

На правах рукописи

Пермякова

Пермякова Наталья Викторовна

**НЕЧЕТКИЕ МОДЕЛИ, АЛГОРИТМЫ И ПРОГРАММНОЕ
ОБЕСПЕЧЕНИЕ ОЦЕНКИ РИСКОВ И РИСКООБРАЗУЮЩИХ
ФАКТОРОВ НА ЭТАПАХ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА
ПРОГРАММНОГО ПРОДУКТА**

Специальность 05.13.10 – «Управление в социальных
и экономических системах»

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Томск – 2019

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники» (ТУСУР)

Научный руководитель —

Доктор технических наук профессор
Ехлаков Юрий Поликарпович

Официальные оппоненты:

Пимонов Александр Григорьевич,
доктор технических наук, профессор,
зав. кафедрой прикладных информаци-
онных технологий Кузбасского госу-
дарственного технического университе-
та им. Т.Ф. Горбачева (г. Кемерово)

Авдеенко Татьяна Владимировна,
доктор технических наук, профессор,
профессор кафедры теоретической и
прикладной информатики Новосибир-
ского государственного технического
университета

Ведущая организация —

Федеральное государственное автоном-
ное образовательное учреждение выс-
шего образования «Национальный ис-
следовательский Томский политехниче-
ский университет»

Защита диссертации состоится « 19 » декабря 2019 г. в 9-00 на заседании диссертационного совета Д 212.268.05 ТУСУРа по адресу: 634050, г. Томск, пр. Ленина, 40, ауд. 201.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ТУСУРа по адресу: г. Томск, ул. Красноармейская, 46 и на сайте ТУСУРа: <https://postgraduate.tusur.ru/urls/uatx32aa> .

Автореферат разослан « ____ » _____ 2019 года.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Костюченко
Евгений Юрьевич.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность исследования. Отрасль информационных технологий является самой динамично развивающейся на данный момент отраслью как мировой экономики, так и экономики России. Доля ИТ-услуг на сегодняшний день составляет 44 % в общем обороте ИТ-отрасли экономики России, а темп ежегодного прироста оценивается экспертами в 9 %. Вместе с тем необходимо добавить, что данный вид бизнеса характеризуется высокой степенью риска. По результатам ежегодного опроса Project Management Institute (PMI) PMI's 2018 Pulse of the Profession (в опросе участвовали более 4 000 респондентов, включая топ-менеджеров и риск-менеджеров ИТ-проектов) 69% проектов признаны успешными, при этом 57% проектов не превысили бюджета, 52% проектов выполнены в срок, 15% проектов не завершились. Поэтому вопросы идентификации, оценки и анализа рисков и рискообразующих факторов, а также мониторинга их текущего состояния являются ключевыми при разработке и выводе на рынок программных продуктов.

Методологическим вопросам управления рисками уделяется достаточно большое внимание. Так, в рамках процессного управления эти вопросы регламентируются множеством зарубежных и отечественных стандартов. В указанных документах с небольшими различиями процесс управления рисками определяется как циклический процесс, состоящий из нескольких этапов: идентификация рисков, качественный и количественный анализ рисков, реагирование на риски, мониторинг рисков. Однако в рассмотренных документах предлагается последовательность шагов, необходимых для реализации процесса управления рисками, но не описываются конкретные инструменты и методы принятия решений, не конкретизируется сам процесс исполнения решений.

Степень проработанности. Теоретические аспекты управления рисками программных проектов раскрываются в работах отечественных и зарубежных ученых: Д.Ф. Шафера, Б.У. Боэма, Т. Де Марко, Т. Листера, Ф. Бэгьюли, С. Трофимова, С. Архипенкова, В.В. Липаева, С.М. Авдошина, Е.Ю. Песоцкой и др. Учитывая цифровизацию современного общества и высокие темпы развития IT-индустрии, следует обратить внимание на работы авторов А.Н. Курбацкого, В.Н. Макашовой, Р.Т. Фатрелла, М.В. Ньюэлла, С.А. Глушенко, Н.Ю. Налютинина и др.

Следует подчеркнуть, что в литературе нет однозначного понятия (определения) как риска, так и рискообразующего фактора как процесса или явления, способствующего угрозам бизнеса, более того, эти понятия часто путают. Отсутствует и единая классификация рисков и рискообразующих факторов, присущих этапам жизненного цикла программных продуктов. Процессы принятия решений по управлению рисками основываются на численных значениях ранга риска, вычисляемого с помощью матрицы вероятность-воздействие без учета близости наступления риска. Многие авторы сходятся во мнении, что для поиска решений при управлении рисками необходимо учитывать, что оценивание характеристик риска и рискообразующих факторов проводится в статистически некорректной среде и с использованием качественных категорий. В этом случае целесообразно

использовать математический аппарат теории нечетких множеств, методы логического вывода которого позволяют преобразовать качественные оценки в числовые с учетом степени уверенности эксперта в данной оценке.

Целью диссертационного исследования является разработка методик, моделей, алгоритмов и программного обеспечения поддержки принятия решений при оценке и анализе рискообразующих факторов на этапах жизненного цикла программного продукта с использованием аппарата нечеткой логики и когнитивного моделирования.

Для достижения поставленной цели были определены следующие основные **задачи**:

- провести анализ литературы, отечественных и зарубежных стандартов, регламентирующих процессы управления рисками проектов и выделить ключевые моменты управления рисками на этапах жизненного цикла программных продуктов;

- провести анализ понятий и определений рисков и рискообразующих факторов этапов жизненного цикла программного продукта, моделей и алгоритмов принятия решений управления рисками, а также существующих на рынке пакетов прикладных программ;

- выявить множество рисков и рискообразующих факторов, свойственных этапам жизненного цикла программного продукта, и предложить варианты их классификации;

- предложить методику описания бизнес-процесса управления рисками этапов жизненного цикла программного продукта;

- разработать модели и алгоритмы оценки рискообразующих факторов и поддержки принятия решений по реагированию на их возможные проявления;

- разработать программный комплекс поддержки принятия решений по выявлению факторов, требующих немедленного реагирования;

- провести практическую апробацию полученных теоретических результатов и внедрение.

Объектом исследования является процесс принятия решений при управлении рисками на этапах жизненного цикла программных продуктов.

Предметом исследования являются методы, модели и методики поддержки принятия решений при управлении рисками на этапах жизненного цикла программного продукта с использованием математического аппарата нечеткой логики и когнитивного моделирования.

Теоретическую и методологическую базу исследования составили труды ведущих российских и зарубежных специалистов в области теории принятия решений в социальных и экономических системах, системного анализа, когнитивного моделирования, теории нечетких множеств. Информационной базой являются материалы, опубликованные в периодической печати, учебной и научной литературе, сети Интернет. Методологическую основу работы образуют общенаучные методы исследования (анализ, синтез, дедуктивный и индуктивный вывод, сравнение, абстрагирование), системный подход, методы теории принятия решений, а также методология объектно-ориентированного моделирования.

Область исследования диссертационной работы соответствует указанному в паспорте специальности 05.13.10 «Управление в социальных и экономических системах» (технические науки) пунктам: п.2 «Разработка методов формализации и постановка задач управления в социальных и экономических системах»; п.4 «Разработка методов и алгоритмов решения задач управления и принятия решений в социальных и экономических системах»; п. 5 «Разработка специального математического и программного обеспечения систем управления и принятия решений в социальных и экономических системах».

Научная новизна полученных в диссертационной работе результатов:

– введены новые понятия рисков программного продукта: «критические отклонения по выполнению функциональных требований», «критические отклонения выполнения нефункциональных требований», «срыв плановых сроков разработки программного продукта», «превышение бюджета разработки программного продукта», основанные на модификации правила «железного треугольника» и логической взаимосвязи формулировок, приведенных в стандартах по проектному управлению — «цель проекта, как результат деятельности» и «риск проекта, как негативное событие, не позволяющее достичь целей»;

– предложен оригинальный классификатор внутренних рискообразующих факторов, основанный на элементах универсальной модели деятельности: «программный продукт (предмет деятельности)», «команда проекта (субъект деятельности)», «инструментальные средства разработки программного продукта (средства деятельности)», «технологии управления процессами разработки программного продукта (технология деятельности)», позволяющий распределить представленные в литературе рискообразующие факторы по четырем основаниям классификации;

– предложена оригинальная нечеткая модель расчета рейтинга рискообразующих факторов, отличающаяся от известных формализацией процесса вычисления рейтинга (ранга), основанного на нечетких описаниях оценок близости наступления и степени критичности факторов и позволяющая лицу принимающему решение получать числовое выражение рейтинга рискообразующих факторов, ранжировать их по степени критичности влияния на цели проекта, выделяя факторы, требующие немедленного реагирования;

– впервые разработана нечеткая когнитивная модель выбора плановых мероприятий по реагированию на проявление критичных рискообразующих факторов, основанная на математическом аппарате нечеткой реляционной алгебры и позволяющая лицу принимающему решение оценивать в динамике состояние как ранее идентифицированных рискообразующих факторов, так и новых, формировать альтернативные решения по реагированию на их проявления.

Теоретическая значимость диссертации заключается в развитии и конкретизации нечетких моделей и алгоритмов поддержки принятия решений при управлении рисками на каждом из этапов жизненного цикла программного продукта.

Практическую значимость результатов исследования составляют: методика управления рисками, предложенная в виде комплекса семантических моделей;

база данных рискообразующих факторов, описание которых представлено по схеме «условия возникновения → последствия проявления → влияние на результат», и программное приложение «Программный комплекс формализованного описания рискообразующих факторов с применением алгоритмов нечеткой логики». Использование разработанных методики, моделей, алгоритмов и программного обеспечения поддержки принятия решений позволяет риск-менеджерам малых ИТ-компаний отбирать из базы данных множество возможных рискообразующих факторов с учетом специфики программного продукта; получать числовое выражение рейтинга рискообразующих факторов, основанное на качественных экспертных оценках близости наступления и критичности факторов; ранжировать их по степени критичности влияния на сроки оказания услуги, выделяя факторы, требующие особого внимания, получать альтернативные решения по составлению плана мероприятий реагирования на выявленные факторы.

Реализация результатов. Полученные в диссертационной работе результаты использованы: при выполнении государственного задания № 3653 на 2015-2016г. «Модели, алгоритмы и программное обеспечение поддержки принятия решений по управлению рисками в социально-экономических и производственно-технологических системах»; в учебном процессе кафедры автоматизации обработки информации (АОИ) ТУСУРа при чтении курса лекций и проведении практических занятий по дисциплине «Управление программными проектами» при подготовке бакалавров по направлению 09.03.04 — «Программная инженерия» и по дисциплине «Управление проектами» при подготовке бакалавров по направлению 38.03.05 — «Бизнес-информатика».

Методика, база данных, модели и программное обеспечение внедрены: в лаборатории ТУСУРа «Центр веб-технологий и информационных ресурсов»; в компании ООО «Паравеб» (г. Томск), в ООО «МАГ Девелопмент» (г. Томск).

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства образования и науки РФ, проект № 8.8184.2017/8.9

Степень достоверности и апробации результатов. Достоверность результатов и выводов работы обуславливается корректным использованием математического аппарата когнитивного моделирования и теории нечетких множеств, методологии объектно-ориентированного моделирования, а также результатами апробации на реальных объектах. Адекватность предложенных в работе моделей и алгоритмов подтверждается результатами их практического использования в деятельности малых ИТ-компаний. Основные положения диссертационного исследования докладывались и обсуждались на следующих конференциях: Международная научно-практическая конференция «Электронные средства и системы управления» (Томск, 2015,2016,2018), Международная научно-техническая конференция «Актуальные проблемы электронного приборостроения (АПЭП-2016)» (Новосибирск, 2016).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 9 работ, в том числе 3 статьи в научных изданиях, рекомендованных ВАК для опубликования по направлению «Информатика и вычислительная техника», получено свидетельство о регистрации программ для ЭВМ № 2017664236 от 19.12.2017 г., издана одна коллективная монография.

Предмет защиты и личный вклад автора. Содержательные и математические постановки задач осуществлялись автором совместно с научным руководителем, алгоритмы решения, их экспериментальные исследования и программная реализация выполнены автором самостоятельно.

Положения, выносимые на защиту:

– новые понятия рисков программного продукта, основанные на логической взаимосвязи формулировок, приведенных в стандартах по проектному управлению — «цель проекта, как результат деятельности» и «риск проекта, как как негативное событие, не позволяющее достичь целей» и модификации правила «железного треугольника»;

– оригинальный классификатор внутренних рискообразующих факторов, основанный на элементах универсальной модели деятельности, позволяющий распределить представленные в литературе рискообразующие факторы по четырем основаниям и обеспечивающий систематизацию процесса управления рисками на каждом из этапов жизненного цикла программного продукта;

– нечеткая модель расчета рейтинга рискообразующих факторов, позволяющая лицу принимающему решение оценивать степени значимости факторов на основе количественных значений рейтинга, полученных с учетом нечетких оценок близости наступления и степени критичности факторов;

– нечеткая когнитивная модель выбора плановых мероприятий по реагированию на проявление критичных рискообразующих факторов, позволяющая лицу принимающему решение получать альтернативные решения по формированию планов мероприятий реагирования на риски.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения, списка литературы из 93 наименований и 4 приложений. Материал изложен на 197 страницах, содержит 36 таблиц и 50 рисунков.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении приведены аргументы, подтверждающие актуальность темы диссертационного исследования, описана степень ее проработанности, сформулированы цель и задачи исследования, определены и рассмотрены объект, предмет и методы исследования, отражены научная новизна, теоретическая и практическая значимость полученных результатов, приведены сведения о внедрении и использовании результатов.

В главе 1 проведен анализ существующих стандартов и методик управления рисками, отечественной и зарубежной литературы по теме диссертационного исследования; методов, моделей и алгоритмов управления рисками при разработке программных продуктов.

Отмечено, что, несмотря на имеющиеся различия, во всех рассмотренных стандартах в процессе управления рисками выделяются следующие этапы: определение целей, идентификация рисков, качественный и количественный анализ, планирование реагирования и контроль рисков. Вместе с тем необходимо подчеркнуть, что в этих документах, а также в научной литературе описывается по-

следовательность действий риск-менеджера, и лишь в некоторых из них приводятся рекомендации по использованию конкретных методик идентификации, оценки и анализа рисков и рискообразующих факторов, и не описываются методы и инструменты принятия решений по управлению рисками, нет однозначного понятия (определения) риска и рискообразующих факторов и в монографиях, более того, эти понятия часто замещаются друг другом.

В результате анализа стандартов по проектному управлению выявлено существование логической взаимосвязи между формулировками «цель проекта, как результат деятельности» и «риск проекта, как негативное событие, не позволяющее достичь в полной мере целей проекта», что, в свою очередь, позволило сформулировать новые понятия рисков программного продукта, основанные на модификации правила «железного треугольника»: критические отклонения по выполнению функциональных требований (составу и содержанию проекта); критические отклонения по выполнению нефункциональных требований (показателям качества проекта); срыв сроков разработки программного продукта (плановых сроков проекта); превышение стоимости разработки (бюджета проекта).

Отмечено, что в настоящее время в литературе, посвященной проблемам управления рисками IT-проектов, отсутствует единая классификация рисков и рискообразующих факторов. Для стандартизации и унификации процесса выявления рискообразующих факторов, их смыслового содержания и последующей оценки влияния на конкретные цели этапов жизненного цикла программного продукта предложен оригинальный классификатор рискообразующих факторов, основанный на элементах универсальной модели деятельности: программный продукт (объект деятельности), команда проекта (кадры), инструментальные средства разработки программного продукта (средства деятельности), технологии управления процессами разработки программного продукта (технология деятельности) (рис. 1).

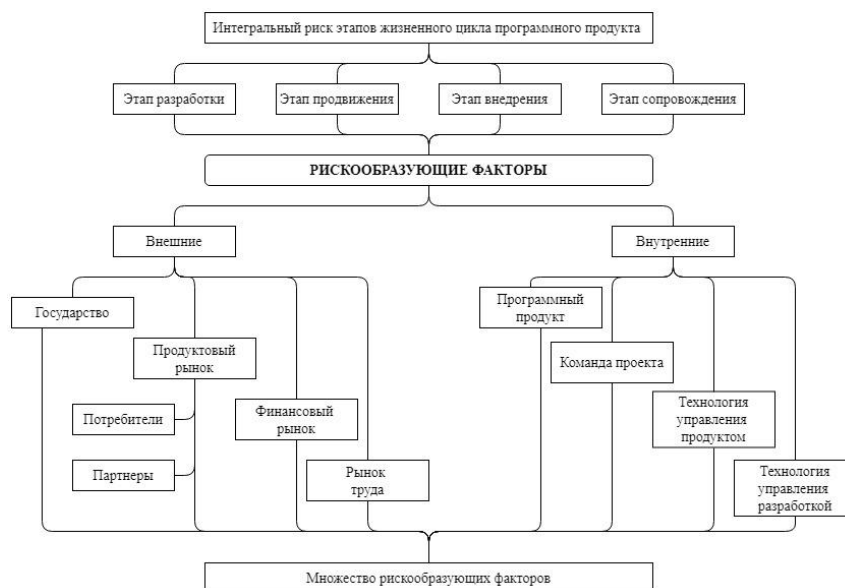


Рисунок 1 — Классификация рискообразующих факторов этапов жизненного цикла программного продукта

На основании анализа отечественной и зарубежной литературы по тематике управления рисками программных проектов создана база данных, содержащая сведения о 124 факторах риска. Фрагмент распределения внутренних рискообразующих факторов по основаниям классификаций, предложенных другими авторами, представлен в таблице 1.

Таблица 1 — Распределение рискообразующих факторов по основаниям классификации

Основание предлагаемого классификатора	Автор
Программный продукт	К. Скотт, М. Фаулер, Г.Л. Сыч, Р.Т. Фатрелл, Б.У. Бозэм
Команда проекта	К. Скотт, М. Фаулер, Г.Л. Сыч, А. М. Гудов, С. Ю. Завозкин, С. Н. Трофимов, Р.Т. Фатрелл, Б.У. Бозэм, Д. Марко, Т.Листер, С. Архипенко

Таким образом, можно утверждать, что представленный классификатор достаточно универсален и может использоваться ЛПР при идентификации и анализе рискообразующих факторов на каждом из этапов жизненного цикла программных продуктов.

В последнем разделе главы представлен анализ существующих программных решений, ориентированных на поддержку процесса управления рисками, результаты которого позволяют сделать вывод о том что, документация ПП, рекламные материалы и предоставляемые демонстрационные версии ПП не содержат информации о реализованных способах качественной оценки рисков и рискообразующих факторов, базы данных рисков и рискообразующих факторов имеют только 50% ПП, ценовая категория которых не приемлема для организаций и компаний, относящихся к малому бизнесу.

В главе 2 на основании анализа существующих стандартов и методик управления рисками проектов предложен оригинальный комплекс семантических моделей, описывающий процесс риск-менеджмента и его декомпозицию на подпроцессы обмена информацией и консультаций, определения ситуации, идентификации рискообразующих факторов, анализа рискообразующих факторов, оценивания риска, воздействия на риск, мониторинга и показывающий место и роль выносимых на защиту нечетких моделей в процессе управления рисками этапов жизненного цикла программного продукта. Семантическая модель подпроцесса анализа рискообразующих факторов, определяющая его концептуальные элементы и характеризующая отношения между ними представлена на рисунке 2.

$S = \{(p, (f_i), d, (k_i)_j\}, j = \overline{1, m}, i = \overline{1, \alpha}$ — множество характеристик рискообразующих факторов, где p — оценка вероятности проявления фактора, (f_i) — вектор экспертных оценок силы воздействия фактора на i -тый риск проекта, d — экспертная оценка близости наступления фактора. Значения характеристик могут принимать как качественные значения («высокая» вероятность), так и количественные (вероятность — 0,9), (k_i) — степень критичности фактора относительно i -того риска.

$R_j = (r_i)$ — рейтинг рискообразующих факторов z_j по риску a_i .

Алгоритм определения рейтинга рискообразующих факторов (рис. 3) представлен в работе в виде следующей последовательности шагов.

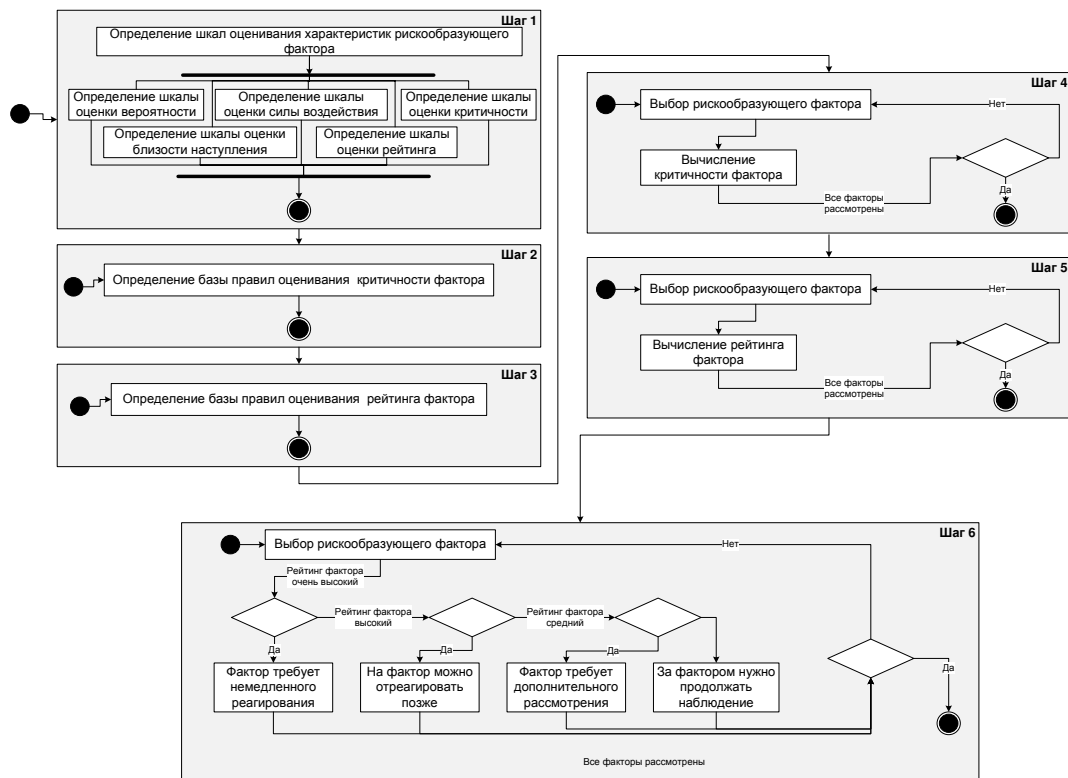


Рисунок 3 — Алгоритм определения рейтинга рискообразующих факторов

На **первом шаге** алгоритма риск-менеджер задает шкалы оценивания характеристик рискообразующих факторов, определяя состав качественных категорий и соответствующих им числовых интервалов. Пример шкалы оценивания вероятности проявления приведен в таблице 2.

Таблица 2 — Вероятность проявления рискообразующих факторов

Вероятность	Очень низкая	Низкая	Умеренная	Высокая	Очень высокая
Интервал	менее 0,15	[0,1; 0,4]	[0,2; 0,6]	[0,5; 0,9]	более 0,8

Возможные значения характеристик рискообразующих факторов можно формализовать с помощью ввода лингвистической переменной. Ниже приведен пример

лингвистической переменной «Вероятность проявления рискообразующего фактора».

$\langle p, T_p, [0,1], M_p \rangle$, где p — «Оценка вероятности проявления», T_p — {«Очень низкая» (ОН), «Низкая» (Н), «Умеренная» (У), «Высокая» (В), «Очень высокая» (ОВ)}; M_p — процедура задания на универсуме $[0; 1]$ значений лингвистической переменной. Множество T_p лингвистической переменной определено следующим образом:

$$T_p = \{\mu_{ОН}(0,15; x), \mu_{Н}(0,1; 0,18; 0,3; 0,4; x), \mu_{У}(0,2; 0,35; 0,45; 0,6; x), \\ \mu_{В}(0,5; 0,63; 0,77; 0,9; x), \mu_{ОВ}(0,8; 1; x)\}.$$

В качестве функций принадлежности использованы трапециевидная функция принадлежности $\mu(a,b,c,d,x)$, S -функция $\mu(a,x)$, Z -функция $\mu(a,b,x)$, коэффициенты a, b, c, d которых задаются согласно заданной шкале оценивания.

На **втором шаге** риск-менеджер определяет базу правил определения критичности рискообразующего фактора, задавая степень критичности как функцию, зависящую от значения вероятности проявления рискообразующих факторов и силы их воздействия на цели этапа жизненного цикла программного продукта (далее — этапа). Правила базы определяются как правила вывода ЕСЛИ ... ТО... Антецедентами (посылками) правил являются значения оценки вероятности проявления фактора и силы его воздействия на цели этапа, консеквентом (заключением) — оценка уровня критичности рискообразующего фактора для конкретной цели этапа.

На **третьем шаге** алгоритма риск-менеджер формирует базу правил оценивания рейтинга. Оценка рейтинга задается как функция, зависящая от оценки степени критичности и времени возможного проявления фактора. Формально правила базы представляются в виде правила вывода, аналогично правилам второго этапа алгоритма. Антецедентами правил в этом случае являются оценки степени критичности фактора и времени его возможного наступления, консеквентом — оценка рейтинга.

На **четвертом шаге** алгоритма вычисляется оценка критичности рискообразующих факторов. Вычисление оценки реализовано с помощью алгоритма нечеткого вывода Мамдани, входными данными алгоритма являются оценки вероятности проявления фактора и силы воздействия фактора на цели. Вывод оценки критичности основан на базе правил, сформированной на втором шаге алгоритма.

На **пятом шаге** алгоритма вычисляется рейтинг рискообразующего фактора. Вычисление рейтинга реализовано с помощью алгоритма Мамдани, входными данными в этом случае являются вычисленные ранее оценки критичности и экспертные оценки времени наступления рискообразующих факторов. Логический вывод алгоритма основывается на базе правил, сформированной на третьем шаге алгоритма.

На **шестом шаге** алгоритма выполняется ранжирование факторов по степени их влияния на цели этапа.

Нечеткая модель расчета рейтинга рискообразующих факторов позволяет риск-менеджеру получить числовое выражение рейтинга рискообразующих факторов, основанное на качественных экспертных оценках близости наступления и критичности факторов и ранжировать их по степени критичности влияния на цели, выделяя факторы, требующие немедленного реагирования.

Логично предположить, что выполнение мероприятий, воздействующих на такие факторы, должно снизить и уровень рисков этапа. Вместе с тем реализация мероприятий может повлечь за собой появление новых рискообразующих факторов. В этом случае риск-менеджеру необходимо рассматривать рискообразующие факторы в динамике, с учетом их возможных взаимосвязей, своевременно контролировать состояние как ранее идентифицированных рискообразующих факторов, так и новых, вносить изменения (корректировки) как в множество значимых факторов, так и в перечень первоначально выделенных мероприятий в контексте текущего этапа.

Нечеткая когнитивная модель выбора плановых мероприятий по реагированию на проявление критичных рискообразующих факторов

Постановка задачи представлена в работе в виде следующего кортежа:

$$DU = \langle A, Z^*, U, S \mid \mathbf{P}^g, \mathbf{P}, \Delta\mathbf{P}, U^* \rangle,$$

где $A = \{a_i\}, i = \overline{1, \alpha}$ — риски этапов жизненного цикла программного продукта;

$Z^* = \{z_j\}, j = \overline{1, m^*}$ — значимые рискообразующие факторы, способствующие возникновению каждого из рисков;

$S = \{(p, (f_i), d, (k_i)_j)\}, j = \overline{1, m^*}, i = \overline{1, \alpha}$ — характеристики рискообразующих факторов;

$U = \{\{u_1, u_2, \dots, u_{nj}\}_l^{z_j}\}$ — перечень возможных мероприятий, выполнение которых позволит снизить вероятность наступления рискообразующего фактора z_j .

Требуется определить:

$\mathbf{P}^g = (p_i^g)$ — желаемые значения вероятности проявления рисков, задаваемые в соответствии с критериями риска, принятыми в компании.

$\mathbf{P} = (p_i), i = \overline{1, \alpha}$ — вероятность проявления рисков проекта;

$\Delta\mathbf{P} = (\Delta p_{jl})$ — прогнозное изменение вероятности проявления фактора z_j после выполнения мероприятия u_l ;

$U^* = \{\{u^g\}_k\}, k = 1, 2, \dots$ — множество плановых мероприятий, выполнение которых позволит достичь желаемых значений вероятности наступления риска.

Алгоритм формирования альтернативных планов мероприятий по реагированию на факторы, требующие немедленного реагирования, представлен в работе в виде следующей последовательности шагов.

Шаг 1. Оценка вероятности возможного проявления рисков, основанная на результатах ранее выполненного этапа оценивания рискообразующих факторов и знаниях и опыте ЛПР, проводящих оценку.

Шаг 2. Оценка возможного снижения вероятности проявления рискообразующих факторов при выполнении мероприятий по реагированию на рискообразующие факторы. ЛПР ставит в соответствие каждому мероприятию из $U = \{ \{u_1, u_2, \dots, u_{nj}\}_i^{z_j} \}$ прогнозные оценки изменения вероятности $\Delta P = (\Delta p_{jl})$ рискообразующего фактора z_j .

Шаг 3. Выбор шкалы оценивания интенсивности взаимовлияния рискообразующих факторов и рисков. Для измерения интенсивности влияния рисков и рискообразующих факторов друг на друга определяется шкала интенсивности влияния, пример которой приведен в таблице 3.

Таблица 3 — Шкала оценивания интенсивности взаимовлияния¹

Качественное значение	Слабая	Средняя	Высокая
Интервал	Менее 0,4	0,3 — 0,7	0,6 — 1

Шаг 4. Построение когнитивной карты взаимовлияния рискообразующих факторов и рисков в виде ориентированного графа $G(E, W)$, во множество вершин E которого включены значащие рискообразующие факторы и риски — $E = A \cup Z^*$, а множество дуг W построенного графа отражает возможные взаимосвязи между факторами $z_i \in E$ и рисками $a_i \in E$. Формально эта процедура представлена в виде нечеткой матрицы $W = [w_{ij}]_{n \times n}$, $n = |E|$, элементы которой w_{ij} определяют интенсивность влияния i -го концепта на j -тый концепт.

Шаг 5. Выделение в построенном ориентированном графе одного или нескольких рисков $a_i \in E$ в качестве целевого концепта/концептов, и множество рискообразующих факторов $z_i \in E$, влияющих на возможное возникновение риска/рисков в качестве управляющих концептов.

Шаг 6. Определение текущего состояния системы $x(t)$ в виде вектора, значения которого определяются как соответствующие оценки вероятности проявления рискообразующих факторов.

Шаг 7. Определение множества плановых мероприятий, выполнение которых приведет к необходимому снижению уровня риска. ЛПР определяет вектор

¹ В таблице указаны интервалы для «положительного» влияния рисков и рискообразующих факторов, что в контексте поставленной задачи обозначает, что при увеличении/уменьшении вероятности одного из концептов когнитивной карты предполагается увеличение/уменьшение зависимого от него концепта. Предполагается, что для обозначения интенсивности «отрицательного» влияния концептов используются аналогичные интервалы с соответствующими границами на интервале [-1;0].

\mathbf{P}^g , содержащий желаемые значения вероятностей проявления рисков. Необходимо найти множество непустых векторов решений $UK = \{\mathbf{uk}^q | q > 0\}$, которое обеспечит решение матричного уравнения

$$\mathbf{P}^g = \mathbf{Pm} \circ \mathbf{uk}, \quad (1)$$

где $\mathbf{uk} \in UK$, $\mathbf{Pm} = \mathbf{C} \circ \mathbf{A}^* \circ \mathbf{B} \vee \mathbf{D}$ — передаточная матрица, \mathbf{A}^* — транзитивное замыкание матрицы \mathbf{A} .

Выражение (1) представляет собой нечеткое реляционное уравнение, которое имеет одну верхнюю границу решения и множество нижних решений. Таким образом, задача поддержки принятия решений при планировании мероприятий по реагированию на риски сводится к решению уравнения (1) и заключается в поиске множества векторов управляющих концептов, в данном случае — рискообразующих факторов, планирование реагирования на которые приведет к заданному нечеткому вектору цели, в контексте работы — к желаемым значениям вероятности наступления рисков. В данной работе поставленную задачу предлагается решать с помощью алгоритма формирования множества альтернативных решений с использованием математического аппарата нечеткой реляционной алгебры.

Для определения условия формирования множества альтернативных решений введем следующие определения нечеткой математики.

Нечеткая матрица

$$\mathbf{A} = [a_{ij}]_{n \times m}, 1 \leq i \leq n, 1 \leq j \leq m, a_{ij} \in [0, 1].$$

T-норма

Функция $T : [0, 1] \times [0, 1] \rightarrow [0, 1]$, такая, что для всех $x, y, z \in [0, 1]$ выполняются условия:

$$T(0, x) = 0;$$

$$T(1, x) = 1;$$

$$T(x, y) = T(y, x);$$

$$T(x, y) \leq T(x, z) \text{ если } y \leq z;$$

$$T(T(x, y), z) = T(x, T(y, z));$$

Макстриангулярная композиция (T-произведение)

$$\mathbf{R} \circ \mathbf{Q} = \left[\bigvee_{j=1}^m r_{ij} T q_{jk} \right]_{n \times l},$$

где $\mathbf{R} = [r_{ij}]_{n \times m}$ и $\mathbf{Q} = [q_{jk}]_{m \times l}$ нечеткие матрицы.

Транзитивное замыкание — \mathbf{A}^* может быть найдено как

$$\mathbf{A}^* = \bigvee_{k=1}^{\infty} \mathbf{A}^k$$

где $\mathbf{A} = [a_{ij}]_{n \times n}$ нечеткая матрица.

Псевдообратная функция

$$f^{(-1)}(y) = \begin{cases} f^{(-1)}(y), y \in [0, f(0)] \\ 0, y \in (f(0), \infty) \end{cases}.$$

Операция определения псевдообратного элемента

Элемент c называется псевдообратным элементу a относительно b , если c наибольший элемент со свойствами $aTc \leq b, a, b \in [0, 1]$.

Операция определения псевдообратного элемента обозначается ϕ .

Композиция ϕ нечетких матриц определяется как

$$\mathbf{R}\phi\mathbf{Q} = \left[\bigwedge_{j=1}^m r_{ij} \phi q_{jk} \right]_{n \times l}$$

Вектор $\phi(a)$ и множество векторов $\Phi(a)$

Пусть дан нечеткий вектор $a = (a_1, a_2, \dots, a_m)^T$.

Множество $\Phi(a)$ векторов $\phi(a)$ —

$$\Phi(a) = \{\phi(a)\},$$

где $\phi = (\phi_1, \phi_2, \dots, \phi_m)^T$,

$\exists! i: \phi_i = a_i, \forall j \neq i \phi_j = 0; \bigvee_{k=1}^m \phi(a_k) = a$.

β -композиция

$$\forall a, b \in [0, 1], a\beta b = \begin{cases} 0, a < b \\ b, a \leq b \end{cases}.$$

ε -композиция

$$\forall a, b \in [0, 1], a\varepsilon b = \begin{cases} 0, a < b \\ f^{(-1)}(f(a) - f(b)), a \leq b \end{cases}.$$

δ -композиция

$\mathbf{R} = [r_{ij}]_{n \times m}$ — нечеткая матрица,

$\mathbf{b} = (b_1, b_2, \dots, b_m)$ — нечеткий вектор.

$$\mathbf{R}\delta\mathbf{b} = \mathbf{S} = [s_{ij}]_{m \times n}$$

$$s_{ij} = \left(\bigwedge_{k=1}^n (r_{ik} \phi b_k) \right) \beta (r_{ij} \varepsilon b_j).$$

Множество решений уравнения (1) определяется из условия

$$\bigvee \phi(\mathbf{Pm}^T \delta \mathbf{P}^g) \leq \mathbf{uk} \leq \mathbf{Pm}^T \hat{\phi} \mathbf{P}^g,$$

$$\bigvee \phi(\mathbf{Pm}^T \delta \mathbf{P}^g) \in \Phi(\mathbf{Pm}^T \delta \mathbf{P}^g),$$

где $\mathbf{Pm}^T \hat{\phi} \mathbf{P}^g$ — верхняя граница решения уравнения (1), $\bigvee \phi(\mathbf{Pm}^T \delta \mathbf{P}^g)$ — множество нижних границ уравнения (1).

С учетом введенных обозначений алгоритм поиска альтернативных решений может быть представлен в виде следующей последовательности этапов (рис.4).

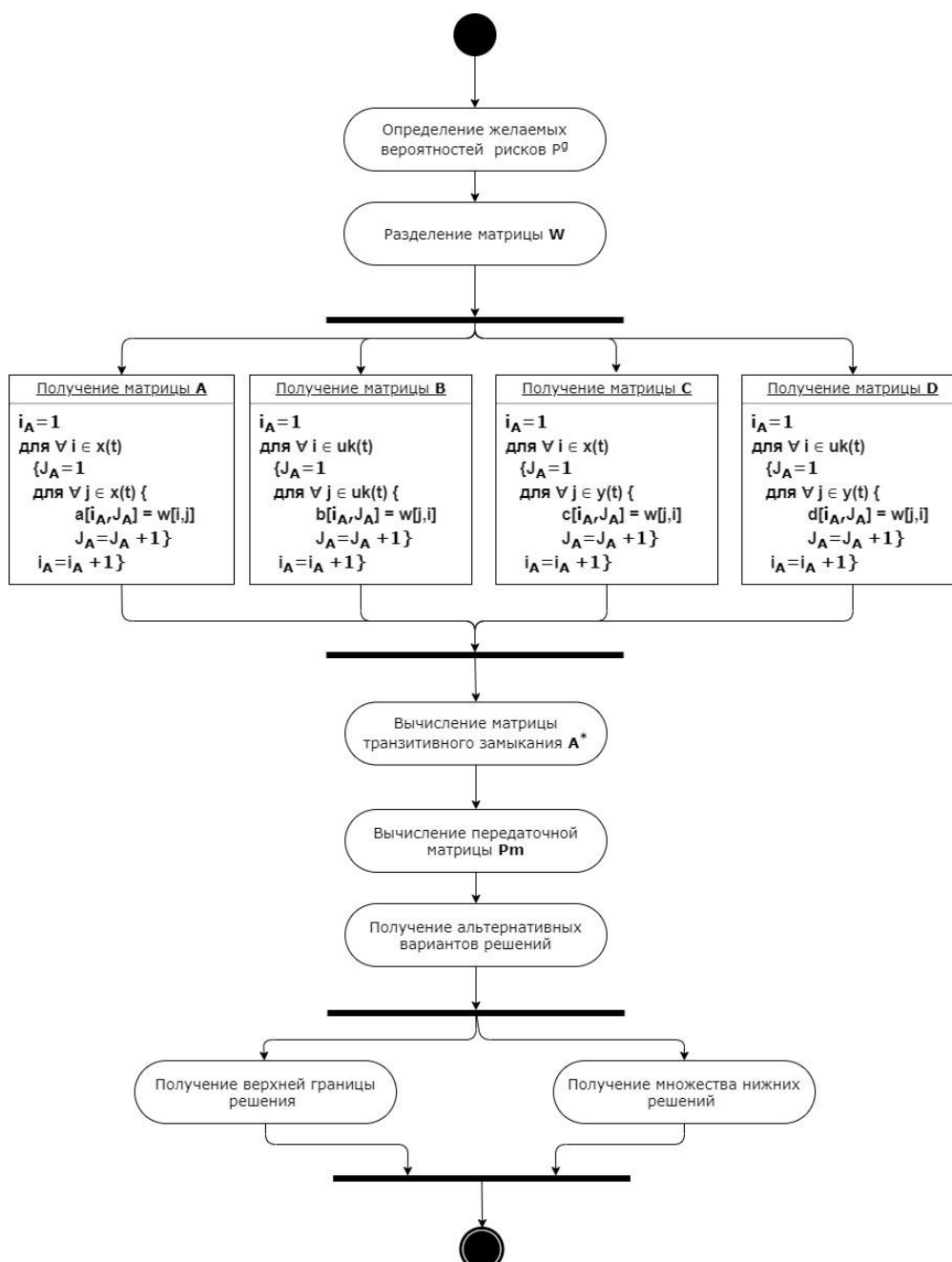


Рисунок 4 — Алгоритм поиска возможных альтернативных решений

На **первом шаге** выполняется определение значений вектора целей \mathbf{P}^g , в рассматриваемом случае вектор целей содержит желаемые значения вероятностей рисков проекта. На **втором шаге** выполняется разделение матрицы \mathbf{W} и получение матриц \mathbf{A} , \mathbf{C} , \mathbf{B} . На **третьем шаге** вычисляется матрица транзитивного замыкания \mathbf{A}^* . На **четвертом шаге** вычисляется передаточная матрица \mathbf{Pm} . На пятом шаге алгоритма вычисляются верхняя граница решения $\mathbf{uk} = \mathbf{Pm}^T \hat{\phi} \mathbf{P}^g$ и множество нижних решений $\vee \varphi(\mathbf{Pm}^T \delta \mathbf{P}^g)$.

Нечеткая когнитивная модель поддержки принятия решений при реализации плановых мероприятий по реагированию на проявление критичных рискообразующих факторов позволяет риск-менеджеру проекта рассматривать рискообразующие факторы в динамике, с учетом их возможных взаимосвязей и выделять из общего

списка факторы, воздействие на которые приведет к желаемому изменению уровня риска проекта.

В третьей главе приведены описание методики и программного обеспечения поддержки принятия решений при оценке рискообразующих факторов этапов жизненного цикла программного продукта, результаты апробации методики, предложенных моделей, алгоритмов и программного комплекса.

Предложенные в работе модель и алгоритм оценки рейтинга рискообразующих факторов реализованы в виде программного комплекса «Программный комплекс формализованного описания рискообразующих факторов с применением алгоритмов нечеткой логики» (рис. 5):

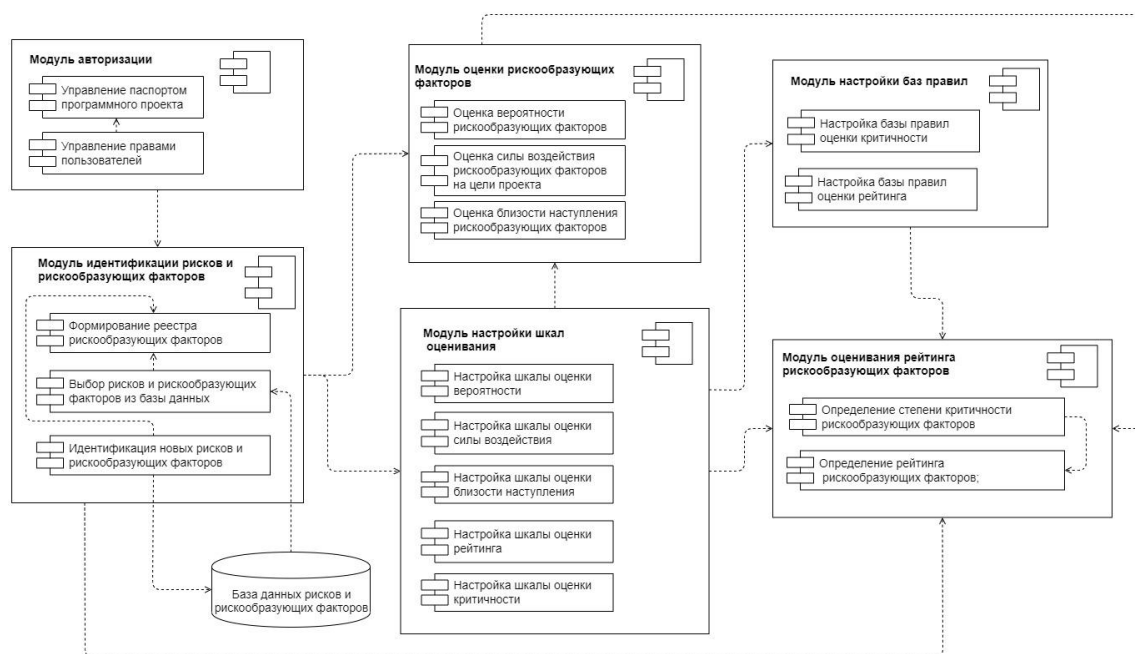


Рисунок 5 — Диаграмма компонентов программного комплекса

Программный комплекс выполнен на языке C# в виде десктопного приложения и зарегистрирован в Реестре программ для ЭВМ (свидетельство № 2017664236 от 19.12.2017 г.) и отличается от известных наличием базы данных рисков и рискообразующих факторов, специфичных для этапов жизненного цикла программных продуктов и предоставлением сервисов, позволяющих получить риск-менеджеру количественные оценки рисков и рискообразующих факторов. Далее в работе описана методика использования программного комплекса, представленная в виде совокупности UML-диаграмм прецедентов, последовательности и действий

Экспериментальные исследования результатов работ были проведены на примере оценки рисков и рискообразующих факторов в лаборатории ТУСУРа «Центр веб-технологий и информационных ресурсов» при управлении рисками на этапах проведения рекламной компании и при заключении контракта по оказанию услуги на адаптацию и внедрение ПП «Сервис ведения электронного расписания FlipTable» и в ООО Паравеб при разработке и внедрении web-портала высоконагруженного интернет-магазина.

Апробация на примере управления рисками при разработке и внедрении web-портала высоконагруженного интернет-магазина

ООО «Паравеб» предоставляет услуги по разработке и внедрению интернет-приложений. Специфика работы компании такова, что небольшими командами разработчиков организации в короткие сроки создается программный продукт, который должен удовлетворять функциональным и нефункциональным требованиям заказчика. При планировании работ по проекту руководителем компании (далее ЛПР) были выделены следующие этапы жизненного цикла разработки web-портала: анализ предметной области и проектирование; прототипирование; разработка визуальной части; разработка основной программно-аппаратной части; тестирование; внедрение.

В качестве рисков при разработке были определены четыре типа возможных негативных событий, которые могут возникнуть на каждом из этапов разработки: 1) срыв плановых сроков разработки; 2) увеличение бюджета проекта; 3) критические отклонения при реализации функциональных требований; 5) критические отклонения при реализации требований к качеству. В процессе идентификации было сформулировано 19 рискообразующих факторов. На этапе анализа были выделены следующие факторы с высоким рейтингом: у руководителя проекта отсутствует видение системы в целом (z_1); отсутствие четкой формулировки требований со стороны заказчика (z_2); несовместимость ПП с программно-аппаратной инфраструктурой заказчика (z_3); руководитель проекта не уделяет проектированию и созданию прототипа должного значения (z_4); заказчик не принимает участие в реализации проекта (z_5); отсутствует, либо не работает система контроля версий (z_6); недостаточное владение членами команды проекта технологиями разработки (z_7); не используются инструменты отладки кода (z_8); отсутствие комментариев в коде (z_9); модификация ядра системы (z_{10}); использование прямых запросов к базе данных (z_{11}); реализация программного кода выполняется вне компонентов платформы разработки (z_{12}); ошибки в настройке собственных компонентов (z_{13}); не оптимальное использование возможностей API (z_{15}); дефицит трудовых ресурсов команды проекта (z_{16}). При этом на риск превышения сроков проекта влияют 8 факторов, на риск увеличения бюджета проекта — 4 фактора, на риск критического отклонения по функциональным требованиям к ПП — 2 фактора, на риск критических отклонений по требованиям к качеству ПП — 7 факторов. Согласно стандартам управления рисками такие факторы должны быть отнесены к группе факторов немедленного реагирования.

С целью снижения влияния рискообразующих факторов на успешность проекта, для каждого фактора был предложен перечень мероприятий, реализация которых, по мнению ЛПР, приведет к уменьшению вероятности их проявления и проведена прогнозная оценка изменения вероятности фактора в случае их выполнения (табл. 4).

Таблица 4 — Прогнозная оценка возможного снижения вероятности проявления факторов

Фактор	Мероприятие	Оценка снижения вероятности фактора
z_6	На протяжении всех этапов разработки ПП необходимо отслеживать работоспособность системы контроля версий..	-1
z_5	Включить представителя заказчика в состав проектной группы. Привлекать представителей заказчиков к выполнению работ на этапах прототипирования, разработки визуальной части и тестирования.	-1

В результате реализации **шага 5** алгоритма были получено верхнее решение задачи в виде вектора $\mathbf{uk} = (0,9 \ 1 \ 0,9 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 0,9 \ 0,9 \ 1 \ 1)$. Диапазон от 0,8 до 1 говорит о том, что снижения уровня идентифицированных рисков можно добиться, полностью исключив проявления следующих рискообразующих факторов: руководитель проекта не уделяет проектированию и созданию прототипа должного значения (z_4); отсутствует либо не работает система контроля версий (z_6); не используются инструменты отладки кода (z_8); отсутствие комментариев в коде (z_9); модификация ядра системы; (z_{10}). В полученном решении этим рискообразующим факторам соответствуют единичные значения. Для реагирования на остальные рискообразующие факторы (z_1, z_5, z_{11}, z_{12}) должны быть запланированы мероприятия, практически полностью их нейтрализующие.

По мнению ЛПР, для выполнения плана мероприятий по реагированию на все управляемые рискообразующие факторы у команды разработчиков может не хватить ресурсов, как финансовых, так и трудовых, такой план сложно контролировать, поэтому для возможного снижения затрат без потери качества снижения уровня риска целесообразно получить и проанализировать нижние границы решения. В данном случае было найдено два нижних решения:

$$\mathbf{uk}_1 = (0,9 \ 0 \ 0,9 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0,9 \ 0 \ 0),$$

$$\mathbf{uk}_2 = (0,9 \ 0 \ 0,9 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0,9 \ 0 \ 0 \ 0)$$

На основании нижних решений можно сделать вывод о том, что в текущем интервале реализации проекта можно включать в план мероприятий U^* мероприятия только по нейтрализации факторов z_1, z_5, z_{12} (согласно решению \mathbf{uk}_1), либо z_1, z_5, z_{11} (согласно решению \mathbf{uk}_2).

Таким образом, в процессе разработки web-портала высоконагруженного интернет-магазина для нейтрализации критических рискообразующих факторов было рекомендовано выполнение следующих мероприятий: реализация прототипа портала в кратчайшие сроки, переговоры со стороной клиента с целью назначения с их стороны ответственного сотрудника, готового своевременно отвечать на вопросы разработчиков ПП, участвовать в «летучках», предоставлять специфические сведения о предметной области, если это понадобится, разработать внутренний документ, который будет регламентировать процесс написания кода и применения инструментов проверки кода. Эти мероприятия были включены в календарный план работ.

В **приложении** к работе приведены: список рискообразующих факторов, с описанием, выполненным по схеме «условия возникновения → последствия проявления → влияние на результат»; результаты сравнения разработанного программного комплекса с существующими аналогами, ценовая политика которых подходит для IT-компаний, являющихся представителями малого и среднего бизнеса; ERD-модель программного комплекса; когнитивная матрица, построенная при проведении апробации предлагаемой нечеткой когнитивной модели.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

В результате выполнения диссертационной работы были получены следующие теоретические и практические результаты работы.

1. Проведен анализ текущего состояния области исследования, по результатам которого выявлены проблемы, связанные с управлением рисками проектов в целом: рекомендательный характер описания этапов управления рисками в регламентирующих документах и признанных мировым сообществом методологиях управления проектами, отсутствие четкого разграничения понятий «риск» и «рискообразующий фактор»; и с управлением рисками на всех этапах жизненного цикла программных продуктов в частности: отсутствие единой классификации рисков и рискообразующих факторов, информации о рисках, специфичных для IT-бизнеса в базах данных существующих на рынке программных продуктов по управлению рисками.

2. В результате анализа литературы по управлению рисками выявлена логическая взаимосвязь понятий «цель проекта» и «риск проекта». Целью разработки программного продукта, как результата завершенного проекта, в соответствии с модификацией правила «железного треугольника», является реализация в нормативные сроки и без превышения планового бюджета программного продукта с заданными функциональными требованиями (содержание проекта). Это утверждение позволило сформулировать новые понятия рисков программного продукта: срыв плановых сроков разработки программного продукта; превышение стоимости (бюджета) разработки; критические отклонения по составу и содержанию функциональных требований; критические отклонения по выполнению нефункциональных требований (по показателям качества проекта).

3. Предложен оригинальный классификатор внутренних рискообразующих факторов, основанный на элементах универсальной модели деятельности, обеспечивающий систематизацию процесса управления рисками: «предмет деятельности — программный продукт, субъект деятельности — команда проекта, средства деятельности — инструментальные средства разработки программного продукта, технологии деятельности — технологии управления процессами разработки программного продукта».

4. На основании анализа существующих стандартов и методик управления рисками предложен оригинальный комплекс семантических моделей, описывающий технологию поддержки принятия решений при управлении рисками, показывающий место предложенных нечетких моделей в процессе управления рисками и позво-

ляющий выделить основные сущности процесса, используемые в дальнейшем при проектировании концептуальной модели структурных элементов разработанного программного комплекса.

5. Разработана оригинальная нечеткая модель расчета рейтинга рискообразующих факторов, отличающаяся от известных формализацией процесса вычисления рейтинга (ранга), основанного на нечетких описаниях оценок близости наступления и степени критичности факторов и позволяющая лицу принимающему решение получать числовое выражение рейтинга рискообразующих факторов, ранжировать их по степени критичности влияния на цели проекта, выделяя факторы, требующие немедленного реагирования.

6. Впервые предложена оригинальная нечеткая когнитивная модель поддержки принятия решений по реагированию на проявление критичных рискообразующих факторов, позволяющая лицу принимающему решение учитывать существующие взаимосвязи рисков и рискообразующих факторов и формировать альтернативные варианты плана мероприятий по реагированию на их возможные проявления с учетом выявленного взаимовлияния.

7. На основании предложенных моделей и алгоритмов разработан программный комплекс для ЭВМ «Программный комплекс формализованного описания рискообразующих факторов с применением алгоритмов нечеткой логики». Программный комплекс выполнен на языке C# в виде десктопного приложения и зарегистрирован в Реестре программ для ЭВМ (свидетельство № 2017664236 от 19.12.2017 г.).

8. Полученные научные результаты внедрены и используются в Томских ИТ-компаниях ООО «Паравеб» и ООО «МагДевелопмент»; в лаборатории ТУСУРа «Центр веб-технологий и информационных ресурсов»; в учебном процессе кафедры автоматизации обработки информации (АОИ) ТУСУРа; при выполнении НИОКР ТУСУРа № 3653 на 2015-2016 гг.. — номер государственной регистрации АААА-А15-115120910054-7 — «Модели, алгоритмы и программное обеспечение поддержки принятия решений по управлению рисками в социально-экономических и производственно-технологических системах».

9. Использование методики, моделей, алгоритмов и разработанный программный комплекс позволяют риск-менеджерам при управлении рисками программных проектов отбирать из базы данных множество возможных рискообразующих факторов с учетом особенностей предметной области; получать числовое выражение рейтинга рискообразующих факторов, основанное на качественных оценках близости наступления и критичности факторов; ранжировать их по степени критичности влияния на сроки оказания услуги, выделять факторы, требующие особого внимания, формировать множество альтернативных решений по формированию планов мероприятий, направленных на снижение влияния значимых рискообразующих факторов.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

В рецензируемых журналах из списка ВАК

1. **Пермякова, Н.В.** Алгоритмическое обеспечение поддержки принятия решений по управлению рисками программных проектов / Ю.П. Ехлаков, Н.В. Пермякова // Научный вестник Новосибирского государственного технического университета. — 2014. — № 2 (55). — С. 122 — 131.

2. **Пермякова, Н.В.** Нечеткая модель оценки рисков продвижения программных продуктов / Ю.П. Ехлаков, Н.В. Пермякова // Бизнес-информатика. — 2014. — № 3 (29). — С. 69 — 78.

3. Ехлаков, Ю.П. Нечеткая когнитивная модель поддержки принятия решений на этапе мониторинга и управления рисками программных проектов / Ю.П. Ехлаков, **Н.В. Пермякова** // Доклады ТУСУРа. — 2019. — № 2(22). — С. 96 — 104.

Регистрация программ для ЭВМ и баз данных

Свидетельство о регистрации программ для ЭВМ № 2017664236 от 19.12.2017 г. «Программный комплекс формализованного описания рискообразующих факторов с применением алгоритмов нечеткой логики»

Коллективная монография

1. Ехлаков Ю.П., Бараксанов Д.Н., **Пермякова Н.В.** Модели и алгоритмы поддержки принятия решений при продвижении на промышленные рынки прикладных программных продуктов: монография. / Ю.П. Ехлаков, Д.Н. Бараксанов, Н.В. Пермякова, — Томск: Изд-во Томск. гос. ун-та систем управления и радиоэлектроники, 2015 — 128 с. — ISBN: 978-5-86889-722-1.

Статьи и труды научно-практических конференций сборников

1. **Пермякова, Н.** Методика нечеткого описания рискообразующих факторов программного проекта / Ю. Ехлаков, Н. Пермякова // РИСК: Ресурсы, информация, снабжение, конкуренция. — 2016. — № 1. — С. 218 — 223.

2. **Пермякова, Н.В.** Подходы к управлению рисками в системах автоматического управления/ В.А. Онуфриев, Н.В. Пермякова // Электронные средства и системы управления: материалы XI Междунар. науч.- практ. конф., 25 — 27 ноября 2015 г. — Томск: Изд-во Томск. гос. ун-та систем управления и радиоэлектроники, 2015. — С. 221 — 225.

3. **Пермякова, Н.В.** Когнитивное моделирование в управлении рисками программных проектов / П.И. Усачева, В.О. Реннер, Н.В. Пермякова // Электронные средства и системы управления: материалы XII Междунар. науч.- практ. конф., 16 — 18 ноября 2016 г. — Томск: Изд-во Томск. гос. ун-та систем управления и радиоэлектроники, 2016. — С. 108 — 110.

4. **Пермякова, Н.В.** Нечеткая модель оценки рейтинга рискообра-зующих факторов программного проекта / Ю.П. Ехлаков, Н.В. Пермякова // Актуальные проблемы электронного приборостроения (АПЭП-2016): материалы XIII Междунар. науч.-технич. конф., 3 — 6 октября 2016 г. — Новосибирск: Изд-во Новосиб. гос. технического ун-та, 2016. — Т.8 — С. 67 — 71.

5. Ехлаков, Ю.П. Риски и рискообразующие факторы при внедрении и адаптации коробочного продукта. / Ю.П. Ехлаков, **Н.В. Пермякова** // Электронные средства и системы управления: материалы X Междунар. науч.- практ. конф., 28 — 30 ноября 2018 г. — Томск: Изд-во Томск. гос. ун-та систем управления и радиоэлектроники, 2018. — С. 257 — 262.