. Здесь атрибут процесса представляет собой измеримую характеристику процесса, а рейтинг атрибута процесса – это суждение в рамках определенного контекста процессов о степени, в которой процесс обладает данным атрибутом.

Предложен ряд подходов к анализу и определению уровней зрелости процессов в условиях нечеткости, которые дополняют и развивают методологию ИСО/МЭК 15504 в направлении более глубокого анализа аттестуемого процесса и основываются на представлении модели процесса в виде графа. При этом специфика объекта моделирования позволяет определить основные свойства взвешенного графа процесса следующим образом:

- вершины графа ( $X$  – множество вершин) соответствуют событиям, отождествляемым с началом и окончаниями выполнения операций, входящих в процесс;

- дуги графа ( $\Gamma$  – множество дуг) отождествляются с выполняемыми операциями процесса;

- веса дуг соответствуют характеристикам анализируемого процесса [степень обладания атрибутов (COA) операцией процесса, условная вероятность перехода из одной вершины в другую];

- веса дуг предполагаются независимыми;

- вершины графа имеют выход типа "исключающие ИЛИ";

- множество вершин  $X$  представляется в виде  $X = x_0 \cup \pi \cup A$ ,

где  $x_0$  – входная вершина, соответствующая принятию решения о начале выполнения процесса;

$A$  – множество поглощающих (выходных) вершин, каждая из которых характеризует завершение процесса с различными исходами;

$\pi$  – множество промежуточных (переходных) вершин, которые находятся между входной и поглощающими вершинами;

- граф может иметь петли и замкнутые контуры соответствующие циклически повторяющимся совокупностям операций.

В зависимости от вида исходной информации, характеризующей веса дуг модели процесса, рассмотрено два подхода.

Подход 1. Веса дуг графа означают *степень обладания атрибутом операцией процесса*, определяются экспертами и задаются нечеткими числами. Для этого случая в качестве модели анализируемого процесса выбран нечеткий граф (НГ) процесса проекта  $\tilde{G}(X, \tilde{A})$ , дуги которого взвешены нечеткими степенными характеристиками переходов между вершинами. При этом задача укрупнения НГ сводится к преобразованию типа

$$\tilde{G}(X, \tilde{A}) \rightarrow \tilde{G}^*(X, \tilde{A}),$$

где  $\tilde{G}^*(X, \tilde{A})$  – укрупненный НГ, в котором промежуточные вершины отсутствуют, а веса дуг, направленных из вершины  $x_0$  в вершины множества  $A$ , представляются в виде функциональных зависимостей от нечетких весов дуг исходного графа  $\tilde{G}(X, \tilde{A})$ . Наличие укрупненного НГ процесса проекта позволяет вычислить для перехода из  $x_0$  в  $A$  *нечеткую степень обладания атрибутами операциями процесса* (НСОА).

Для укрупнения  $\tilde{G}(X, \tilde{A})$  теоретически обоснованы и разработаны необходимые правила и алгоритмы эквивалентных преобразований для последовательных дуг, параллельных дуг и дуги-петли, а также обобщенный алгоритм решения задачи.

Подход 2. Отличается от подхода 1 тем, что каждой дуге  $\tilde{G}(X, \tilde{A})$  приписывается второй вес дуги, характеризующий «активность» дуги графа, которая задается экспертным способом и является нечетким числом, задаваемым в интервале  $[0,1]$ . Для укрупнения такого модернизированного графа модели процесса также разработаны необходимые правила и алгоритмы эквивалентных преобразований для последовательных дуг, параллельных дуг и дуги-петли, а также обобщенный алгоритм решения задачи.

Таким образом, предложенные подходы к формализации и алгоритмизации решения задачи определения уровней зрелости процессов проекта на основе представления анализируемых процессов (в зависимости от вида исходной

информации) в виде взвешенных графов или нечетких графов позволили рассмотреть возможные варианты построения специальных правил и алгоритмов укрупнения графовых моделей анализируемых процессов проекта до уровня обобщающей дуги с весом, характеризующим результат решения задачи, связанной с определением уровня зрелости процесса в условиях нечетких исходных данных.

Третья глава посвящена вопросам формализации и алгоритмизации решения задачи, связанной с определением процессных рисков проекта в условиях нечеткости исходных данных. Риски, связанные с процессом, рассматриваются здесь исходя из анализа содержания процесса и возможности нарушения функционирования процесса по причине возникновения определенных проблем, природа которых может быть достаточно сложной и носить вероятностный характер. При этом возможный ущерб проекту от рисков процесса может выражаться как произведение вероятности возникновения риска на величину ущерба, который он может нанести проекту.

Согласно предложенной и рассмотренной в главе 1 методике аттестации процессов проекта в условиях нечеткости данных условная вероятность возникновения риска (проблемы) определяется степенью разрыва, существующего между профилем аттестованной зрелости процесса и профилем целевой (заявленной) зрелости процесса. Влияние риска на проект и его природа зависят также от уровня зрелости процесса, на котором обнаружен указанный разрыв.

На этапе аттестации процесса специалисты выражают свои оценки в отношении анализируемых параметров процесса в основном вербальным способом, что определяет нечеткий характер решаемых задач на этапе анализа и оценки рисков, сопряженных с процессом. Это приводит к тому, что оценки параметров на выходе процесса аттестации могут определяться нечеткими количественными или качественными данными. В этом случае для решения такой слабоструктурированной задачи анализа и оценки процессных рисков требуется построение соответствующей модели, формирующей необходимую область определения:

$$MZ2 = \langle MSZ, MAZ, RAP, MRU, MOR, Q \rangle,$$

где *MSZ* - модель целевой зрелости процессов проекта; *MAZ* - модель аттестованной зрелости процессов проекта; *RAP* - модель разрывов атрибутов зрелости процессов; *MRU* - модель разрывов уровней зрелости процессов; *MOR* - модель общего риска процесса; *Q* - набор методов и алгоритмов для оценки процессных рисков проекта.

В указанной модели ее составляющие *MSZ* и *MAZ* являются компонентами модели, рассмотренными во второй главе. Модели *RAP*, *MRU*, *MOR* считаются также заданными и ранее построенными экспертным способом для конкретной области программных проектов. В частности, для отрасли программной инженерии на основе рекомендаций, представленных в документах ИСО/МЭК ТО 15504, модели имеют вид в формате наглядных таблиц, которые представлены во второй главе.

Параметр  $\varrho$  в модели определяет цель исследований третьей главы диссертационной работы, связанной с формализацией и алгоритмизацией процедуры оценки процессных рисков проекта в условиях нечеткости. Для решения этих задач рассмотрено два подхода к оценке процессных рисков проекта.

Подход 1. Показано, что оценка процессных рисков может быть осуществлена на основе построения нечеткой базы знаний по процессным рискам и применения специальной процедуры нечеткого логического вывода. При этом задача идентификации процессных рисков рассматривается в контексте обладания следующими свойствами:

1) для идентификации процессных рисков необходимо установить зависимость между входными переменными (критериями) процессного риска и выходной переменной (степенью воздействия риска);

2) выходная переменная процессного риска ассоциируется с объектом идентификации, т.е. с определенной трактовкой воздействия риска на процесс;

3) входные переменные (критерии) процессного риска ассоциируются с параметрами состояния объекта идентификации;

4) выходная и входные переменные процессного риска могут иметь количественные и качественные оценки;

5) структура взаимосвязи между выходной и входными переменными процессного риска описывается правилами ЕСЛИ «входы», ТО «выход», использующими качественные оценки переменных процессного риска и представляющими собой нечеткие базы знаний по рискам процесса.

Рассмотрены и применены лингвистические правила и принципы в оценке процессного риска, которые необходимы для построения соответствующей методики идентификации процессного риска на основе нечетких баз знаний:

1) использование принципа лингвистичности входных и выходных переменных процессного риска. В соответствии с этим принципом входы (признаки) риска (далее объекта) и его выход (последствия риска) рассматриваются как лингвистические переменные, которые оцениваются качественными термами. При этом, согласно Л.Заде, лингвистической переменной называется такая переменная, значениями которой являются слова или предложения естественного языка, т.е. качественные термы. Используя понятие функции принадлежности, каждый из термов, оценивающих лингвистическую переменную, можно формализовать в виде нечеткого множества, заданного на соответствующем универсальном множестве;

2) применение принципа формирования структуры зависимости «вход-выход» в виде нечеткой базы знаний по процессным рискам. Нечеткая база знаний представляет собой совокупность правил ЕСЛИ «входы», ТО «выход», отражающих опыт эксперта по процессным рискам, которую можно рассматривать как набор экспертных точек в пространстве «входы-выход». Применение аппарата нечеткого логического вывода позволяет восстанавливать по этим точкам многомерную поверхность, которая позволяет получать значения выхода процессного риска при различных комбинациях значений входных переменных риска;

3) рассмотрение принципа иерархичности баз знаний по процессным рискам. Использование этого принципа позволяет преодолеть проблему размерности задачи.

Рассмотрены основные этапы нечеткого логического вывода в контексте задачи оценки процессных рисков:

- 1) формирование базы правил системы нечеткого вывода по оценке процессных рисков проекта;
- 2) фаззификация входных переменных процессного риска;
- 3) агрегирование подусловий в нечетких правилах продукций;
- 4) активизация подзаключений в нечетких правилах продукций;
- 5) аккумуляирование заключений в нечетких правилах продукций;
- 6) дефаззификация выходных переменных оценки риска.

Предложенный первый подход к формализации исходной информации по риску, сопряженному с процессом, и алгоритм нечеткого логического вывода имеют достаточно развитую инструментальную среду MATLAB для программной реализации рассмотренного подхода и для использования созданного инструментария в составе системы оценки процессных рисков программного проекта в условиях нечеткости.

Подход 2. Основывается на использовании результатов второй главы диссертации в контексте задачи, связанной с оценкой интегрального риска, сопряженного с анализируемым процессом. Интегральный риск здесь выражается через надежность аттестуемого процесса, а надежность процесса определяется через надежность операций процесса. В качестве модели процесса используется, как и в главе 2, нечеткий граф, но в котором вес каждой дуги ассоциируется уже с надежностью операции процесса, задаваемой экспертным способом в виде нечетких параметров - значений условной вероятности в интервале  $[0, 1]$ , в виде нечеткого числа или вербально.

Применяя ранее разработанные правила и алгоритмы в зависимости от вида представления весов дуг, получаем решение задачи оценки процессного риска по критерию надежности. Достоинствами второго подхода являются его обоснованность и согласованность в части применяемых алгоритмов и инструментальных средств с результатами второй главы.

Четвертая глава посвящена вопросам программной реализации разработанных моделей и алгоритмов аттестации процессов программного проекта в условиях нечеткости исходных данных.

Инструментальной средой создания программных приложений явился продукт: MATLAB 7.0. Комплекс работ по созданию необходимых программных средств включал в себя: анализ требований, проектирование, интеграцию, тестирование, инсталляцию, экспериментальное внедрение и официальную регистрацию программных продуктов.

Задачи экспериментальной разработки решались на основе принципов модульного построения программного инструментария. В результате был разработан программный комплекс «Система определения уровня зрелости про-

цессов жизненного цикла проекта», реализующий разработанные в диссертации модели и алгоритмы. Набор функций разработанной системы включает как основные функции, выполняемые в соответствии с разработанными моделями и алгоритмами, так и ряд вспомогательных функций, необходимых для настройки системы, загрузки и сохранения входных и выходных данных.

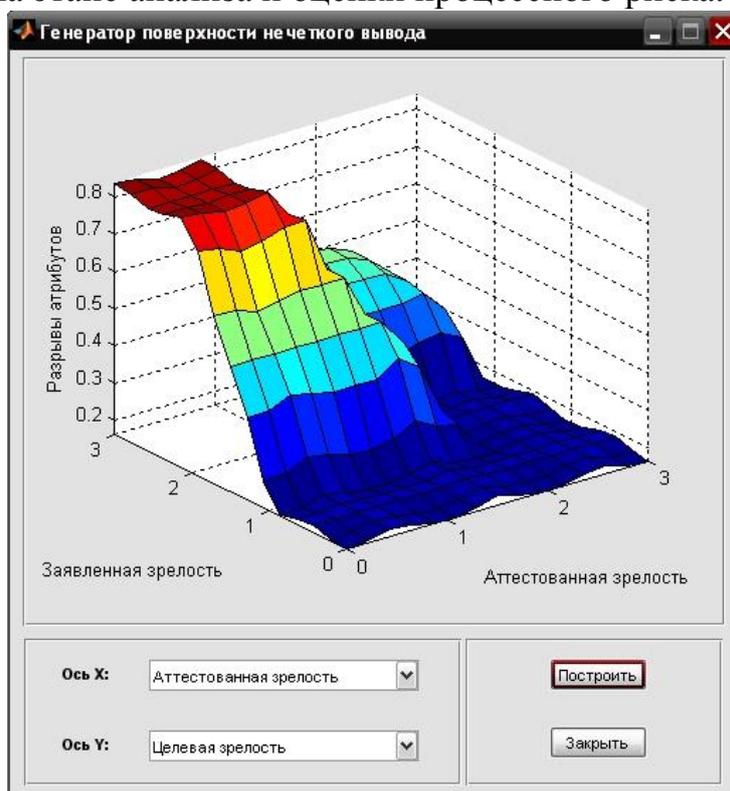
Инструментальные средства поддержки процесса аттестации уровня зрелости процесса проекта реализованы с целью выполнения на практике следующих задач:

- ввод исходных данных;
- сохранение исходных данных;
- решение задачи свертывания графа-модели процесса;
- вывод итогового результата;
- сохранение итогового результата.

Инструментальные средства нечеткого вывода для анализа риска, сопряженного с процессом, реализованы с целью выполнения на практике следующих задач:

- ввод исходных данных;
- сохранение исходных данных;
- создание первоначальной базы правил;
- корректировки функций принадлежности;
- исправления (настройка) базы нечетких продукций;
- выполнение процедуры нечеткого вывода;
- вывод итогового результата.

На рисунке в качестве примера показано окно просмотра поверхности нечеткого вывода на этапе анализа и оценки процессного риска.



Окно просмотра поверхности нечеткого вывода

## Результаты экспериментальных исследований

№	Модуль ПК	Состав	Качественный эффект	Количественный эффект
1	Анализ атрибутов процесса	Графический интерфейс. Алгоритм укрупнения НВГ	<p>Поддержка оценки атрибутов зрелости процесса в виде матрицы, описывающей нечеткий взвешенный граф процесса.</p> <p>Анализ нечетких данных по степени обладания атрибутом и по вероятности прохождения по этапам процесса повышает качество получаемых данных и уменьшает требования к компетентности участников аттестации.</p> <p>Возможность сохранения введенных и полученных данных уменьшает трудоемкость по ведению отчетности.</p> <p>Графический интерфейс обеспечивает информативный диалог с пользователем</p>	Снижение трудоемкости анализа атрибутов процесса от 18 до 31 % в зависимости от сложности процесса
2	Анализ риска, сопряженного с процессом	Графический интерфейс. Алгоритм нечеткого вывода	<p>Поддержка анализа риска процесса на основе нечетких данных.</p> <p>Переработка рискованной информации автоматизированным способом, повышение производительности труда специалистов.</p> <p>Графический интерфейс обеспечивает информативный диалог с пользователем и позволяет настраивать систему анализа под определенные условия аттестации</p>	Снижение трудоемкости процесса оценки процессных рисков от 16 до 23 % в зависимости от сложности процесса

Основными задачами вычислительного эксперимента по теме научных исследований явились:

1) исследование и экспериментальная проверка корректности и правильности теоретических результатов и выводов диссертационной работы;

2) апробация и исследование разработанного программного комплекса поддержки процесса аттестации уровней зрелости процессов программного проекта и оценки процессных рисков;

3) анализ полноты содержания и удобства интерфейсных форм, отражающих характеристики пользовательского интерфейса программного комплекса для этапа промышленной эксплуатации.

**В заключении** диссертационной работы сформулированы основные научные результаты, полученные в рамках решения поставленной научно-технической проблемы, связанной с развитием и совершенствованием технологии оценивания и аттестации зрелости процессов на основе создания новых моделей, формализованных методов и алгоритмов, обеспечивающих решение слабо структурированных задач по анализу и оцениванию процессов в условиях нечеткости с целью повышения точности оценок по атрибутам процессов.

### **Список публикаций по теме диссертации**

1. Таганов А.И., Гильман Д.В. Задачи и методы нечеткого управления рисками программного проекта // Научно-технический журнал «Системы управления и информационные технологии». – Москва-Воронеж, 2012. – № 2(48). – С. 79-83.

2. Гильман Д.В. Использование нечеткого вероятностного графа для оценки показателя надежности проекта // В сборнике научных трудов 15-й Всероссийской научно-технической конференции «Новые информационные технологии в научных исследованиях и в образовании». – Рязань, 2010.

3. Гильман Д.В. Модель нечеткого анализа процессных рисков программного проекта в условиях неопределенности // В сборнике научных трудов 16 Всероссийской научно-технической конференции «Новые информационные технологии в научных исследованиях и в образовании». – Рязань, 2011.

4. Гильман Д.В., Таганов Р.А. Алгоритмы преобразования нечетких графовых моделей процессных рисков проекта // Межвузовский сборник научных трудов «Информационные технологии в научных исследованиях». – Рязань, 2012. – С. 48-53.

5. Гильман Д.В. Формализация процесса оценивания рисков программного проекта по характеристикам качества в условиях нечеткости // В сборнике научных трудов 15-й Всероссийской научно-технической конференции «Новые информационные технологии в научных исследованиях и в образовании». – Рязань, 2010.

6. Таганов А.И., Гильман Д.В. Задачи и методы нечеткой идентификации и нечеткого мониторинга процессных рисков проекта // В сборнике научных трудов VIII Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы современных наук». – Пшемысль, Польша, 2012. – Том 7. – С. 15-19.

7. Таганов А.И., Гильман Д.В. Подходы к нечеткой идентификации и анализу процессных рисков проекта. // В сборнике научных трудов VIII Междуна-

родной научно-практической конференции «Актуальные проблемы современных наук». – Пшемысль, Польша, 2012. – Том 5. – С. 26-30.

8. Таганов А.И., Гильман Д.В. Аспекты нечеткой идентификации и анализа процессных рисков по стадиям жизненного цикла проекта // Межвузовский сборник научных трудов «Информационные технологии в научных исследованиях». – Рязань, 2012. – С. 143-147.

9. Таганов А.И., Гильман Д.В. Формализация задач мониторинга процессных рисков по стадиям жизненного цикла проекта // Межвузовский сборник научных трудов «Информационные технологии в научных исследованиях». – Рязань, 2012. – С. 147-153.

10. Таганов А.И., Гильман Д.В. Задачи и алгоритмы структурной оптимизации процессов проекта по критериям риска // Межвузовский сборник научных трудов «Информационные технологии в научных исследованиях». – Рязань, 2012. – С. 153-158.

11. Таганов А.И., Гильман Д.В. Способ идентификации интегрального риска процессов программного проекта в условиях нечеткости // В сборнике научных трудов Международной научно-практической конференции «Актуальные вопросы в научной работе и образовательной деятельности». – Тамбов, 2013. – С.140-141.

12. Таганов А.И., Гильман Д.В. Алгоритмы определения рейтинга процессов на основе формализмов нечетких множеств и нечетких графов» // В сборнике научных трудов Международной научно-практической конференции «Актуальные вопросы в научной работе и образовательной деятельности». – Тамбов, 2013. – С.138-140.

13. Таганов А.И., Гильман Д.В. Формализация процедур аттестации зрелости процессов программных проектов методами теории нечетких множеств // В сборнике научных трудов Международной научно-практической конференции «Актуальные вопросы в научной работе и образовательной деятельности». – Тамбов, 2013. – С. 141-142.

Гильман Дмитрий Владимирович

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА АТТЕСТАЦИИ  
УРОВНЕЙ ЗРЕЛОСТИ ПРОЦЕССОВ  
ПРОГРАММНОГО ПРОЕКТА

АВТОРЕФЕРАТ  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Подписано в печать 25.07.13 Формат бумаги 60×84 1/16.

Бумага офсетная. Печать офсетная. Усл. печ. л. 1,75

Тираж 100 экз. Заказ

Рязанский государственный радиотехнический  
университет.

390005, Рязань, ул. Гагарина, 59/1.

Редакционно-издательский центр РГРТУ.