

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Ижевский Государственный технический университет имени М.Т. Калашникова»

На правах рукописи

**Переведенцев Денис Алексеевич**

**РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ И АЛГОРИТМОВ ПОДДЕРЖКИ  
ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ НАУКОЕМКИХ ПРОЕКТОВ  
СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка информации  
(в науке и технике)

Диссертация на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Научный руководитель:  
кандидат технических наук, доцент  
Благодатский Григорий Александрович

Ижевск – 2019

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
ГЛАВА 1. СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ ПРИ РАЗРАБОТКЕ И РЕАЛИЗАЦИИ НАУКОЕМКИХ ПРОЕКТОВ.....	15
1.1 Анализ проблем проектирования технических систем.....	15
1.2 Понятие наукоемкого проекта разработки технической системы.....	19
1.3 Анализ подходов к формализации и разработке компьютерных систем поддержки научно-технических проектов.....	23
1.4 Онтология как модель предметной области наукоемкого проекта разработки технической системы .....	27
Выводы по главе 1.....	31
ГЛАВА 2. РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ФОРМАЛИЗАЦИИ НАУКОЕМКИХ ПРОЕКТОВ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ.....	33
2.1 Формулирование методики формализации проекта на основе онтологии.....	33
2.2 Математическое моделирование системных связей наукоемкого проекта.....	36
2.3 Разработка алгоритма отбора наукоемких проектов по интегральной характеристике.....	44
Выводы по главе 2.....	50
ГЛАВА 3. РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ И АЛГОРИТМОВ АНАЛИЗА ДАННЫХ НАУКОЕМКИХ ПРОЕКТОВ.....	51
3.1 Методика проектирования системы поддержки принятия решений на основе модели онтологии предметной области.....	51
3.2 Моделирование системных связей научно-технической системы.....	55
3.3 Разработка алгоритмов анализа данных наукоемких проектов.....	62
3.4 Разработка методики проектирования базы знаний СППР .....	66
3.5 Разработка интеллектуального алгоритма обучения и оптимизации правил базы знаний для отбора проектов по интегральной характеристике.....	70
Выводы по главе 3.....	76

ГЛАВА 4 РЕАЛИЗАЦИЯ МЕТОДИК И АЛГОРИТМОВ НА ПРИМЕРЕ РАЗРАБОТКИ ЭКСПЕРТНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ НАКОЕЖКИМИ ПРОЕКТАМИ.....	78
4.1 Анализ предметной области и формулирование требований к СППР.....	78
4.2 Выбор экспертов и разработка модели онтологии предметной области.....	80
4.3 Разработка алгоритмов оценки и отбора наукоемких проектов.....	85
4.4 Разработка методики автоматизированной обработки данных.....	101
4.5 Разработка базы знаний ИАС «UNIProject».....	115
4.6 Расчет эффективности обработки данных в ИАС «UNIProject».....	122
4.7 Разработка интеллектуального алгоритма оптимизации правил базы знаний ИАС «UNIProject».....	125
4.8 Пример анализа проектов разработки сложных технических систем и поддержки принятия решений в ИАС «UNIProject».....	132
Выводы по главе 4.....	145
ГЛАВА 5 ПРИМЕР РАЗРАБОТКИ АЛГОРИТМОВ АНАЛИЗА НАУКОЕЖКИХ ПРОЕКТОВ В РЕЖИМЕ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ.....	147
5.1 Описание предметной области и формулирование требований к алгоритмам обработки данных .....	147
5.2 Выбор экспертов и разработка модели онтологии предметной области.....	148
5.3 Формализация системных связей наукоемких проектов.....	155
5.4 Разработка алгоритмов обработки и анализа данных.....	159
5.5 Разработка алгоритма оптимизации правил базы экспертных рекомендаций.....	165
5.6 Пример анализа наукоемких проектов разработки сложных технических систем и принятия решения.....	168
Выводы по главе 5.....	171
ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ.....	172
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ.....	175
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	176
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	194

## ВВЕДЕНИЕ

### **Актуальность темы исследования.**

Поддержка принятия решений при разработке и реализации наукоемких проектов сложных технических систем характеризуется высокой сложностью информационной и логической декомпозиции, представления подсистем и отдельных элементов, а также наличием больших объемов данных и интенсивностью информационных потоков. В связи с этим сегодня предъявляются высокие требования к скорости сбора, качеству обработки данных и процессам получения оперативной информации, поскольку от этого зависит эффективность реализации проектов сложных технических систем и внедрения перспективных научных разработок.

Часто этапу реализации проекта предшествует не менее трудоемкая процедура сравнения множества его альтернатив или вариантов реализации, число которых в отдельных случаях может быть десятки и сотни, поэтому необходим учет множества разнородных характеристик и комплексный подход к оценке перспективности и реализуемости наукоемких проектов, предполагая, таким образом, решение задачи многокритериального выбора.

В заданных условиях существующие методические рекомендации и результаты научных трудов отечественных и зарубежных ученых становятся практически неприменимыми к данной предметной области. Требуется детальная разработка теоретических и практических положений по повышению эффективности анализа и оценки перспективности наукоемких проектов на основе специальных информационных технологий. В свою очередь создание проблемно-ориентированной информационной системы требует разработки концептуальной модели предметной области. Сегодня наиболее эффективным решением данной задачи является системный подход, являясь специальной научно-методологической концепцией исследования сложных систем, данный подход позволяет посредством системного анализа и синтеза выявить и описать функциональные связи и характеристики элементов, гармонично объединяемых в более крупные объекты.

Главной задачей разработки систем поддержки принятия решений в рамках научной информационно-технической системы является формирование специализированных баз данных, разработка аналитического и программно-технического инструментария с учетом предметных областей их использования и современных методов обработки информации, способствуя повышению эффективности управления проектами разработки сложных технических систем. В этой связи многомерный анализ данных и алгоритмы машинного обучения являются необходимыми аналитическими компонентами автоматизированной компьютерной системы поддержки наукоемких проектов.

### **Степень разработанности темы исследования.**

В трудах ученых освещаются отдельные вопросы, касающиеся методических основ реализации и внедрения инноваций и научных разработок, в частности: исследование возможностей автоматизации отдельных процессов, принципов информационной поддержки работы с интеллектуальной собственностью, разработка критериев и алгоритмов оценки различного рода проектов, информационная и техническая поддержка отдельных этапов проектной деятельности и др.

Фундаментальный вклад в становление методологической основы разработки и сопровождения программных автоматизированных комплексов с использованием онтологий, предназначенных для решения задач моделирования сложных систем, внесли выдающиеся отечественные и зарубежные ученые: Охтилев М.Ю., Соколов Б.В. и Юсупов Р.М. [134], Соколов Б.В. [138], Поспелов Д.А. [139], Грубер Т.Р. [140], Гуарино Н.. [141], Ниренбург С. и Раскин В. [142], Финин Т., Майфилд Дж., Грозоф В.. [143], Штааб С. и Штудер Р. [144], развившие базовые элементы таких научных направлений, как онтологии, базы знаний, теория автоматов, теория алгоритмов, теория искусственного интеллекта, математическая логика, теория программирования (Computer Science), теория статистических выводов и решений, теория формальных языков и др.

Существенный вклад в развитие теории и методологии управления проектами внесли российские ученые и специалисты Андрейчиков А.В. [1],

Шишкин Г.Б. [2], Сидоров В.В. [3], Купряжкин Н.А. [4], Новикова О.Н. [5], Никитин А.А. [6] и Войнилович И.В. [7].

Применение системного подхода к поддержке принятия решений, в том числе в условиях нечеткой информации в общей теории систем, посвящены работы известных отечественных исследователей, таких как Петров Б.Н. [8], Моисеев Н.Н. [9], Флеров Ю.А. [10], Емельянов С.В. [11], Мелихов А.Н. [12], Ульянов С.В. [13].

Проблемам разработки систем управления проектами в различных областях деятельности посвящены работы Гамидовой Г.Г. [14], Репецкой Н.В. [15], Ермолаева Е.Е. [16], Зарницыной К.В. [17], Чжан Юйхуа [18], Багрий А.Н. [19], Мочалова А.В. [20], Соловьева Д.А. [21], Стрельцина Я.С. [22].

Разработкой подходов и методов к формированию критериев и многокритериальной оценке проектов также занимались многие ученые, среди них: Кирина Л.В. [23], Азизов Ш.М. [24], Шульпин А.Б. [25], Юрковская Г.И. [26], Репецкая Н.В. [15], Жарков И. С. [27], Багрий А.Н. [19], Пашенко Д.С. [28], Гильманова Р.И. [29], Литке М.Г. [30].

Если решение вопросов разработки и внедрения информационных процедур и баз данных в научно-технической сфере получили в научной литературе достаточно полное освещение, то вопросы разработки систем поддержки принятия решений и интеграции интеллектуальных компьютерных технологий в проектную деятельность наукоориентированных предприятий исследованы недостаточно.

#### **Область исследования.**

Содержание диссертации соответствует следующим пунктам паспорта научной специальности 05.13.01 «Системный анализ, управление и обработка информации (по отраслям)» ВАК РФ: «4. Разработка методов и алгоритмов решения задач системного анализа, оптимизации, управления, принятия решений и обработки информации», «6. Методы идентификации систем управления на основе ретроспективной, текущей и экспертной информации», «9. Разработка проблемно-ориентированных систем управления, принятия решений и

оптимизации технических объектов», «10. Методы и алгоритмы интеллектуальной поддержки при принятии управленческих решений в технических системах».

**Объектом исследования** являются данные наукоемких проектов разработки сложных технических систем.

**Предмет исследования:** принципы, методы и алгоритмы обработки информации и принятия управленческих решений в процессе реализации наукоемких проектов разработки сложных технических систем.

**Цель диссертационного исследования** заключается в разработке методики и алгоритмов, способствующих повышению обоснованности и эффективности принимаемых решений при реализации наукоемких проектов создания сложных технических систем на основе технологий многомерного и интеллектуального анализа данных.

Для достижения поставленной цели необходимо последовательное решение следующих **задач:**

1. Разработать методику формализации знаний о системной структуре и процессах развития наукоемкого проекта разработки сложной технической системы.

2. Получить знание о системных связях элементов наукоемкого проекта по разработке сложной технической системы и разработать методику многопараметрической оценки его состояния.

3. Провести анализ условий принятия решений при реализации наукоемких проектов по разработке сложных технических систем и формализовать данные условия в форме продукционных моделей специальной базы знаний.

4. Используя разработанные модели и алгоритмы, осуществить программную реализацию совокупности аналитических и интеллектуальных модулей в составе информационно-аналитической системы.

Диссертация содержит следующую **научную новизну:**

1) разработана методика формализации системной структуры наукоемкого проекта в слабоструктурированных предметных областях путем построения

концептуально-содержательной модели онтологии на основе профессиональных знаний и опыта экспертов;

2) впервые разработаны методика и математические алгоритмы формализации функциональных связей наукоемких проектов, которые позволяют получить интегральную оценку проекта, построить многомерную модель его данных, а также проводить многокритериальный отбор наукоемких проектов по разработке сложных технических систем;

3) разработана методика проектирования структуры и алгоритмов базы знаний для автоматического формирования рекомендаций по работе с наукоемкими проектами, основанная на формализации знаний эксперта предметной области, а также алгоритм автоматизированного обучения и оптимизации правил этой базы с использованием метода машинного обучения дерева решений (CART);

4) представлена методика проектирования программной архитектуры систем поддержки принятия решений, позволяющая как в рамках монолитных приложений, так и онлайн-платформ реального времени, объединить в единое информационное пространство подсистемы сбора и обработки данных проектов сложных технических систем, инструменты многомерного анализа и модуль экспертных рекомендаций.

**Теоретическая значимость диссертационного исследования заключается в:**

– в развитии подходов системного анализа к решению информационно-технических задач учета и оценки влияния большого количества параметров наукоемкого проекта на успешность его реализации;

– в расширении информационно-технологической базы, предназначенной для поддержки принятия решений при планировании и реализации наукоемких проектов;

– в разработке и применении новых моделей и алгоритмов оценки научного потенциала и реализуемости наукоемких проектов разработки сложных технических систем, а также автоматизации процедур принятия решений.

### **Практическая полезность работы.**

Теоретические выводы и результаты исследования могут использоваться на практике в виде системы поддержки принятия решений, позволяющей извлекать знания из больших массивов накапливаемой в базах данных слабоструктурированной информации в целях поиска путей эффективной реализации, продвижения и внедрения научных результатов и разработок.

Предложенная модель управления данными о результатах научных исследований и разработок и их обработки на основе современных информационных технологий позволяет повысить оперативность анализа данных об имеющихся научных исследованиях и автоматизировать учет полученных результатов научных разработок, а также сократить время на организацию новых проектов и научных коллективов.

Информационно-аналитическая система (ИАС) позволяет проводить комплексный анализ баз данных и способствует решению следующих задач: 1) оценка научного потенциала и реализуемости научных идей и разработок; 2) оценка возможности привлечения различных ресурсов на всех этапах проведения исследований и реализации наукоемких проектов; 3) организация эффективного управления наукоемким проектом, начиная со стадии идеи или получения заказа, организации коллектива и заканчивая получением результатов и подготовкой отчета.

Даны практические рекомендации по использованию разработанной экспертной системы, предложена и описана последовательность и содержание этапов подготовки и анализа информации. На основании теоретических расчетов и экспериментальной проверки предложенных алгоритмов показана эффективность применения технологий многомерного анализа и машинного обучения для мониторинга и анализа наукоемких проектов.

Применение результатов диссертационного исследования способствует решению важной научно-практической задачи: развитию информационно-технического аспекта инновационной инфраструктуры отечественных предприятий и развитию отношений государство – вуз – предприятие за счет

эффективного отбора и реализации наиболее перспективных научных и инновационных проектов, что соответствует приоритетным направлениям развития науки, технологий и техники в Российской Федерации (Указ Президента РФ № 899 от 07.07.2011 г.) и «Стратегии инновационного развития Российской Федерации на период до 2020 года (Распоряжение Правительства РФ № 2227 от 8.12.2011 г.).

Изложенные в диссертации выводы и рекомендации носят практический характер и могут быть применены в проектной деятельности промышленных предприятий и научных учреждений.

#### **Теоретико-методологическая основа исследования.**

Диссертационная работа основана на фундаментальных и прикладных исследованиях отечественных и зарубежных авторов в следующих областях: управление проектами создания технических системах, повышение эффективности методов ведения научных разработок и оценки их результатов, организация и управление проектной деятельностью, развитие инновационной деятельности предприятий, а также разработка информационных и аналитических систем поддержки принятия решений.

**Информационно-эмпирическую базу исследования** составили сведения и данные из публикаций отечественных и зарубежных исследователей и специалистов, материалы научно-практических конференций по проблемам управления процессами ведения научных разработок и создания систем поддержки принятия решений в научно-технической деятельности предприятий и государственных учреждений, материалы сети Internet, а также результаты экспертных оценок.

#### **Методы исследования.**

Задачи, поставленные в рамках исследования, решались на основе: общей теории систем, методов математического моделирования, методов анализа данных и машинного обучения, нечетких множеств, теории принятия решений, методов объектно-ориентированного анализа и программирования, теории баз данных.

### **Положения, выносимые на защиту:**

1. Методика разработки модели онтологии наукоемких проектов на основе концептуально-содержательного подхода к моделированию экспертных знаний о предметной области проекта, позволяющая формализовать его основные атрибуты и системные связи. Сформирована модель данных сущности «наукоемкий проект», а также описаны процессы реализации наукоемких проектов в рамках научной информационно-технической системы. *(Соответствует п. 6 паспорта специальности).*

2. Методика и математические алгоритмы, отражающие функциональные зависимости параметров наукоемкого проекта. На основе системы нечетного логического вывода разработана комплексная методика оценки наукоемких проектов, представляющая собой оригинальный набор агрегированных критериев и учитывающая коэффициенты влияния отдельных параметров на интегральный показатель степени привлекательности проекта. Описан алгоритм решения задачи многокритериальной оптимизации отбора наукоемких проектов. Построена многомерная модель данных (MD-модель) наукоемкого проекта, на основе MD-модели разработана логическая структура OLAP-кубов для представления и анализа данных. *(Соответствует п. 4 паспорта специальности).*

3. Методика разработки самообучаемой и адаптивной базы знаний для формирования автоматических рекомендаций по работе с наукоемкими проектами разработки сложных технических систем, описывающая условия и порядок принятия управленческого решения. Данная база знаний позволяет оптимизировать и автоматизировать процессы работы с наукоемкими проектами за счет определения принадлежности текущей ситуации к одной из эталонных и формирования промежуточных выводов и итоговых рекомендаций по принятию управленческого решения. Расширение и оптимизация правил БЗ происходит на основе алгоритма машинного обучения дерева решений (CART). *(Соответствует п. 10 паспорта специальности).*

4. Методика проектирования программной архитектуры и компьютерной реализации разработанных моделей в виде алгоритмического обеспечения

системы анализа и обработки информации, включающей серверную часть для ведения базы данных и их обработки, а также системы визуализации информации. Данная ИАС в совокупности с модулем формирования экспертных рекомендаций позволяет повысить обоснованность решений, принимаемых при реализации наукоемких проектов сложных технических систем. (*Соответствует п. 9 паспорта специальности*).

**Достоверность и обоснованность** теоретических выводов и практических результатов, полученных в работе, подтверждается корректным использованием методов исследования, результатами апробирования разработанных алгоритмов на общедоступных данных, публикацией научных трудов, а также сравнительным анализом результатов работы с известными результатами современных исследований и разработок.

#### **Публикация результатов.**

Основные научные результаты по теме диссертации опубликованы в 28 научных работах [31-56, 156, 170] в журналах, сборниках научных трудов и материалов всероссийских и международных конференций, монографии [156], в том числе 9 научных трудов в изданиях, рекомендуемых ВАК для публикации основных результатов диссертаций [31-39]. Получены свидетельства на регистрацию базы данных №2016620179 от 08.02.2016 г. [40] (Приложение Г) и программы для ЭВМ №2016615251 от 19.05.2016 г. [41] (Приложение Д).

В работах [31-35, 43, 45, 48, 51] соискателю принадлежат разработка подходов и принципов информационно-аналитического и технического обеспечения процессов управления наукоемкими проектами. В работах [42-44] соискателю принадлежат результаты исследования направлений развития специальных информационных систем управления научно-техническими проектами. В работах [36-39, 46, 47, 49, 50, 52-55, 56, 156, 170] соискателю принадлежат разработка алгоритмов и методик оценки и отбора наукоемких проектов, а также результаты проектирования информационно-аналитической системы.

Содержание диссертации и основные положения, выносимые на защиту, отражают персональный вклад автора в опубликованные работы.

### **Апробация работы.**

Основные результаты диссертационного исследования докладывались и обсуждались на региональных, всероссийских и международных форумах, научных и научно-практических конференциях и выставках: International Forum «Education Quality-2012», (February 20-22, 2012, Izhevsk), XVI «XVI Республиканская выставка-сессия студенческих инновационных проектов», (г. Ижевск, 2013 г.), XVII Международный форум по проблемам науки, техники и образования «III тысячелетие – новый мир», (г. Москва, 2013 г.), I Всероссийская научно-практическая конференция «Современные информационные технологии. Теория и практика» (г. Череповец 2014 г.), XXXVI заочная научная конференция Research Journal of International Studies (г. Екатеринбург, 2015 г), XX Республиканская выставка-сессия студенческих инновационных проектов», ФГБОУ ВПО «ИжГТУ имени М.Т. Калашникова», г. Ижевск, 2015 г., International Conference "Applied Mathematics, Computational Science and Mechanics: Current Problems" (Воронеж, 17-19 декабря 2018 г.).

Диссертационное исследование поддержано стипендией Президента Российской Федерации для молодых ученых и аспирантов, осуществляющих перспективные научные исследования и разработки по приоритетным направлениям модернизации российской экономики в 2013-2015 гг.

### **Личный вклад автора.**

Автором лично: предложена методика разработки модели онтологии наукоемкого проекта на основе параметров его оценки в целях формализации функциональной структуры проекта; разработаны математические модели и алгоритмы оценки и отбора наукоемких проектов; описаны условия и процедуры многомерного анализа данных и принятия решений; предложены и разработаны алгоритмы реализации и оптимизации баз знаний на основе модели онтологии; разработаны алгоритмы формирования экспертных рекомендаций; описана методика разработки структуры базы данных специальных информационно-аналитических систем на основе онтологии предметной области.

При участии научного руководителя к.т.н., доцента Благодатского Г.А.

выполнен выбор направления, приоритетов и методов исследования, формирование структуры и содержания работы, а также реализован прототип информационно-аналитической системы.

Автор выражает благодарность д.ф.-м.н., профессору Горохову М.М. за помощь в организации научно-исследовательской работы.

### **Структура диссертационной работы.**

Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы, включающего 170 источников, и 7 приложений. Диссертация изложена на 175 страницах основного текста, содержит 38 таблиц и 60 рисунков.

# ГЛАВА 1. СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ ПРИ РАЗРАБОТКЕ И РЕАЛИЗАЦИИ НАУКОЕМКИХ ПРОЕКТОВ

## 1.1 Анализ проблем проектирования сложных технических систем

Специалисты в области общей теории систем и системной инженерии определяют сложные технические системы как упорядоченную совокупность множества подсистем различного вида: динамические объекты, организационно-технические системы, информационно-коммуникационные системы. Соответственно, в этот разряд попадают все системы, в которых реализуется функция целеполагания, предполагающая наличие четкой связи иерархического устройства самой системы и моделей системы, используемых для ее описания. Тем самым определяя признак сложности системы как необходимость ее рассмотрения в контексте конкретной проблемной ситуации и использования приема иерархического упорядочивания элементов в интересах понижения размерности решаемых задач.

Тогда главной задачей системного анализа в указанном направлении исследований является получение модели, предельно адекватной объекту исследования, и описание возможной реакции на внешние воздействия [127].

В этом случае техническую систему, реализующую в качестве целевой функции поддержку принятия решений, можно представить следующей блок-схемой (рисунок 1.1), где ДР – данные руководителя, ДП – данные проекта, АЗ – аналитический запрос, МД – массив данных, МДСО – массив данных о состоянии объекта, ФОД – формат отображения данных, МДР – массив данных с рекомендацией системы, СИСО – сигнал об изменении состояния объекта, ЗД – загрузка данных, СЗ – системный запрос, МодВД – модуль вывода данных, МодУ – модуль учета, МодА – модуль анализа, МодРП – модуль расчета показателей объекта, НД – накопитель данных, МАД – массив аналитических данных, ОСС – обработчик сигналов.



Поэтому управление сложными технологическими процессами крупных проектов остается одним из наиболее актуальных видов автоматизации, в качестве примера можно привести объекты атомной, гидро- и тепловой энергетики, производственных и транспортных систем, ракетно-космических систем и комплексов [128]. В этом случае наукоемкие проекты реализации подобных технических объектов наследует и ряд серьезных задач, обусловленных их спецификой:

- сложность формализация в связи с неполными, нечеткими, разнотипными и даже противоречивыми исходными данными и знаниями об объекте на этапе сбора информации и формирования базы знаний (БЗ);
- необходимость обработки больших объемов информации;
- повышение достоверности и уменьшение избыточности ИИ на этапе ее обработки;
- одновременное обеспечение большого количества потребителей результатами мониторинга состояния сложных технических систем (СТС);
- высокое качество представления конечных результатов мониторинга состояния и управления (МСУ) СТС ввиду высокой стоимости принимаемых на их основе решений по управлению объектом (ОУ) [128].

Анализ проектов создания, запуска СТС [128, 130], позволил сформулировать следующие основные проблемы, приводящие к снижению их эффективности:

- низкая оперативность получения информации о качестве функционирования и надежности системы;
- отсутствие автоматизированных средств систематизации, накопления, хранения сведений о техническом состоянии СТС и входящих в их состав элементов, что практически делает невозможным обобщение и распространение опыта разработки, изготовления и эксплуатации;
- отсутствие в системах управления единых для всех потребителей баз данных и баз знаний обо всех этапах жизненного цикла объекта, что ограничивает оперативный доступ к информации о причинах имеющихся замечаний, отказов и

аварий, эффективности проведенных доработок, направленных на устранения этих причин.

Если критерии оптимальности и методы их поиска для действующих технических систем (электродвигатель, автомобиль, космический корабль, атомная электростанция и др.) очевидны, т.к. цели существования и функционирования этих систем четко заданы, а параметры системы в высокой степени поддаются управлению, и однажды построенные оптимизационные модели дают четко определенную, готовую к использованию, информацию. Тем не менее, подход декомпозиции для анализа СТС не всегда удовлетворяет потребностям знания о наукоемких проектах разработки технических объектов, либо трудно достижим с помощью известных теорий и методов исследования. С развитием мощности современных ЭВМ и алгоритмов искусственного интеллекта становится возможным исследовать и автоматизировать все большее количество сложных систем различного рода. Как правило, такие системы описываются с помощью анализа множества данных в условиях наличия неопределенностей.

Отмеченные обстоятельства требуют применения, например, робастных моделей систем, а также моделей, которые требуют участия эксперта или агента искусственного интеллекта. Более того, для таких систем зачастую невозможно говорить об оптимальности, значит задача оптимизации в классической постановке здесь становится неправомерной [130]. В связи с этим неизбежный путь преодоления возникающих проблем – это всесторонняя автоматизация самого процесса проектирования ИС, а значит, и развитие теории программирования, моделирующей объекты, явления, процессы, имеющиеся при создании программных комплексов [128]. В свою очередь программирование систем поддержки принятия решения на основе моделей объекта предполагает формализацию описание предметной области и границ ее применимости.

Здесь отметим, что под «предметной областью» сегодня принято понимать часть реального мира, рассматриваемого в пределах заданного контекста: области исследования или сферы деятельности [136].

## 1.2 Понятие наукоемкого проекта разработки технической системы

Порядок ведения проектной деятельности и методологические вопросы управления проектами регламентируется на самом высоком уровне, в международных и национальных стандартах, например, в руководстве к своду знаний по управлению проектами – PMBOK [57], руководстве к качеству при управлении проектами – ISO 10006-97 [58] и российских национальных стандартах управления проектами, программами и портфелями проектов в системе ГОСТ Р [59].

Наиболее употребляемые на сегодняшний день понятия "проекта" определяются рамками категорий динамичности, целенаправленности, уникальности, временной, финансовой и ресурсной ограниченности, а также специфической организации. Данные категории являются общими для всех проектов, с целью обособления наукоемких проектов в данном множестве проведем их классификацию.

Классификация наукоемких проектов в рамках автоматизированных компьютерных систем (АКС) является важным аспектом процесса реализации крупных проектов, особенно их совокупностью – портфелем проектов [119], поскольку позволяет стандартизировать терминологию и тем самым сформировать единый взгляд на функциональные связи всех участников системы.

Ряд классификационных оснований является общим для всех проектов, это: масштаб, сроки реализации, сложность, класс, вид, тип, география ведения проекта. Также отметим классификационные признаки, которые используются небольшим числом исследователей, но достаточно точно характеризуют наукоемкие проекты: требования к обеспечению качества, степень известности проблемы, степень новизны, принадлежность к предприятию, уровень организации, формы финансирования, связь со стратегией компании, целевая задача проекта, причина возникновения проекта, практическая цель проекта, отношение к бизнес-процессам компании, специфики предметных областей, тип заказчика, состав участников, уровень и структура разрабатываемых проблем [60]. Результаты анализа вышеуказанных классификаций приведены на рисунке 1.2.

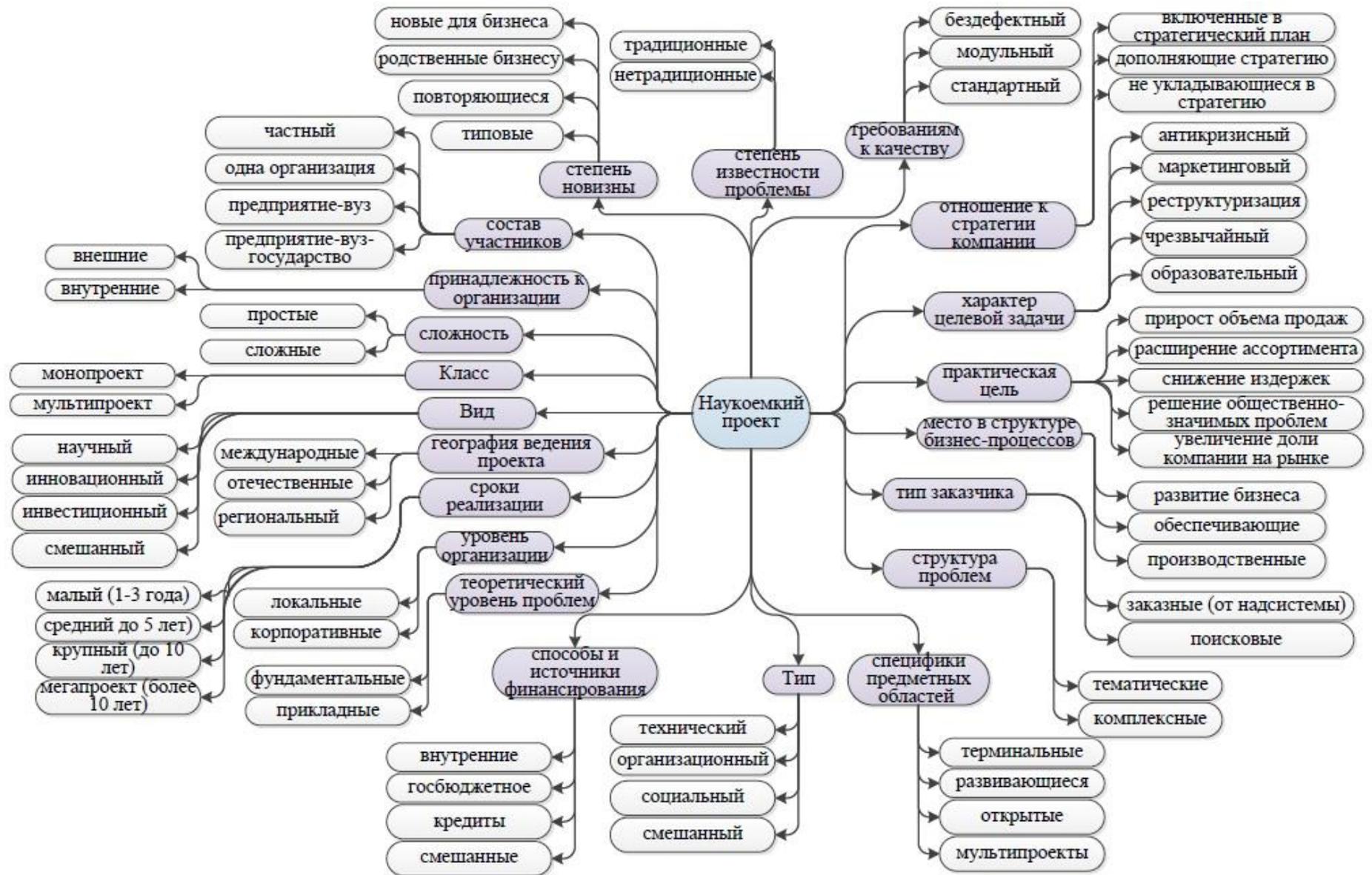


Рисунок 1.2 – Классификация наукоемких проектов

Как видно из схемы, в общей структуре проектов наукоемкий проект определяется, прежде всего, характером целевой направленности и содержанием, являясь системной основой научной и инновационной деятельности, и реализующий эффективный механизм получения и применения новых знаний. Формой получения новых знаний являются фундаментальные и прикладные научные исследования, а их применения реализуется экспериментальными разработками.

Представленная классификация отчетливо демонстрирует многомерность информации, характеризующей наукоемкие проекты, что должно отражаться в методиках их анализа и оценки. Указанное обстоятельство является определяющим при разработке систем информационной поддержки научной и инновационной деятельности предприятий.

Поскольку сегодня понятие «наукоемкий проект» не имеет четких границ, в рамках данного исследования предлагается придерживаться определения, соответствующего положениям теории управления проектами и методологии работы с проектами: это динамичная система с четко обозначенной направленностью развития и специфическим набором взаимосвязей структурных элементов, ресурсов и получаемых результатов. Данный подход подразумевает функционирование науки, техники и производства как единой системы, результатом деятельности которой являются новые знания о способах решения актуальных проблем.

Таким образом, основными особенностями собственно наукоемких проектов являются: целевая направленность, вариабельность результатов, длительные сроки реализации, невозможность точной оценки как результатов реализации проектов, разнородная структура предметных областей, активный информационный обмен между подсистемами, отсутствие аналогичного опыта, четкая специализация участников [61].

Представленные характеристики с точки зрения системного анализа позволяют отнести данные проекты к функциональному элементу сложной системы, определяемой как «деятельность, направленная на планирование, подготовку и реализацию решения различного рода проблем путем получения и

использования новых знаний» [61].

Тогда наукоемкость проекта - это показатель степени связи технологии с научными исследованиями и разработками (ИР), превышающий среднее значение этого показателя технологий в определенной области экономики [120].

Таким образом, с точки зрения системного анализа наукоемкий проект - это сложная система элементов и функциональных связей, решающая конкретные задачи для достижения определенных целей в заданных условиях (рисунок 1.3).

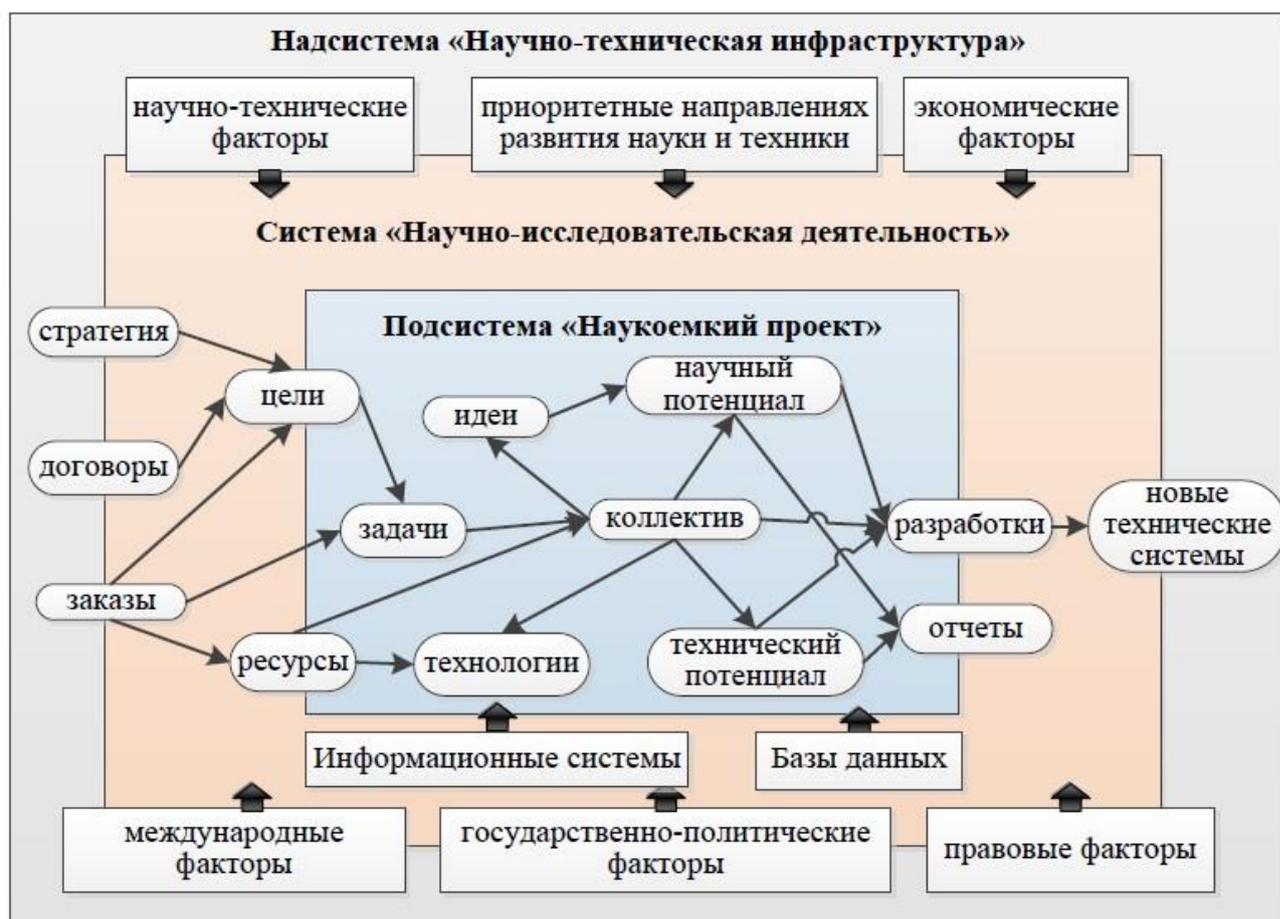


Рисунок 1.3 – Структура информационного окружения наукоемкого проекта

Поскольку проект является открытой системой и характеризуется активным взаимодействием с надсистемой, это подразумевает наличие внешнего управляющего воздействия. С точки зрения теории управления сложными системами содержание процесса «управление проектом» сводится к методологии принятия решений по организации, планированию, мониторингу и координации ресурсов на всех этапах проектного цикла с целью достижения определенных

результатов в условиях стоимостных, временных и качественных требований [83]. В рамках данной теории представлено решение значительной части вопросов разработки механизмов управления сложными системами, определяющей данные проекты как набор свойств и функционирующих элементов, активизируемых активностью участников системы [63, 64-68].

Таким образом, наукоемкий проект имеет сложную совокупность информационных и технических связей, что также подтверждает актуальность разработки специальных АКС для конкретной предметной области. В этом случае под автоматизированной компьютерной системой в рамках данной работы будем понимать «сложную техническую инфраструктуру предприятия и находящиеся в его распоряжении различные виды материальных, социальных, энергетических и информационных ресурсов, характеризующихся наличием единой системообразующей цели и наличием процессов хранения, обработки, передачи и воспроизведения информации» [118].

### **1.3 Анализ подходов к формализации и разработке компьютерных систем поддержки научно-технических проектов**

Высокая информационная нагрузка наукоемких проектов сложных технических объектов препятствует не только эффективному использованию накопленных данных и знаний, но и пониманию характеристик развития самого проекта. Актуальность разработки специальных систем интеллектуальной обработки таких данных подтверждается все новыми исследованиями в данной области.

В частности, в работе [146] предложена автоматическая модель и аналитические подходы к обучению и прогнозированию характеристик проектов, в работе [147] представлен модельный метод классификации новых фактов различных инженерных систем на основе интеллектуального анализа данных оценки параметров данных систем, авторами исследования [148] описан новый подход приобретения знаний для быстрого развития экспертных систем, основанный на использовании лингвистических правил, совместимых с

эвристическими экспертными знаниями.

В работе [149] показана важность абдуктивного подхода к формированию новых знаний, поскольку оно опирается на поиск объяснительных гипотез, которые подтверждаются и обосновываются новыми релевантными фактами, зарегистрированными системой. В рамках данного подхода для обучения интеллектуальных систем показана эффективность алгоритма деревьев принятия решений [150].

Указанные обстоятельства значительно повлияли и на процессы принятия решений, основой которых все чаще являются рекомендательные системы, разрабатываются подходы к формированию экспертных решений с коллаборативной фильтрацией решений, представляющие собой моделирование уверенности в контексте имеющихся неполных данных [151, 152].

Анализ большого количества наукоемких проектов весьма ресурсоемок, поэтому разрабатываются методики формализации знаний и специальные программы автоматизации их оценки и отбора.

В рамках работы [128] предложена сквозная модель проектирования программного обеспечения, основанная на параллельном проектировании как самой операционной среды, максимально учитывающей специфику задач предметной области, так и формирование непосредственно структуры ИС для конкретного объекта управления. Показана необходимость использования современных принципов разработки ПО, базирующихся на существующих и перспективных интеллектуальных информационных технологиях для автоматизированного сбора, интеграции и комплексного анализа всех видов информации, циркулирующей в контуре сложных технических систем.

В работе, посвященной проблеме оптимизации транспортной инфраструктуры региона и формализации сложной технической системы, построена многоуровневая модель с использованием методов векторной оптимизации транспортной сети на базе гиперграфа системы. Показано, что примененный подход предъявляет высокие требования к качеству априорных данных и знаний используемых в процессе моделирования, таким образом,

успешность моделирования сильно зависит от квалификации привлеченных до начала моделирования экспертов, качества и полноты информации и других трудно предопределяемых обстоятельств. Для совершенствования методики показана польза разработки СППР, которая будучи самостоятельным исследовательским инструментом, позволяет ЛПР формализовать данные и генерировать информацию об исследуемой системе. В качестве основы для создания базы данных СППР применен граф транспортной системы. В качестве методической основы – методы теории ситуационного управления [130].

В отсутствии типовых решений и общепризнанных методик по оценке и отбору наукоемких проектов целесообразно рассмотреть наиболее адекватные общетеоретические подходы, научно-прикладные исследования и используемые на практике методы для учета специфики проектов и разработки соответствующего методического инструментария.

Как правило, указанная проблема решается путем привлечения компетентных экспертов из различных сфер деятельности, примером такого подхода является экспертиза научных проектов по приоритетным программам немецкого научно-исследовательского сообщества (DFG) [72]. Данный подход эффективен, но значительно ограничен временем групповой работы экспертов.

Другой наиболее распространенной на сегодня практической методикой оценки научных проектов являются наукометрические показатели, основные: индекс цитирования, индекс Хирша, импакт-фактор журнала. Однако в постановлении ОИФН РАН [73], в рамках проекта разработки закона «О Российской академии наук, реорганизации государственных академий и внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» специалисты РАН констатируют, что использование наукометрических показателей не может служить основой для адекватного определения значимости и качества исследований, выполняемых на предприятиях, поскольку они не учитывают специфику отдельных наук и особых форм представления результатов исследований в этих областях.

Из анализа методов отдельных научных фондов [79, 80] и предприятий [89,

106, 108, 109], освещенных в научной литературе, заметно их акцентирование на определенной стадии реализации научного проекта или сфере их рассмотрения. В частности, разрешению проблемы многокритериального подхода к оценке проектов, посвящено исследование процесса отбора фундаментальных работ Российского фонда фундаментальных исследований (РФФИ) [74, 75]. Данный подход заключается в построении интегрального показателя результативности фундаментальных проектов, что ограничивает ее применение для оценки научных проектов, находящихся на других стадиях реализации.

Когда встает задача сравнения множества объектов (десятки и сотни), различных по своей структуре и результатам использования, а их признаки многочисленны и различны по значениям, то такие объекты, как правило, оказываются формально несравнимыми. Результаты исследований эффективности применения экспертных и рейтинговых оценок [18, 30] для оценки проектов, а также проблем их реализации, показывают, что при всех недостатках этих методов они являются наиболее удобными и эффективными для разработки алгоритмов оценки проектов в силу своей гибкости и универсальности. При разработке методики рейтинговой оценки предлагается основываться на базовых моделях с учетом опыта реализации подобных методик [19]. Кроме общеприменимых методов рейтинговых оценок имеются авторские разработки в сфере классификации и ранжирования проектов.

В своей работе Шишкин Г.Б. [2] описывает решение задачи синтеза адаптивного механизма с обучением системы классификации и ранжирования, рассматривая процедуру нормы классификации в отсутствии жесткости в критериях оценки. В работе Андрейчикова А.В. [1] представлена методика ранжирования альтернатив на множестве лингвистических векторных оценок.

Основная особенность рейтингового подхода к оценке наукоемких проектов заключается в системном представлении инновационной и технической деятельности в динамике влияния множества факторов внешней и внутренней среды предприятия [76-78], подтвержденных большинством теорий менеджмента.

В работе Мамрыкина О.В. [121] для принятия решения о возможности

реализации нового проекта в производственной системе разработан показатель функциональности на основе математических моделей управления такими параметрами проекта, как интенсивность отказов ресурсов проекта и интенсивности конструкторско-технологических отклонений. Данный показатель учитывает влияние отклоняющих и стабилизирующих факторов системы, определяя прогнозируемый уровень эффективности проекта и длительности жизненного цикла его реализации, выраженный в затратах времени и финансов.

В более поздних работах, посвященных развитию методов оценки инновационных проектов, делается акцент на целостность объекта оценки, его многогранность, необходимость оценивать эффективность проектов в управленческом, организационном, техническом и технологическом аспектах одновременно [27-29].

Таким образом, реализация системы поддержки принятия решений для управления наукоемкими проектами несет в себе необходимость решения задачи определения параметров их оценки. Анализ существующих методов и подходов к оценке проектов показывает, что на сегодняшний день не существует и единого мнения по выбору методов оценки. Решение данной проблемы подразумевает системный анализ предметной области и утверждение целей реализации конкретной СППР.

#### **1.4 Онтология как модель предметной области наукоемкого проекта разработки технической системы**

Таким образом, растет интерес к базам знаний предметных областей и инструментам работы с ними, которые возможно использовать для решения практических задач. В свою очередь реализация базы знаний требует формализации данной области с целью машиночитаемого представления.

Формализация – это гносеологический метод, направленный на описание и фиксацию содержательных элементов системы в виде абстрактных символов и значений, позволяющая тем самым получить об этой системе новое знание и информацию [133]. Формализация предметной области является разделом

достаточно новой науки управления знаниями, связанной с построением и применением онтологий.

Сегодня онтологии широко используются в качестве инструмента системного анализа предметной области для целостного представления совокупности ее элементов в виде понятий и системных связей [123, 135]. Понятийная структура предметной области делает возможной автоматическую обработку информации о системе. Таким образом, под онтологией будем понимать совокупность понятий некоторой предметной области, которая представляется как набор сущностей, соединенных различными отношениями и характеризующих определенную область знаний.

Как показал анализ, проектная деятельность в научной сфере деятельности характеризуется высокой сложностью формализации процесса принятия решений, объясняемой их альтернативностью и нечеткостью, качественной и символической природой используемых знаний, а также динамичностью изменения проблемной области. Указанные особенности обуславливают необходимость разработки и применения специальных экспертных систем [134]. На данном этапе традиционно выделяют два подхода к процессу построения модели предметной области на этапе концептуализации.

Признаковый или содержательный подход предполагает наличие полученной от экспертов информации в виде троек «объект – атрибут – значение атрибута», а также наличие обучающей информации. Этот подход развивается в рамках направления, получившего название формирование знаний или «машинное обучение» (machine learning). Второй подход, называемый структурным (или концептуальным), осуществляется путем выделения более крупных и комплексных элементов предметной области, их взаимосвязей и семантических отношений [126].

Однако указанные подходы не являются взаимоисключающими, а в рамках системного анализа предметной области и ее формализации даже дополняют друг друга. Такой концептуально-содержательный анализ предметной области обычно включает следующие основные этапы:

- 1) выделяется множество значимых сущностей из выбранной области (множество классов и объектов);

- 2) идентифицируются значимые отношения, которые существуют между классами и объектами предметной области;
- 3) определяется какие операции взаимодействия объектов представляются важными и моделируется поведение объектов;
- 4) по результатам моделирования на основе онтологического анализа разрабатывается предметно-ориентированная онтология;
- 5) в заключение значимые отношения оформляются синтаксически, то есть при помощи аксиом [137].

Совокупность концептов предметной области и их отношений реализуется в модели семантической сети фреймов, узлы которой представляют отдельные понятия предметной области, дуги – отношения между концептами.

Производные (дочерние) концепты наследуют атрибуты базовых (родительских) концептов. Конкретные значения атрибутов получают при создании на основе понятий онтологии экземпляров (объектов) [125, 123].

Таким образом, концепт – это шаблон, содержащий множество правил, определяющих форму экземпляра, т.е. то, каким образом может быть построен экземпляр. Концепты могут иметь атрибуты – имена или структуры полей записи. Атрибуты характеризуют тип информации, содержащейся в поле. Отношениями между концептами называются зависимости между экземплярами онтологии. Обычно отношением является атрибут, ссылающийся на другой экземпляр [124, 125].

В этом случае для моделирования СППР предлагается использовать методы и средства объектно-ориентированного моделирования предметной области, аналогично методам проектирования информационных систем, чтобы воссоздать концептуальную модель опыта экспертов в формализованной модели представления знаний. В частности в работе [137] описаны принципы представления знаний с использованием языка объектно-ориентированного моделирования Unified Modeling Language (UML). Данный подход на основе набора моделей, связанных с понятием класса/объекта, позволяет объединить данные о состоянии проекта и формализованные условия его развития.

Использование модели онтологии при реализации наукоемких проектов разработки сложных систем позволяет:

- унифицировать понимание структуры информации как людьми, так и программными агентами;
- повторно использовать знания в предметной области;
- сделать допущения в предметной области явными;
- отделить концептуальные знания предметной области от оперативных знаний;
- повысить эффективность анализа данных в предметной области [131].

Однако, в связи с большой спецификой каждой отдельной предметной онтологии ее повторное использование зачастую возможно только в рамках определенного круга проектов. Поэтому при разработке онтологии ведущими учеными [141, 142, 145] рекомендуется придерживаться определенных требований:

- ясность: общая структура онтологии должна быть понятной и должна существовать возможность ее многократного использования
- последовательность: в ней должны содержаться утверждения, которые не противоречат друг другу, иерархии понятий, связывающим их отношениям, экземплярам.
- возможность расширения: наличие возможности введения новых элементов без пересмотра остальных элементов;
- минимизация степени специализации онтологии: нежелательность полного подчинения онтологии конкретной задаче, что может осложнить ее последующее использование в других задачах.

Таким образом, онтологии основываются на «слабых» теориях, поскольку основная цель их использования – это описание предметной области, в отличие от баз знаний, которые содержат четко формализованные правила вывода и информацию о человеческом опыте [129, 131].

Как правило, разработка модели онтологии ведется на основе конкретной практической цели, однако общий подход к построению онтологии предполагает перечисление понятий обозначающие сущности или явления в моделируемой области, затем связывание этих понятий определенными отношениями, и на последнем шаге соотнесение концептов с набором конкретных атрибутов. Экземпляр концепта служит для представления элемента предметной области,

группу элементов которого описывает концепт. Сама онтология, множество концептов и их связей составляют базу знаний.

Также важным моментом при переходе от онтологической модели к проектированию ИС является выбор формы ее представления – языка описания, целью которого является повышение качества концептуального моделирования слабоструктурированных данных через машинно-интерпретируемую семантику [125]. На сегодняшний день наиболее разработанными и часто употребляемыми формами представления онтологии для формализации сложных технических систем являются: на этапе концептуализации – схемы семейства IDEF, на этап проектирования – унифицированный язык моделирования UML.

Использование онтологии в качестве семантически ориентированной технологии автоматизации процессов сложных систем позволяет не только создавать модели данных, адекватные реальному миру, но и соответствует общей тенденции в области стандартизации проектного управления [124].

## **Выводы по главе 1**

На основе анализа научно-практической и нормативной литературы, раскрывающей основные методические подходы к работе с наукоемкими проектами, получены следующие результаты:

1. Дано определение наукоемких проектов разработки сложных технических систем, описана специфика их реализации и круг актуальных проблем.

2. Показано множество аспектов проявления характеристик наукоемкого проекта, отражающих многомерность его параметрического пространства в рамках автоматизированных компьютерных систем.

3. Анализ существующих методов и подходов к работе с проектами показывает, что на сегодняшний день нет единого мнения относительно выбора методов их оценки и автоматизации процессов управления, поэтому на сегодняшний день остается актуальной задача разработки гибких моделей и алгоритмов многомерного анализа наукоемких проектов, основанных на

системном подходе к созданию эффективных АКС, решение данной проблемы подразумевает системный анализ предметной области и выбор целей реализации конкретной СППР.

4. Описаны принципы разработки модели онтологии предметной области для формализации наукоемких проектов, а также показана важность данной модели для проектирования и реализации автоматизированной информационной системы на основе базы знаний.

Таким образом, обоснованы особенности системного подхода к анализу наукоемких проектов и возможности применения автоматизированных экспертных технологий принятия решений в процессе их реализации.

## ГЛАВА 2. РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ФОРМАЛИЗАЦИИ НАУКОЕМКИХ ПРОЕКТОВ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

### 2.1 Формулирование методики формализации проекта на основе онтологии

Научеёмкий проект является подсистемой одной или нескольких предметных областей, что накладывает соответствующие ограничения на процесс формализации знаний о нем и непосредственно связано с онтологией предметной области. Тогда согласно концептуально-содержательному подходу [136] онтологию научеёмкого проекта как подсистемы предметной(-ых) области(-ей) можно задать в виде совокупности «концепт – объект – атрибут». Сформулируем основные определения в рамках выбранной методики к описанию онтологии.

*Ориентированный граф* – это формальная модель системы, состоящая из совокупности объектов ( $p$ ) и атрибутов предметной области:  $G = (V, E, M, L)$ , где  $V$  - множество вершин,  $E$  - множество дуг, представляющих совокупность связей  $e = (p_1, p_2)$  вершины  $p_1$  с вершиной  $p_2$ ,  $M: E \leftarrow L$  – функция разметки дуг, которая каждой дуге сопоставляет элемент из множества меток  $L$ , данные метки отображают взаимное отношение объектов.

*Содержательная модель предметной области* – совокупность условных атрибутов (параметров) и отношений между ними, которым соответствуют сущности из реального мира, реализованная в виде ориентированного помеченного графа (2.1):

$$G_d = \{V_d, E_d, M_d, L_d\}, \quad (2.1)$$

где  $V_d$  – совокупность объектов  $\{p_1, \dots, p_n\}$  с набором меток (атрибутов)  $f \in (1, \dots, t)$ , здесь  $t$  – количество значений атрибута.

Здесь каждая вершина ( $p$ ) является параметром, характеризующим проект, и имеет свою метку  $f$  – набор значений объекта для каждого проекта; каждая дуга из вершины  $p_1$  в вершину  $p_2$  с меткой  $l$  описывает отношение параметра  $p_1$  к параметру  $p_2$ . Таким образом, любое отношение представляет собой форму взаимовлияния условных атрибутов системы.

*Концептуальная модель предметной области*  $G_d$  – ориентированный

помеченный граф  $G_k = \{V_k, E_k, M_k, L_k\}$ , для которого выполнены следующие условия:

1.  $E_k \cap E_d = \emptyset$
2.  $L_k \subset L_d$
3.  $V_k \cap V_d = \emptyset$
4.  $\forall (v_1, v_2) \in E: v_1 \notin V_d,$

где  $V_k$  – совокупность концептов  $\{K_1, \dots, K_m\}$  с меткой (значением)  $g^m$ .

Вершины графа концептуальной модели мы будем называть *концептами* ( $K$ ), которые представляют собой более общие понятия предметной области, чем ее атрибуты, и дающие возможность объективнее представлять, характеризовать и сравнивать между собой различные проекты – другими словами это критерии оценки, признанные экспертами данной предметной области.

Тогда модель предметной области (МПО) есть объединение графов концептуальной и содержательной моделей (2.2):

$$G_{ont} = \{V_m, E_m, M_m, L_m\} = \{V(m)_d \cup V(m)_k, E_d \cup E_k, M_d \cup M_k, L_d \cup L_k\}, \quad (2.2)$$

$$\text{где } M_m(e) = \begin{cases} M_d(e), & \text{если } e \in E_d \\ M_k(e), & \text{если } e \in E_k \end{cases}.$$

Данное определение онтологии объединяет две ее составляющих: концептуальную и содержательную (рисунок 2.1).

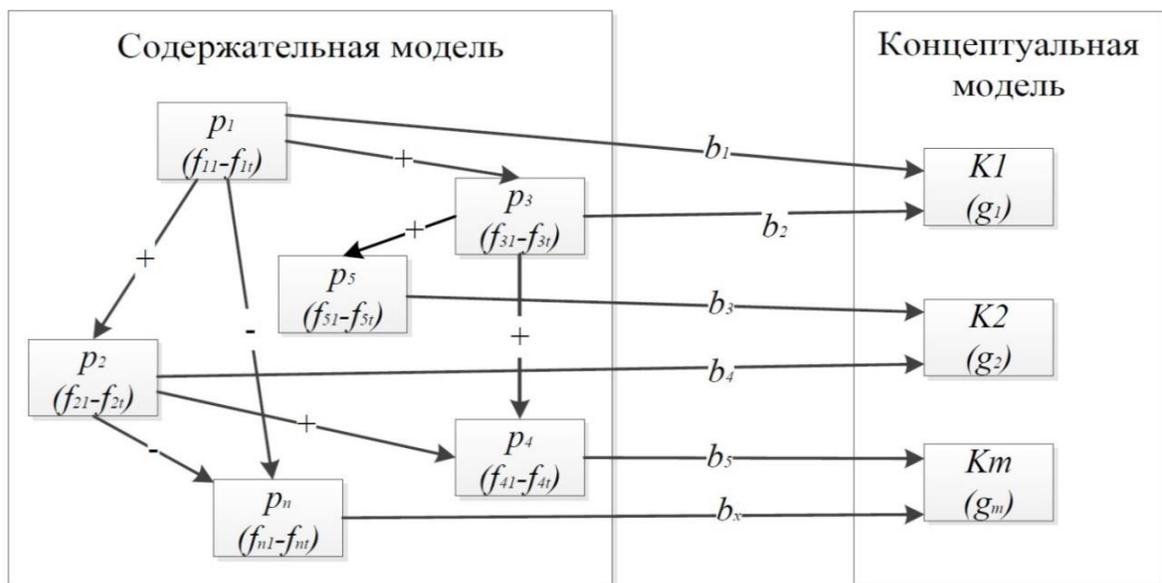


Рисунок 2.1 – Структура онтологии наукоемкого проекта

На схеме приведены наименование атрибутов, концептов, а также возможные формы их взаимосвязей.

Содержательная часть выражена в терминах предметной области и отношений между ними. Концептуальная модель является базовым звеном в работе с информацией, поскольку она определяет «каркас», на который крепится содержательная составляющая.

Объекты концептуальной модели онтологии соответствуют критериям оценки проектов определенной предметной области. Отношения, связывающие параметры содержательной МПО, можно разделить на два типа: концептуальные и понятийные. Понятийные определяют отношения одного информационного элемента  $p$  к другому, а концептуальные - отношения элемента  $p$  к одному или нескольким объектам  $K$  концептуальной модели [136].

В результате должен быть получен полный список существенных для проекта (и предполагаемых приложений) понятий и их машинноинтерпретируемые формулировки.

Построение множества  $G_i$  также основано на результатах этапа предварительного анализа ПдО. Таким образом, требуется установить для каждого элемента  $p_i \in G_d$  семантическое отношение  $l$  с другими элементами множества  $G_d$  и провести разметку ребер ( $b$ ), связывающих  $G_d$  с концептами множества  $G_k$ , связывающих все вершины онтологии. Тогда одной из задач построения онтологии является формализация связей  $b_i$  объектов содержательной модели с концептами предметной области.

В рамках описанной методики построение функций интерпретации связей параметров заключается в определении весовых коэффициентов и условий их пересчета – системы правил предметной области. При этом на этапе составления содержательной модели – учитывается информация о понятиях и отношениях между ними, а на этапе концептуального описания – информация о существенных признаках, характеризующих определяемый объект системы.

## 2.2 Математическое моделирование системных связей наукоемкого проекта

Онтология предметной области наукоемкого проекта разработки сложной технической системы формализует специфику связей и форму влияния объектов данной области с объектами других предметных областей и внешним окружением рассматриваемой системы. Таким образом, круг решаемых задач и вопросов, на которые отвечает онтология, часто представлен концептами различных областей знаний, характеризующихся наличием специфичных отношений. Поэтому в большинстве случаев этот тип онтологий строится при участии экспертов.

Тогда для формализации проекта необходимо:

1. отобрать экспертов и оценить весомость их мнения в моделируемой предметной области;
2. описать и структурировать понятия предметной области: построить граф содержательной модели  $G_d$ ;
3. выбрать концепты предметной области: построить граф концептуальной модели  $G_k$ ;
4. рассчитать значение меток ребер  $b = (G_d, G_k)$ ;
5. описать алгоритм расчета общей оценки наукоемкого проекта.

### 2.2.1 Выбор и оценка экспертов

Для определения уровня компетентности эксперта предлагается использовать критерии, характеризующие опыт работы с проектами и степень занятости в предметной области (таблица 2.1).

Каждому критерию  $x_i$  ( $i = 1, n$ ) ставится в соответствие его значимость. Затем строится система весов с соблюдением следующих условий (2.3):

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^n s_i = 1 \\ s_i \geq 0, i = 1, n, \end{cases} \quad (2.3)$$

где  $s_i$  – это вес  $i$ -ого критерия,  $i$  – номер эксперта,  $n$  – количество экспертов.

Таблица 2.1 – Критерии оценки экспертов

Критерии	Значимость	Баллы			
		0	1	2	3
Опыт оценки и отбора проектов	0,4	нет	Участвует в написании заявок	Активно участвует в конкурсах	Участвует в экспертной комиссии
Опыт организации и ведения наукоемких проектов	0,3	нет	Участвовал в нескольких проектах	Активно участвует в проектах	Организует и ведет проекты
Степень занятости в предметной области	0,2	нет	Занят менее чем на 40%	Занят более чем на 40%	Занят более чем на 80%
Общий стаж работы	0,1	нет	До 3 лет	От 3 до 7 лет	Более 7 лет

Все критерии располагаются в порядке убывания их значимости:  $x_1 > x_2 > \dots > x_i > \dots > x_n$ . Далее рассчитывается сумма баллов по каждому эксперту с учетом значимости критериев оценки и заносится в таблицу.

После ранжирования экспертов по убыванию суммы их баллов определяются весовые показатели компетентности экспертов с помощью шкалы Фишберна (2.4):

$$s_i = \frac{2(n-i+1)}{n(n+1)}, \quad (2.4)$$

где  $s_i$  – это вес  $i$ -ого критерия,  $i$  – номер эксперта,  $n$  – количество экспертов.

Согласно правилу Фишберна об уровне значимости критериев известно лишь условие (2.3), в этом случае оценка по формуле (2.4) отражает максимум энтропии имеющейся информационной неопределенности об объекте исследования [84].

### 2.2.2 Сбор и обработка данных наукоемкого проекта

Упростить сбор данных на этапе оценки проекта можно, если представить список параметров с указанием их возможных значений в виде паспорта проекта – специальной формы документа с единой структурой, включающей параметры как руководителя проекта, так и самого проекта. Указанный подход позволит сформировать унифицированную структуру данных проекта и облегчить их обработку для расчета комплексной оценки состояния проекта на конкретный

момент времени.

Поскольку понятийная модель онтологии представляет собой совокупность характеристик проекта, имеющих определенные значения атрибутов, предлагается далее называть их параметрами оценки проекта ( $p$ ), например такими могут быть стадия реализации, значения заявленных тактико-технических характеристик, уровень опубликованных статей руководителя и другие.

Концептуальная модель представляет собой более общие критерии оценки проекта, позволяющие сравнивать различные проекты между собой: опыт руководителя, актуальность проекта и т.п., назовем их критериями оценки ( $K$ ).

Каждый параметр проекта  $p$  имеет набор определенных вариантов значений:  $p = \{u_i, \dots, u_n\}$ , число которых при заданном уровне декомпозиции атрибутов проекта может достигать 5-8 показателей.

Таким образом, моделирование функциональных зависимостей атрибутов проекта подразумевает определение весовых коэффициентов вариантов параметров, представляющих собой значения параметра для конкретного проекта, далее на основе агрегирования значений параметров рассчитываются значения критериев оценки, при этом на каждом этапе необходимо нормировать полученные значения в целях повышения эффективности их последующего анализа и обработки. В системном анализе для данного типа задачи разработан специальная экспертная процедура – метод решающих матриц.

Данный метод представляет собой средство стратифицированного расчленения большой задачи на подзадачи и пошагового получения оценок их взаимного влияния, такой подход помогает облегчить работу экспертов при оценке сложных систем. Относительные веса  $a_i$  по всем уровням должны быть

нормированы по отношению к 100: 
$$\sum_{j=1}^{na} a_j = 100.$$

Непосредственно экспертами оцениваются только веса подзадач и форму их связи с общей задачей, остальные относительные веса вычисляются. В результате при использовании метода решающих матриц оценка относительной важности сложной системы сводится к последовательности оценок ее элементов, что

обеспечивает их большую достоверность при прочих равных условиях [86].

Для удобства экспертов опрос приводится в ранговой шкале. Кроме того такая шкала наиболее достоверно переводится в конкретные числовые значения – коэффициенты весомости.

В нашем случае использование метода решающих матриц для определения оценок атрибутов и концептов проекта происходит следующим образом:

1) эксперты определяют веса вариантов представления каждого параметра  $u_i, \dots, u_n$ , полученные веса нормируются таким образом, чтобы их сумма была равна 100;

2) параметры ранжируются по значимости в структуре критериев оценки проекта;

3) рассчитываются и нормируются метки отношений параметров с критериями оценки -  $b_m$ .

Так вклад вариантов параметра  $u_i$  в его значение  $p_j$  оценивается величиной  $u_{ij}$ , при этом относительные веса  $u_{ij}$  параметра нормированы:  $\sum_{j=1}^{nu} u_{ij} = 100$ . Оценив

предварительно ранги параметров в структуре критериев  $K_n$  и используя

решающую матрицу  $\| p_{ij} \|$ , можно получить относительные веса  $b_m$ :  $b_m = \sum_{j=1}^{np} p_{ij} u_i$ .

Пример расчета значения параметра проекта приведен в разделе 4.2.

Ранжирование параметров в составе критерия необходимо для последующей аддитивной свертки данных параметров и заключается в присвоении экспертами значений рангов  $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_m$ , аддитивной свертки  $F(\alpha)$  и последующей максимизации данной функции на множестве всех альтернативных решений [85].

Тогда любая точка максимума на множестве  $X$  аддитивной свертки  $F(\alpha)$  параметров, определяемой равенством (2.5):

$$F(\alpha) = \sum_{i=1}^m \alpha_i f_i(x) \quad (2.5)$$

и является Парето-оптимальной.

Итак, имеется  $p_j$  параметров, при этом для каждого варианта  $u$  оценки по параметрам следующие:

$$0 \leq f_i(u) \leq 1, i = 1 \dots n.$$

Если по  $n$ -ому параметру  $u$  – наилучший вариант, то оценка параметра стремится к 1, наихудший вариант – к 0, остальные варианты находятся между 0 и 1. Такая оценка обычно рассчитывается путем нормирования критериев, а поскольку в данном случае каждый параметр имеет единую числовую оценку, то процедуру нормирования в данном случае можно опустить.

Коэффициенты весомости параметров, определяемые их рангом в составе агрегированного критерия, описывается условиями:

$$0 < \alpha_i < 1, i = 1 \dots n; \alpha_1 + \dots + \alpha_n = 1.$$

Данные коэффициенты и являются весами параметров. Приоритеты аналогичны для всех вариантов выбора. При этом нежелательно присваивать приоритеты равные 0 или 1 в целях учета всех системных связей параметров.

Оператор линейной (аддитивной) свертки имеет вид (2.6):

$$w(x) = p_1 f_1(u) + \dots + p_n f_n(u). \quad (2.6)$$

Если вариант  $u$  наихудший (все  $f$  стремится к нулю), то есть  $w(u) \rightarrow 0$ , а если вариант  $u$  является наилучшим среди сравниваемых, т.е. все  $f=1$ , то сумма приоритетов, будет стремиться в единице:  $w(u) \rightarrow 1$ . Показатель  $w(u)$  может принимать значения от 0 до 1.

В рамках принятых допущений общая задача определения значений критериев оценки  $K_n$  сводится к снижению размерности параметрического пространства проекта путем решения многокритериальной задачи расчета и аддитивной свертки значений влияния его параметров на критерии оценки (2.7):

$$K_n = \sum_1^j (p_1 b_{1m}, \dots, p_j b_{jm}), \quad (2.7)$$

где:

$K_n$  – критерий состояния проекта,

$j$  – количество параметров, заключенных в критерий оценки проекта,

$b_m$  – коэффициент влияния параметра на критерий,

$p_j$  – значение параметра проекта.

Таким образом, решена задача математического моделирования влияния параметров наукоемкого проекта разработки СТС на критерии его оценки.

### 2.2.3 Разработка алгоритма оценки проекта

Полученные на предыдущем этапе значения критериев оценки проекта позволяют представить модель проекта в машиночитаемом формате, однако с содержательной точки зрения последующее получение оценки проекта сложением значений критериев не корректно. Для решения данной задачи выбрана методика нечеткого логического вывода как способ моделирования рассуждений эксперта на основе выбранных атрибутов концептуальной модели наукоемкого проекта.

Нечеткий логический вывод широко используется при моделировании систем, характеризующихся преимущественно качественными параметрами, и в общем виде представляет собой процесс получения определенных заключений о влиянии управляющего параметра на объект посредством нечетких условий или предпосылок, описывающих текущее состояние объекта. Использование нечеткого логического вывода в экспертной системе управления наукоемкими проектами обусловлено следующими его преимуществами:

- 1) формулирование условий и правил оценки проекта в категориях близких рассуждениям специалиста данной области;
- 2) относительная простота перенастройки алгоритмов при учете новых системных закономерностей и требований пользователя;
- 3) относительная простота учета накопленного опыта для корректировки условий базы правил.

В общем виде схема работы системы нечеткой логики выглядит так (рисунок 2.2):

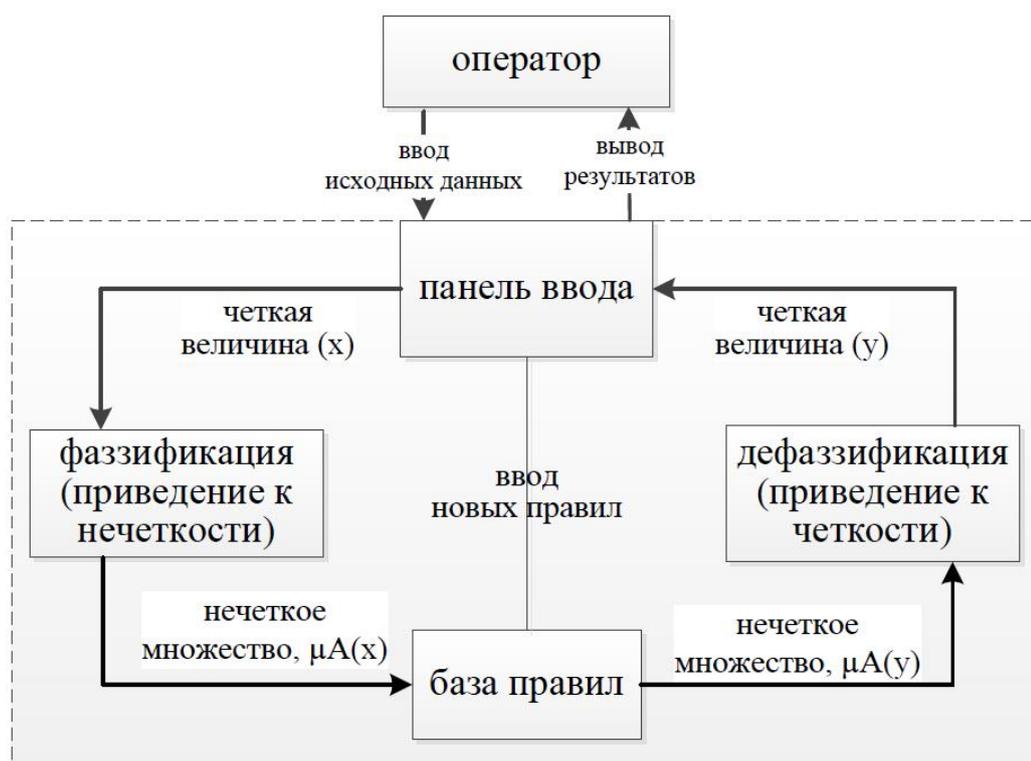


Рисунок 2.2 – Структура системы нечеткой логики

Поскольку данная система нечеткой логики строится на основе априорных данных, полученных от экспертов, то выбран тип модели Мамдани с гладкими функциями принадлежности, эффективность которой для данных типов задач подтверждается различными исследованиями [87, 112]. При этом дефаззификация происходит методом высот, который не чувствителен к виду функции принадлежности и позволяет значительно уменьшить стоимость вычислений. Таким образом, система имеет структуру типа MISO (MultiInput – SingleOutput, много входов – один выход), в котором содержится одна атомарная формула и предусловие, включающее более одной атомарной формулы.

Опишем этапы разработки система нечеткой логики для расчета общей оценки проекта:

1. Генерация лингвистических переменных путем разбиения пространства входных и выходных переменных, причем число этих отрезков и их длина подбираются индивидуально для каждой переменной.

2. Формирование начальной базы правил путем описания множества правил исходя из возможных сочетаний нечетких высказываний в предпосылках и

заклЮчениях правил, в соответствии с которым максимальное количество правил в базе определяется следующим соотношением:  $l = l_1 * l_2 * \dots * l_m * l_y$ , где  $l_1, l_2, l_m, l_y$  - число функций принадлежности для задания входных/выходных переменных  $(x_1, \dots, x_m, y)$ . Использование указанного подхода при формировании начальной базы правил целесообразно при небольшом числе переменных и функций принадлежности, используемых для задания этих переменных.

3. Адаптация параметров в базе правил: выбранный на предыдущем этапе подход к формированию базы правил также позволит данной базе соответствовать критерию избыточности и полноты [90].

Входами системы нечеткой логики являются представленные ранее критерии оценки наукоемкого проекта, выходом – вероятностные оценки привлекательности проекта, соответствующие значениям входных параметров.

Разработка базы знаний также ведется экспертами, непосредственно занятыми в исследуемой предметной области. При этом значения каждого критерия оценки проекта необходимо поделить на диапазоны значений и ввести соответствующие лингвистические переменные, а затем задать функцию принадлежности, отражающую вероятностную нагрузку каждого элемента в зависимости от степени его принадлежности нечеткому множеству.

Функция задается совокупностью чисел, к примеру  $a, b, c$  и  $d$ . Тогда значение в точке  $x$  будет рассчитано как [112]:

$$MF(x) = \begin{cases} 1 - \frac{b-x}{b-a}, & a \leq x \leq b \\ 1, & b \leq x \leq c \\ 1 - \frac{x-c}{d-c}, & c \leq x \leq d \\ 0, & x \notin (a; d) \end{cases}.$$

Входные параметры задаются законом изменения функции принадлежности треугольного типа на интервале от 0 до 1, и строятся на основе профессионального опыта эксперта и его знаний о принципах функционирования предметной области.

Поскольку множество значений критериев ( $K$ ) конечно и содержит  $n$

элементов, нечеткое множество в общем будет записано так (2.8):

$$\bar{A}_{F1} = \sum_{i=1}^6 \frac{\mu_{\bar{A}}(Kn_i)}{Kn_i}, \quad (2.8)$$

где  $\mu_{\bar{A}}(Kn_i)$  – степень принадлежности элемента  $Kn_i$  нечеткому множеству  $\bar{A}$ , степень принадлежности задана числом из диапазона [0;1].

На этапе фазификации входному параметру в соответствии с его значением и заданной функцией принадлежности присваиваются значения нечеткой лингвистической переменной, данные лингвистические термы соответствующих входных переменных далее используются в качестве элементов базы правил построенной системы нечеткого вывода типа: «если параметр N is (низкий/средний/высокий)».

Реализованная данным образом, база правил отражает функциональные связи между значениями критерия и привлекательностью проекта, представленные совокупностью нечетких логических условий «если-то» (*if – then*), называемых импликацией [90].

Для выходного параметра предлагается выбрать трапециевидный вид функции принадлежности с целью задания неопределенности типа «расположен в интервале», данный вид функции дает возможность настраивать величину отклонения выходного показателя от среднего значения лингвистической переменной.

### 2.3 Разработка алгоритма отбора наукоемких проектов по интегральной характеристике

Анализ проектов предполагает разработку алгоритма предварительного отбора из множества альтернатив согласно заданным условиям. В рамках онтологии эти условия представляют собой «ситуацию системы»  $p' \in (p_1, \dots, p_n)$  и являются частным случаем задания множества функций интерпретации элемента понятийной модели  $X_i$ , составленный из ограниченного набора понятий  $G_d$ . Определение понятия  $X_i$ , в общем случае, включает подмножество понятий  $\{xi-1\}$ ,

которые определяют  $X_i$  и отношение  $R_k$ , связывающее  $X_i$  с  $\{x_{i-1}\}$ , а также множество атрибутов (признаков), присущих  $X_i$ .

В условиях заданной ситуации задача выбора оптимального варианта в процедурах поддержки принятия решений сводится к учету наиболее значимых параметров или критериев оценки наукоемкого проекта в данный момент для лица принимающего решения (ЛПР). Ограничения задаются ЛПР значениями в параметрическом пространстве проекта на основе ранее выделенной функциональной зависимости данных параметров [91]. Таким образом, при отборе проектов необходимо задать параметрические и функциональные ограничения.

Параметрические ограничения накладываются исходя из содержательной сущности параметров для конкретизации результатов поиска, например, под требования конкретного конкурса или заявки инвестора, и имеют вид (2.9):

$$p(x) = \{p_{1k}, p_{2k}, \dots, p_{ik}\}, \quad (2.9)$$

где:

$p_i$  –  $i$ -тый параметр проекта  $x$ ;

$p_{ik}$  – возможные значения  $i$ -го параметра ( $k=1, 2, \dots, m$ ).

Тогда вектор параметрических ограничений ЛПР можно представить как (2.10):

$$b = f(p_{ik}), \quad (2.10)$$

где  $b$  – совокупность параметрических ограничений заданных ЛПР при отборе проектов.

Функциональные ограничения при отборе проектов накладываются ЛПР исходя из условий и функциональных зависимостей параметров, например таковыми могут быть: размер необходимых инвестиций менее  $p_{ik}$ , сроки реализации менее  $p_{ik}$ , уровень ожидаемых научных результатов выше  $p_{ik}$ , уровень научных публикаций проекта выше  $p_{ik}$  и другие.

Данные ограничения имеют вид:

$$g(x) < p_{ik}, \quad g(x) = p_{ik}, \quad g(x) > p_{ik}.$$

Такие условия определяют допустимые значения выбранных характеристик

и показателей.

При определении ограничений возможных решений в задачах оптимального проектирования ЛПР чаще всего сталкивается со следующими типовыми ситуациями:

1) операции с критериями: назначение весов критериев, упорядочивание критериев по важности, выбор условий отбора;

2) операции с альтернативами: сравнение альтернатив, описываемых по одному критерию, сравнение многокритериальных альтернатив, выбор группы альтернатив, выбор наиболее предпочтительного критерия, сравнение двух альтернатив целостным образом, сравнение многих альтернатив [92].

Таким образом, решение задачи многокритериальной оптимизации (МКО) подразумевает снижение мультивариантности выбора предпочтительного решения, для этого используются две группы методов: методы первой группы заключаются в сокращении числа критериев путем ввода дополнительных условий в модели оптимизации; методы второй группы предполагают свертку параметров с учетом всех возможных альтернатив [93].

Поскольку в рамках исследования поставлена задача учета всех характеристик проекта, то наиболее целесообразно использовать метод из второй группы, целям отбора проекта в определенно заданной ситуации подходит метод главного критерия.

Данный метод заключается в выборе основного параметра  $K(X)$ , а все остальные критерии в форме целевых функций определяют его ограничения по определенному правилу. В соответствии с решаемой задачей ЛПР задает ограничения на все критерии, далее выбираются контрольные показатели  $\bar{f}_k$ , по которым ожидается получить значения, не менее заданных, в виде условия:  $f(X) \geq \bar{f}_k, k = 1, 2, \dots, K$ .

Выбор основного критерия и установка граничных значений для остальных критериев сводит задачу к однокритериальной оптимизации (2.11):

$$K(X) \rightarrow \max, \quad (2.11)$$

при условиях  $f(X) \geq \bar{f}_k, k = 1, 2, \dots, K$ .

В рамках данного подхода задача МКО определяется следующим образом:

требуется найти значения параметров  $\{p_{i1}, p_{i2}, \dots, p_{ik}\}$ , удовлетворяющих заданной системе ограничений  $b = f(p_{ik})$ .

Все точки множества  $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ , удовлетворяющего условиям запроса (2.10), образуют допустимую область (*критериальное пространство*), обозначим его как  $D$ , при этом:  $D \subset R^n$  (рисунок 2.3).

Таким образом, проекты множества  $D$  являются *альтернативами* решения задачи подбора, а ограничения  $f_k$ ,  $k=1, 2, \dots, K$  – *критериями отбора*. В формулировке задачи (2.11) функция ограничений  $K(X)$  определяет границы множества  $D \subset R^n$  в *множестве достижимости*  $F \subset R^K$  [70].

С учетом данных условий множество  $D$  будет ограничено небольшой областью подходящих проектов, как показано на рисунке 2.3, а. Здесь  $\bar{f}_k$  – значение для одной из линий равного уровня  $n$ -го критерия в условиях функционального ограничения  $f_k(X) \leq \bar{f}_k$ , при  $k=1, 2, \dots, K$ . При этом  $\bar{f}_k$  – это наихудшее значение критерия, удовлетворяющее условиям заданным ЛПР.

Пусть  $G$  – множество проектов  $x$ , одновременно удовлетворяющих параметрическим и функциональным ограничениям, при этом  $G \subseteq D$  (рисунок 2.3, б).

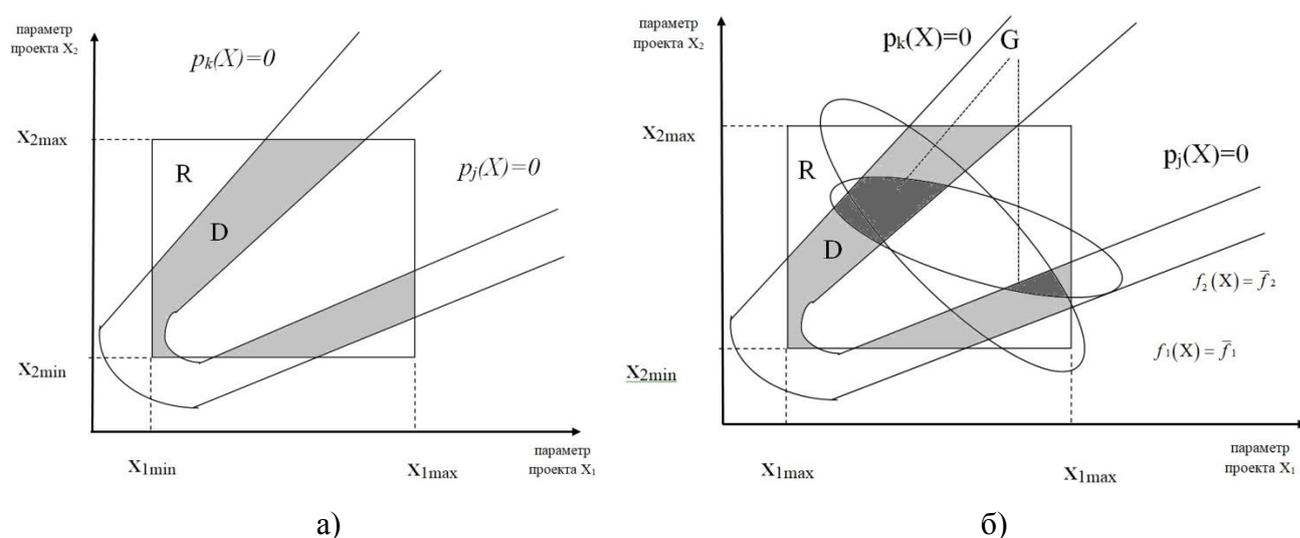


Рисунок 2.3 – Формирование параметрическими (а) и функциональными (б) ограничениями множества наукоемких проектов СТС согласно запросу ЛПР

Решение, в полной мере соответствующее запросу ЛПР, находится в области множества  $G$ , где любая точка  $X \in G$  отражает все приемлемые условия отбора. Однако существует высокая вероятность появления ситуации, когда данная область решений окажется пустой ( $G=0$ ), это будет соответствовать завышенным требованиям ЛПР [93].

Таким образом, отбор проектов **по заданным условиям поиска** имеет следующую целевую функцию:

$$G(K(X), Y) \rightarrow b,$$

которая достигается ранжированием проектов путем последовательной проверки условий:

1.  $G \subseteq D, G \neq 0$  – наличие множества наукоемких проектов, удовлетворяющего запросу;

2.  $b = f(p_{ik})$  – ограничение множества проектов заданными значениями параметров, может быть не задано, в этом случае  $b = 0$  и отображаются все проекты;

3.  $K(X) \rightarrow \max$  – ранжирование внутри группы проектов  $G(b)$  по наибольшему значению заданного критерия отбора, может быть не задано, в этом случае  $K(X) = 0$ ;

4.  $Y(x) \rightarrow \max$  – ранжирование внутри группы проектов  $G(b, K(X))$  по наибольшему значению общей оценки проекта.

Далее, если задать параметрическое множество, например, заявки (условий конкурса), также имеющее свои параметры  $\{p'_{1k}, p'_{2k}, \dots, p'_{ik}\}$  и образующие множество  $D'$ , тогда пересечение множеств  $D$  и  $D'$  образует набор наукоемких проектов, отвечающих требованиям определенного конкурса (рисунок 2.4):

$$G' = D \cap D'.$$

Или  $G' = D \cap D' = \emptyset$ , если не окажется проектов, удовлетворяющих условиям множества  $D'$ .

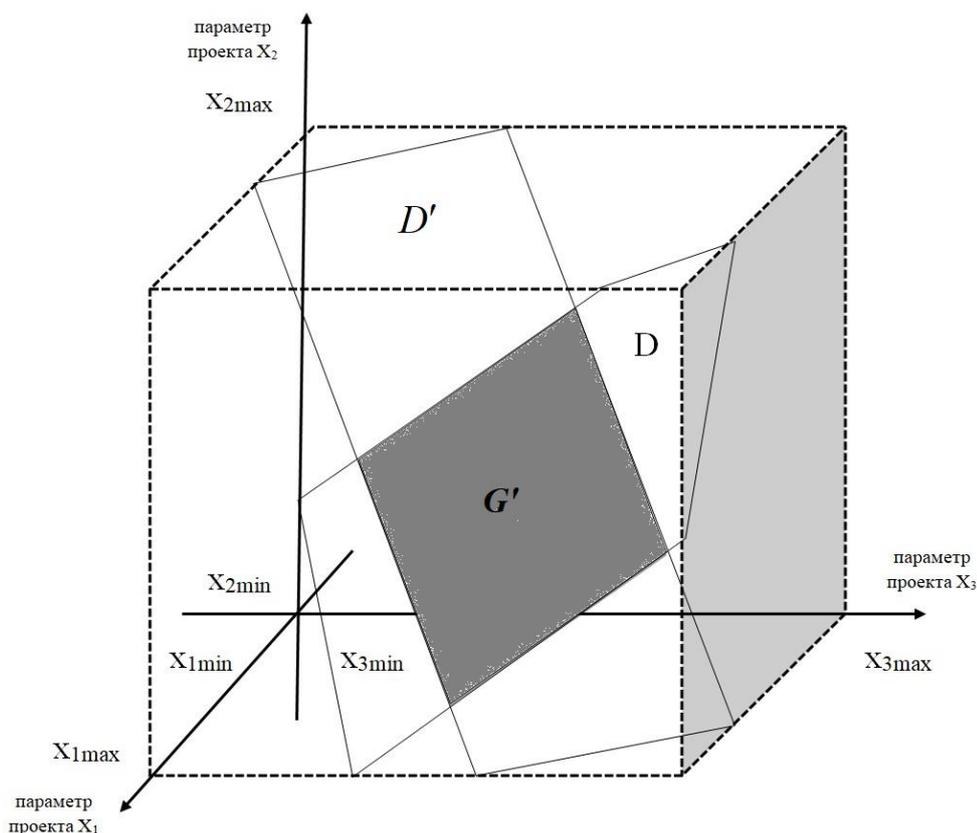


Рисунок 2.4 – Формирование области проектов, соответствующих заданным требованиям

Таким образом, целевая функция ранжирования проектов для **конкретного конкурса** с учетом его оценки имеет вид:

$$G'(Y) \rightarrow \max,$$

при выполнении условий:

$$\begin{cases} G' = D \cap D' \\ D' = f(p'_{1k}, p'_{2k}, \dots, p'_{ik}), D' \neq 0, \\ D = f(p_{i1}, p_{i2}, \dots, p_{ik}), D \neq 0 \end{cases}$$

Представленная онтологическая модель предметной области, а также алгоритмы оценки и отбора наукоемких проектов разработки СТС, способствуют повышению уровня их стандартизации. А выбранный объектно-структурный подход соответствует современной концепции построения систем оперативной транзакционной обработки данных и методологии объектно-ориентированного анализа [132], представляющего собой способ анализа и описания требования к системе с точки зрения будущих классов и объектов, основываясь на знаниях эксперта.

## Выводы по главе 2

Согласно поставленным в первой главе задачам диссертационного исследования:

1. Представлена методика построения онтологии наукоемких проектов на основе разработки концептуальной и содержательной моделей предметной области наукоемких проектов разработки СТС.

2. Описаны этапы формализации и описания функциональных зависимостей наукоемких проектов, на основе полученных моделей разработаны методика их оценки.

3. Представлен алгоритм отбора наукоемких проектов разработки СТС на основе решения задачи многокритериальной оптимизации, заключающийся в задании параметрических и функциональных ограничений множества проектов на основе набора заданных характеристик и предпочтений лица принимающего решения.

Таким образом, разработанные алгоритмы и модели работы с данными наукоемких проектов разработки СТС позволили сформулировать основные требования к функциональным возможностям информационно-аналитической системы поддержки процессом управления проектами и перейти к ее проектированию и реализации.

### **ГЛАВА 3. РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ И АЛГОРИТМОВ АНАЛИЗА ДАННЫХ НАУКОЕМКИХ ПРОЕКТОВ**

#### **3.1 Методика проектирования системы поддержки принятия решений на основе модели онтологии предметной области**

Информационно-аналитическая система, построенная на основе онтологии, может эффективно поддерживать функции анализа, поиска и представления данных. Однако для этого машинная модель онтологии должна быть описана в виде набора классов и полей, содержащих имена понятий, состав атрибутов данных понятий и их связи. Итак, понятия характеризуются именем, типом и значением. В качестве основных типов данных атрибутов онтологии можно выделить числовой, текстовый, логический и тип ссылки на объект [126].

Кроме того, информационная система поддержки принятия решений на основе экспертных знаний, анализируя данные о конкретной проблемной ситуации, знания о наукоемких проектах и модели данных, должна:

а) давать актуальную и достоверную информацию, обосновывающую выбор альтернативы принятия решений и сопровождающиеся соответствующим пояснением;

б) иметь базу знаний о процессах управления в проблемной ситуации и базу данных с описанием проблемных ситуаций;

с) содержать средства дедуктивного логического вывода (для формирования рекомендаций в реальном времени) и индуктивного вывода (на стадии интеллектуального анализа данных), а также средства, имитирующие рассуждения по аналогии для поиска прецедентов проблемных ситуаций;

д) иметь средства общения с удаленными пользователями, необходимые для предоставления рекомендаций и объяснения рекомендуемого решения;

е) иметь способность автоматического обнаружения противоречий между знаниями, уже имеющимися в базе знаний, и новыми, поступающими от экспертов или от программ автоматизированного извлечения знаний из данных [137].

Онтология позволяет придать проблемно-ориентированным ИС свойство адекватности решаемым задачам, машиноинтерпретируемым аналогом онтологии является модель сущность-связь (ER-модель), используемая при высокоуровневом проектировании баз данных. С её помощью из объектов и концептов онтологии можно выделить ключевые сущности и обозначить их бинарные связи. В этом случае концепты разработанной онтологии в зависимости от их информационной нагрузки и целей проектирования ИС могут представлять собой разделы одной базы данных (БД) или же отдельные базы данных  $G_i\_db$ , а относящиеся к ним параметры  $p_n$  получают первичный ключ (идентификаторы)  $p_n\_id$  и связываются согласно установленным связям  $e_d$  соответствующего типа. Тогда реляционная база данных  $RDB$ , описывающая онтологическую модель, представляет собой кортеж:

$$RDB = \langle G_i\_db, p_n\_id, e_d \rangle, \quad (3.1)$$

где  $G_i\_db$  – разделы базы данных,  $p_n\_id$  – вершины графа,  $e_d$  – ребра графа.

Схема данных указанной БД представлена на рисунке 3.1.

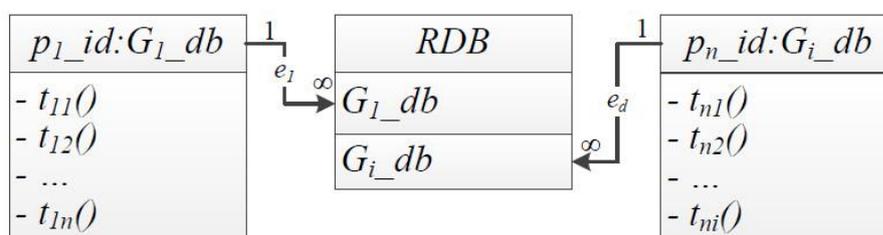


Рисунок 3.1 – Схема базы данных, описывающей граф предметной области

В рамках данной работы описание машинного формата онтологии предлагается провести на языке UML, который является признанным графическим языком моделирования общего назначения и используется для спецификации, визуализации, проектирования и документирования всех артефактов, создаваемых при разработке программных систем.

Разработка ER-модели на основе онтологии предметной области позволяет уменьшить двусмысленность концептов и снизить риски реализации неэффективной архитектуры ИС. В рамках ER-модели разработанная ранее

онтология представляется как набор сущностей ( $n$ -арных отношений). Далее на основе этой модели создается логическая схема, описывающая структуру данных в БД, типы данных, взаимосвязи и ограничения. Таким образом, БД наследует соответствующие идентификаторы, имена и описания понятий, включенных в онтологию, записи таблиц будут задавать отношения наследования между понятиями онтологии, а сама таблица содержать состав атрибутов каждого из понятий. Наследуемые от родительских понятий атрибуты описываются в составе родительских понятий. На основе перечисленного набора связей формируется информационная модель ключевых сущностей предметной области, соответствующее разработанной ранее модели онтологии [122].

Кроме того, описанный подход позволяет интегрировать в ИАС дополнительные данные из различных источников: традиционные системы БД, поддерживающие различные модели данных, репозитории, веб-сайты, файлы структурированных данных и др. [124].

Таким образом, сформулирована методика проектирования специальных ИС на основе объектно-когнитивного анализа предметной области, интегрирующий методы объектно-ориентированного анализа, онтологического анализа и семантической сети представления знаний.

В связи с этим, более точным наименованием системы, принадлежащей данному классу, является «Информационная система поддержки принятия решений» (ИСППР). Подобные системы относятся к классу интегрированных интеллектуальных систем, сочетающих строгие математические методы и модели поиска решения с эвристическими, логико-лингвистическими моделями и методами, базирующимися на знаниях экспертов, моделях человеческих рассуждений и накопленном опыте.

ИСППР – диалоговая система, которая обеспечивает пользователю доступ к моделям принятия решения и данным для того, чтобы поддержать слабоструктурированные и неструктурированные задачи принятия решения. В составе ИСППР средства искусственного интеллекта составляют экспертную подсистему, основанную на базе знаний и механизме логического вывода.

Система обеспечивает информационную поддержку ЛПП путем структуризации данных на основе базы знаний, формирования решений на основе логического вывода и доступа к результатам моделирования проблемных ситуаций.

В рамках заданных требований необходимо проектирование ИС, поддерживающей многоуровневую архитектуры работы с данными, в которой на каждом уровне реализуется отдельный вид анализа или обработки данных (рисунок 3.2):

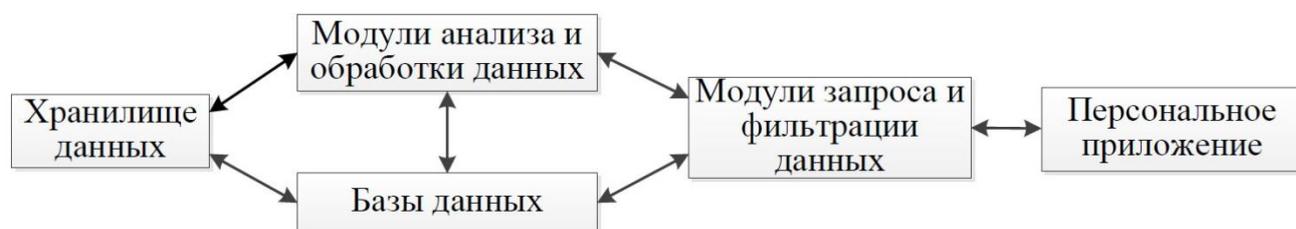


Рисунок 3.2 – Многоуровневая архитектура ИСППР

Тогда архитектура программного приложения поддержки принятия решения при реализации наукоемких проектов СТС должно включать:

1) хранилище данных и базы данных, отражающих структуру данных системы;

2) модули запроса, фильтрации и анализа данных, являющихся системными обработчиками данных и генерирующими ответы на запросы пользователя в соответствии с заложенной в них логикой;

3) персональное приложение – провайдера данных, имеющего пользовательский интерфейс и обеспечивающее унифицированную обработку запросов к модулям системы и формирование презентационного представления документа в заданной форме.

В информационной пространстве данной системы поддержки принятия решений возможно использование следующих знаний:

1. Семантические метазнания, представленные объектами и концептами предметной онтологии.

2. Формальные знания, представленные в виде правил продукций (база

правил), на основе которых осуществляется логический вывод решения в проблемной ситуации.

3. Знания о прошлых проблемных ситуациях и принятых управляющих решениях (прецеденты).

4. Фактографические данные, получаемые в результате мониторинга состояния сложной технической системы.

Основой интеграции указанных различных моделей представления знаний является единое информационное пространство когнитивных элементов проблемных ситуаций, сформированное в результате объектно-когнитивного анализа и моделирования процесса управления сложной системой [137].

Предложенная машинная модель онтологии поддерживает динамическое формирование и редактирование структуры понятий и объектов, входящих в состав онтологии предметной области, позволяя тем самым эффективно реализовать операции управления наукоемкими проектами разработки СТС [123].

Целью дальнейшего анализа и моделирования является формализация знаний, используемых в процессе управления сложными техническими системами в проблемных ситуациях.

### **3.2 Моделирование системных связей научно-технической системы**

С информационно-технической точки зрения наукоориентированное предприятие – это сложная корпоративная система, имеющая свои особенности, отличающие ее от других систем, а многопрофильный характер деятельности предполагает наличие нескольких направлений непрерывного развития, реализуемого возможностями современных информационных технологий: управление производственным процессом и проведением научных исследований, финансы, административное управление и управленческий учет, управление информационными ресурсами (рисунок 3.3) [61, 104].

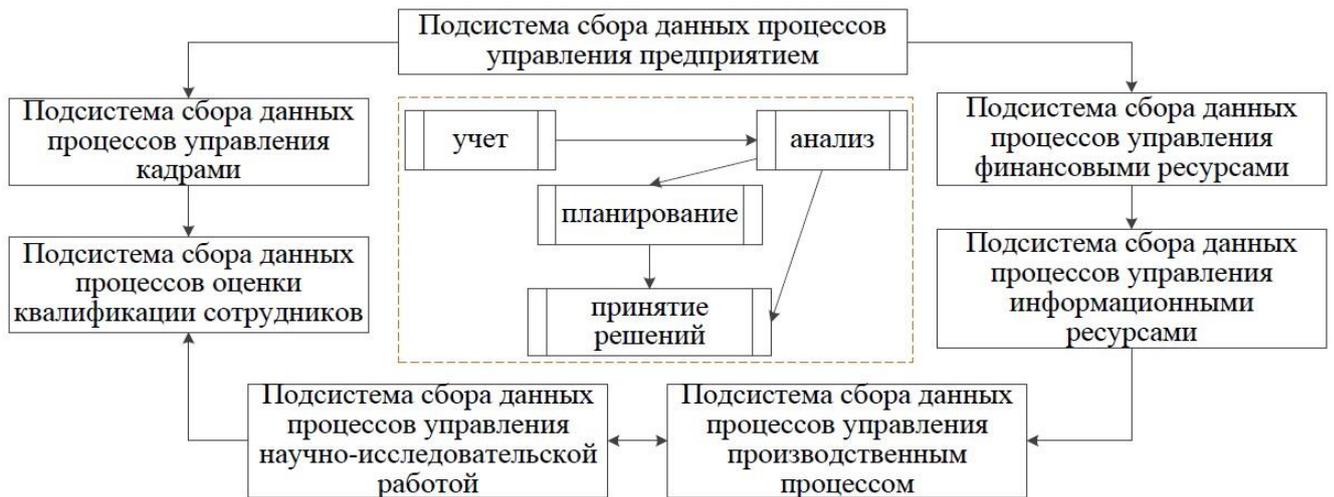


Рисунок 3.3 – Структура элементов типовой научно-технической системы

Рисунок 3.3 показывает насколько эффективен с точки зрения конечного результата комплексный подход к автоматизации процедур управления наукоемкими проектами как одной из составных частей производственных процессов. Это обстоятельство определяет необходимость проработки как методологических вопросов автоматизации описанного процесса, так и создания соответствующей автоматизированной технологии [69].

Технологический подход к реализации наукоемких проектов нацелен на сокращение рутинных операций по поиску информации и обработке накапливаемых данных для создания оптимальных условий в процессе управления проектами при реализации взаимосвязанных процедур: планирование, организация, координация и коммуникация участников (рисунок 3.4).

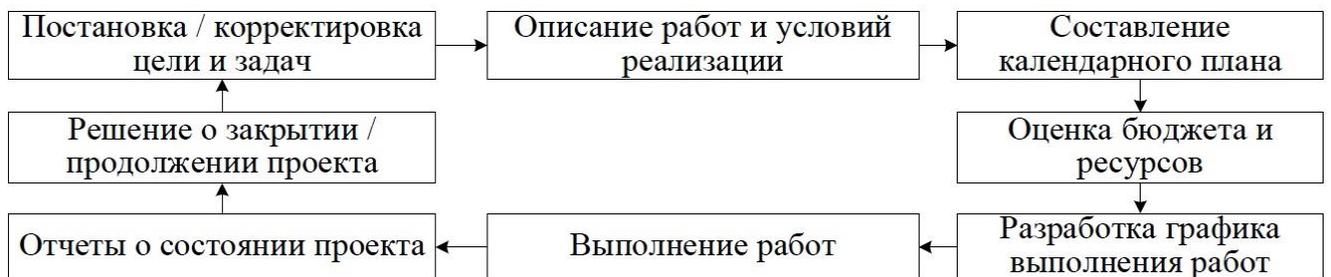


Рисунок 3.4 – Схема системных связей процесса реализации проекта

По отношению к рассматриваемой технической системе выделяются следующие основные способы задания целей (таблица 3.1):

Таблица 3.1 – Содержание целей научного исследования в разрезе аспектов его рассмотрения

Аспект рассмотрения исследования	Содержание цели
Внутренний	формулировка содержания и формы желаемого результата;
	установка требований к свойствам и характеристикам предполагаемого результата, исходя из целей его последующего использования;
Внешний	формулировка требований заказчика или потенциального пользователя, которым должен удовлетворять ожидаемый результат.

Для удобства проект обозначим как  $S$ . Тогда аспекты формулирования целей имеют следующее место в системе управления наукоемким проектом (рисунок 3.5) [63].

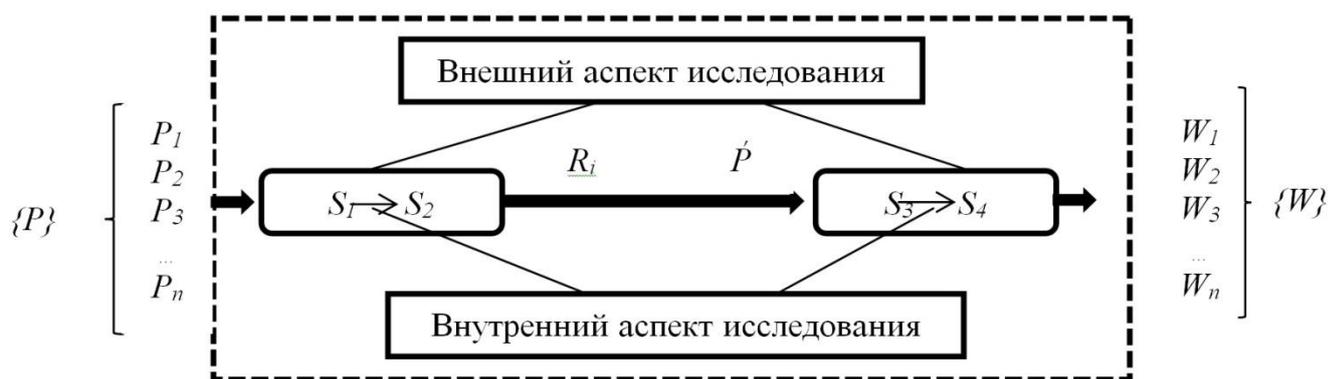


Рисунок 3.5 – Аспекты рассмотрения наукоемкого проекта

Здесь:  $P$  – множество научных целей, поставленных на этапе планирования проекта;  $P_i$  – цель  $i$ -го этапа проекта;  $R_i$  – результат  $i$ -го этапа проекта;  $\dot{P}$  – промежуточная цель, достигаемая на основе результата  $R_i$ ;  $W_i$  – цели  $i$ -го этапа проекта;  $W$  – множество целей, поставленных на основе анализа потребностей заказчика.

Указанные обстоятельства требуют наличия в информационно-аналитической системе поддержки процессов реализации научных исследований и разработок как минимум трех подсистем [35]:

1. Подсистемы учета наукоемких проектов, проводимых на базе

предприятия, а также позволяющей определять и контролировать основной вектор направления исследований.

2. Подсистемы управления всеми имеющимися проектами и организацией работы с фондами и инвесторами, оценки возможных способов реализации исследований и разработок.

3. Подсистемы, контролирующей финансово-правовые аспекты научно-технической деятельности.

Соответственно, в системе выделяется три группы пользователей – руководители проектов, менеджеры по работе с проектами и представители администрации предприятия (заказчика), создавая тем самым трехуровневую структуру управления проектной деятельностью.

К примеру, рассмотрим типовую модель организации и продвижения научных разработок на примере грантового процесса, модель в нотации IDEF0 выглядит следующим образом (рисунок 3.6).

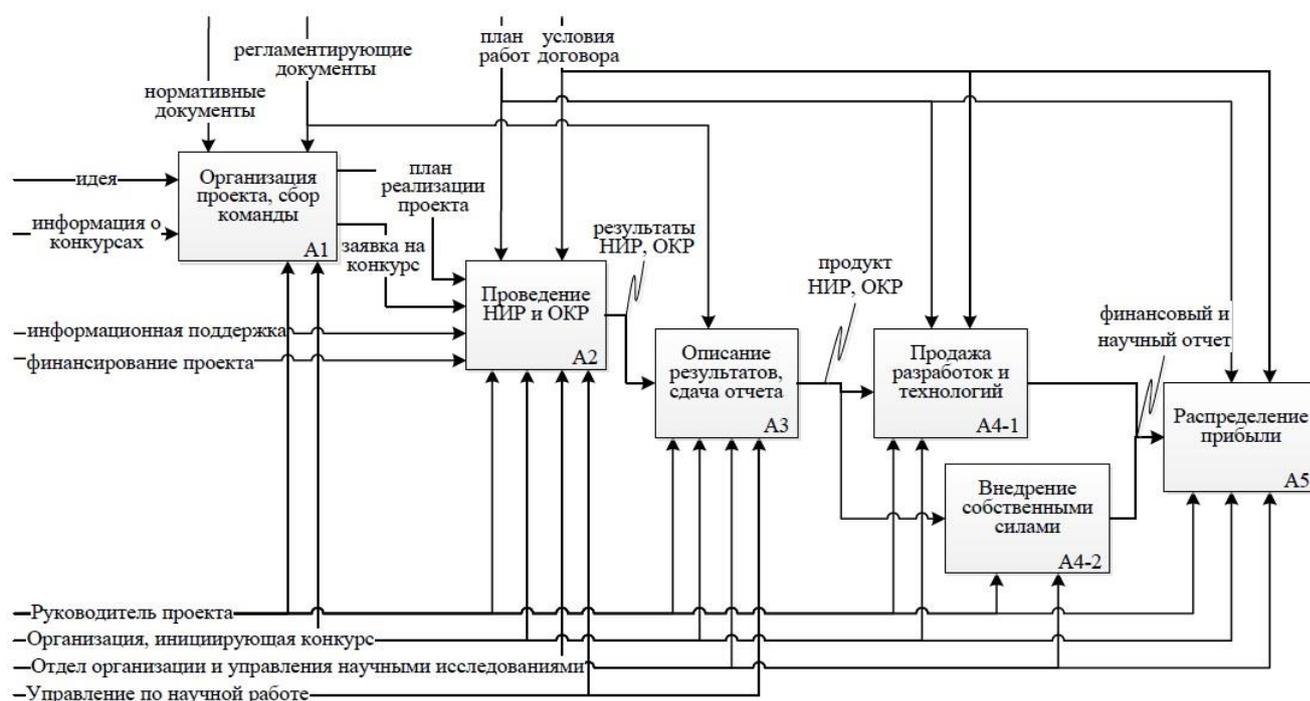


Рисунок 3.6 – Типовая модель процесса реализации наукоемкого проекта

Приведенная модель управления наукоемкими проектами показывает, что инициатором продвижения проекта являются сами авторы наукоемких проектов, дополнительно загруженные должностными обязанностями и ведением своих

разработок, а если учесть что продвижение и внедрение требует специальных знаний и навыков, то в данной ситуации указанное обстоятельство существенно снижает эффективность научной и инновационной работы.

Методика управления наукоёмкими проектами на основе современной управленческой культуры, основанной на компьютерных технологиях и знаниях экспертов, позволяет перейти от спонтанной деятельности отдельных научных сотрудников к планомерной работе, от отдельных проектов и разработок к системно организованной инновационной деятельности (рисунок 3.7).

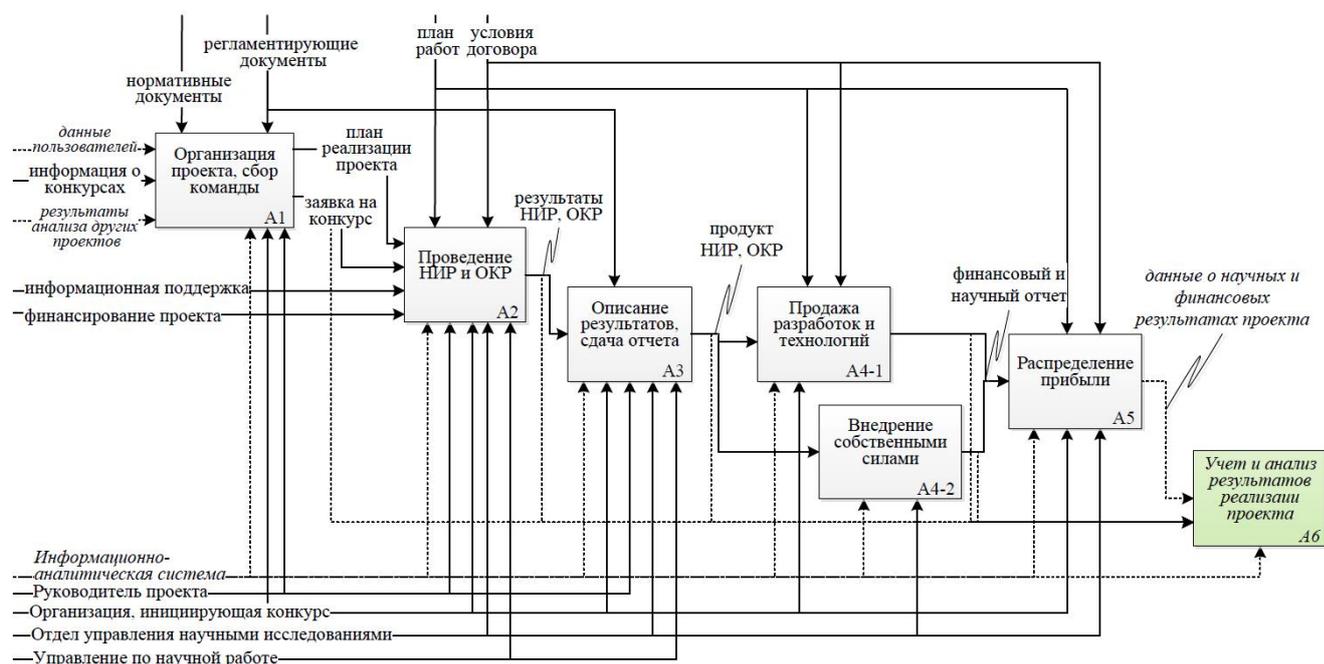


Рисунок 3.7 – Предлагаемая модель процесса реализации наукоёмкого проекта

Описанный подход позволит не только значительно снизить административную нагрузку руководителей проектов, но и эффективно тиражировать успешный опыт через учет, анализ и использование результатов предыдущих проектов.

Кроме того, на данном этапе реализации проекта необходима оперативная и качественно подготовленная информация, а принимая во внимание специфику управления набором инструментов отношений между основными участниками инновационной деятельности (ВУЗами, предприятиями и различными фондами), большие объемы слабо структурированных данных и ограничения времени на принятие решения, то основная задача создания интеллектуальных систем



использованию информации о научно-исследовательских достижениях, направленных на привлечение потенциальных заказчиков и инвесторов, определение необходимости научной и технической доработки и выбору оптимальных путей внедрения полученных разработок.

Таким образом, сегодня комплексное внедрение информационных технологий в практику управления проектной деятельностью является ключевым фактором развития наукоориентированных компаний. Поэтому создание интегрированной системы поддержки принятия решений в рамках инновационной инфраструктурой предприятия, ведения базы данных ее инновационных и научно-практических разработок, информационной поддержки инновационного процесса и исследований является одной из актуальных и значимых научно-технических задач [71], в рамках которой современные исследования направлены на методы и технологию подготовки и принятия решений.

Кроме того, формулирование целей и управление проектами неразрывно связано с *принятием решений*, процессом, определяемым как применение определенного алгоритма для решения задачи [70, 103]. Данная трактовка позволяет представить задачу принятия решений (ЗПР) в виде последовательности действий по устранению проблемы на пути достижения поставленной цели в виде представления идеальной формы результатов проекта.

Таким образом, формально содержание ЗПР можно представить следующим образом: в условиях проблемной ситуации  $N$ , характеризуемой совокупностью параметров  $p(n)$ , имеющегося времени  $t$  и располагаемого опыта и знаний по решению проблем  $Q$ , необходимо уточнить множество желаемых целей  $P$ , имеющих технологических и технических ограничений  $U$ , подобрать варианты решений  $Y$  на основе оценки соответствия их параметров  $p(y)$  заданной ситуации, далее, согласно алгоритму выбора варианта решения  $K$  и предпочтениям ЛПР –  $F$ , найти оптимальное решение  $Y(n)$ .

В общем виде ЗПР может быть описана следующей формальной моделью (3.2):

$$(N, p(n), t, Q, P, U, Y, p(y), K, F) \rightarrow Y(n), \quad (3.2)$$

где:

$N$  – совокупность характеристик проблемной ситуации;

$p(n)$  – параметры проблемной ситуации;

$t$  – время, отведенное для принятия решения;

$Q$  – имеющийся опыт и знания;

$P$  – множество желаемых целей на пути достижения результата;

$U$  – множество технологических и технических ограничений;

$Y$  – множество вариантов решения;

$p(y)$  – параметры альтернативных решений;

$K$  – алгоритм применения критерия выбора наилучшего решения;

$F$  – предпочтения ЛПР;

$Y(n)$  – оптимальное решение для  $N$ .

Из представленной модели видно, что повышение эффективности процесса управления наукоемких проектами разработки СТС возможно благодаря своевременной информационной и технической поддержке на основе накопленного опыта, создавая тем самым синергетический эффект за счет выстраивания специальных функциональных связей АКС.

Однако отправным пунктом к решению данной задачи является определение набора критериев оценки проекта, которые бы учитывали различия структуры возможных продуктов и результатов научно-исследовательской деятельности [34].

### **3.3 Разработка алгоритмов анализа данных наукоемких проектов**

Унифицированный подход к сбору данных по проектам и большое количество параметров способствует проведению интеллектуального анализа собранных данных на основе методологии многоцелевой оптимизации, технологий многомерного анализа и вероятностных моделей.

Многомерный анализ данных наукоемких проектов дает возможность не только оценить конкретный проект, но и определить степень его готовности, виды возможных продуктов и направления его развития. На основе данной информации

можно создать пакет проектов для участия в определенном конкурсе, грантах, тендерах, либо презентации инвестору.

Многомерный анализ (MVA) позволяет извлекать из баз данных и систематизировать в заданной форме информацию, необходимую для решения конкретной задачи за небольшое время работы информационно-аналитической системы. Интеллектуальный анализ данных (Data Mining), используя современный математический аппарат, позволяет выявить в наборе данных функциональные связи и закономерности [35]. Это позволяет организовать и проводить научно обоснованную активную инновационную политику и, как следствие, повысить эффективность внедрения производимых инноваций [107].

Сегодня многомерный интеллектуальный анализ является наиболее эффективным методом работы с большим объемом данных, позволяя проводить аналитическую обработку данных из разрозненных источников (файлов, баз данных и программных приложений), выполнять логический, статистический и многовариантный анализ в ограниченное время, определять скрытые зависимости в накопленных данных и строить информационную картину по различным выборкам данных, а также представлять необходимые для принятия решений данные в простом и понятном пользователям виде.

При этом данные технологии легко интегрируются в корпоративные информационные системы. К примеру, совместно с внедрением CRM-системы устанавливается и близкий аналог MVA – OLAP-система как средство обработки данных, накапливаемых в процессе работы CRM-системы. Более того, сейчас OLAP-решения являются базовым компонентом многих ERP-систем.

Технология извлечения и структуризации данных позволяет эффективно обрабатывать большие объемы информации и в рамках научной проектной деятельности способна решить следующие задачи:

- определение параметров оценки научно-технической разработки;
- выявление перспективных исследований и разработок;
- информационная поддержка существующих исследований;
- отбор кандидатов для их включения коллектив определенного проекта;

- определение наиболее эффективного способа внедрения;
- составление отчетов и системы их оценки.

Наиболее информативной аналитической моделью является так называемый «OLAP-куб», позволяя проводить оперативный анализ многомерных массивов данных. Куб, являясь многомерной структурой, позволяет отобразить большой объем данных для анализа. Составными элементами многомерной модели данных являются: *измерения* и атрибуты куба как аспекты исследования данных, *факты* и их метрики, организационная структура куба – *иерархии*, а также *ассоциации* между кубом данных и измерением.

Таким образом, измерения задают структуру модели данных, а метрики в виде ячеек куба представляют статистически вычисленные числовые значения, отображаемые пользователю системы.

Аналитические запросы пользователей, как правило, включают в себя вычисления, например, количество определенных значений таблиц БД и их соотношение. Такие запросы позволяют определить динамику накопления и изменения данных, а также скрытые взаимосвязи между данными, и представить их в виде отчетов заданной формы.

Основными потребителями *аналитических отчетов* являются специалисты по работе с наукоемкими проектами, в нашем случае – менеджер проектов. Он формирует запрос в БД с целью извлечения *аналитической информации*. Поэтому структуры *кубов данных* проектируются с целью поддержки определенных аналитических запросов и строятся в соответствии с заданными специалистом *измерениями* [97].

Важными для аналитика являются метрики OLAP-куба, поскольку, являясь результатом вычислений и переменной величиной, они соответствует фокусу исследования данных. Однако, даже с помощью специальных технологий сложно отобразить графически все значения интересующих мер такого многомерного массива данных, поэтому визуализация часто ограничивается табличным представлением с отображением сложной иерархии заголовков строк и столбцов, либо упрощенными моделями данных. Двумерное представление куба

формируются операциями «среза» его одной или нескольких осей (измерений) [97]. Срез может быть как поперечный, так и продольный (рисунок 3.9).

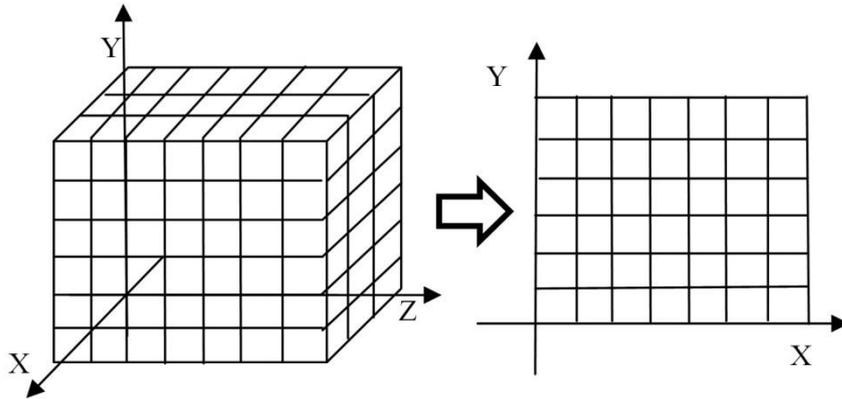


Рисунок 3.9 – Формирование среза куба

Далее выделенная таблица может быть визуализирована (рисунок 3.10).

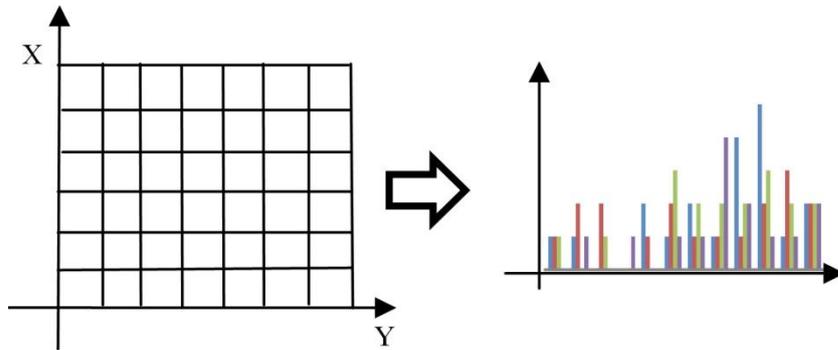


Рисунок 3.10 – Визуализация среза измерений куба

Поскольку куб задается тремя измерениями, то из одного отчета потенциально возможно получить множество срезов. В этом случае общее количество срезов задается следующей зависимостью (3.3):

$$W : (x, y, z) \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} W : (x, y) \rightarrow W = \{w_{z1}, w_{z2}, \dots, w_{zn}\} \\ W : (x, z) \rightarrow W = \{w_{y1}, w_{y2}, \dots, w_{yn}\} \\ W : (y, z) \rightarrow W = \{w_{x1}, w_{x2}, \dots, w_{xn}\} \end{array} \right\}, \quad (3.3)$$

где:

$x, y, z$  – измерения,

$w$  – мера.

Количество возможных измерений данных для анализа задается многомерной моделью (MD-модель) концептуального уровня, которая может быть получена на основе построенной ранее ER-модели [98]. В рамках данного

подхода в исходной модели сущность-связь между атрибутами, необходимыми для анализа, определяются связи «один-ко-многим» и «один-ко-одному» в зависимости от логики построения модели данных, т.е. связи типа «один-ко-многим» в ER-модели рассматриваются как потенциальные факт-сущность MD-модели, при этом связи «один-ко-одному» формируют иерархии в измерениях кубов. При этом для поддержки анализа данных по хронологии событий в MD-модели атрибут времени вычленяется в отдельную сущность «Период», фиксирующую даты конкретных событий.

Интеллектуальный анализ является эффективным средством использования данных предшествующих периодов, основанных как на стандартных (относительно простых) методах формирования отчетов и группировки итогов во многих срезах аналитических статей и ресурсным показателям, так и инструментом дополнительного получения прогнозов, адекватно данным предшествующих периодов, основанных на математическом моделировании. Что в комплексе с оценками проектов позволяет формировать оптимальные управленческие рекомендации согласно построенным прогнозам.

### **3.4 Разработка методики проектирования базы знаний СППР**

Решение по управлению конкретным наукоемким проектом принимается на основе анализа ситуации, в которой находится аналитик, развития проекта на данный момент, оценки его состояния и степени соответствия заданным условиям, а также анализа предыдущих результатов работы с данным проектом. Однако для успешного функционирования экспертной системы необходимо не только учитывать все имеющиеся данные, но и преобразовать информацию в форму, позволяющую правильно задать условия запроса, интерпретировать ситуацию и формулировать соответствующие рекомендации.

Поэтому для разработки и программной реализации системы поддержки решений по управлению научными проектами требуется сформировать базу знаний, что подразумевает решение следующих вопросов:

- 1) определение структуры и состава знаний, имеющихся в распоряжении экспертов;
- 2) выбор формата и модели представления знаний;
- 3) разработка структуры и процесса наполнения базы знаний в СППР.

### 3.4.1 Построение поля знаний эксперта

С технологической точки зрения процесс оценки потенциала новых проектов сегодня остается еще достаточно трудоемким и слабоформализованным, а необходимость переоценки внешних и внутренних факторов влияния на развитие проекта требует частого обращения к экспертам соответствующей предметной области, что значительно усложняет процесс оценки и анализа наукоемких проектов, следовательно, и принятие обоснованных решений. Эффективное решение задачи прогнозирования изменения характеристик наукоемких проектов на этапах НИР и ОКР заключается в использовании экспертных систем (ЭС), построенных на совокупности описанных знаний эксперта об объекте конкретной предметной области, структурированных в определенном порядке для формализации процесса принятия решения [99].

Исходным понятием на стадии структурирования знаний эксперта является *поле знаний*, определяемое как заданное в определенном формате описание основных понятий предметной области и взаимосвязей между ним.

Таким образом, поле знаний строится на основе описания *состояния среды* (ситуации) и совокупности всех возможных шагов решения задачи – *пространства состояний*. Поиск решений основывается на формализованном, удобном для работы, алгоритме представлении задачи, и описании последовательности смены состояний, ведущих к достижению поставленной цели. Процесс поиска решения задачи также носит название *вывод цели*. Алгоритм переводит задачу из одного состояния в другое посредством заданных условий [99].

### 3.4.2 Формирование базы знаний экспертной системы

Как упоминалось ранее, построение онтологии позволяет разработать базу знаний с набором определенных правил, присущих конкретной предметной области, в совокупности с выделенными объектами и концептами эти правила формируют так называемую семиотическую модель области знаний, представляющую собой в классической форме модель (3.4):

$$M = \langle T, P, A, \Pi \rangle, \quad (3.4)$$

где:

$T$  – множество базовых элементов любой природы (в нашем случае это ребра и вершины графов). Существует конструктивная процедура  $\pi_1$ , которая позволяет установить одинаковы  $T_n$  и  $T_{n+1}$  или нет, а также их принадлежность к  $T$ .

$P$  – Синтаксические правила, используются для того, чтобы из базовых элементов строить такие их совокупности, которые в рамках данной формальной системы считаются синтаксически правильными совокупностями. На синтаксические правила нет особых ограничений, нужно только, чтобы была процедура  $\pi_3$ , которая позволяла бы установить является эта синтаксическая совокупность правильной или нет.

$A$  – Система аксиом, образует любое множество синтаксически правильных совокупностей. В нашем случае это позволит выделять любые интересующие нас элементы, в том числе кластеры и подграфы.

$\Pi$  – Семантические правила или правила вывода, расширяют, если это возможно, множество аксиом, добавляя к ним новые синтаксически правильные совокупности. В нашем случае это важно, потому как позволяет соотносить междисциплинарные данные, а также организовать взаимоотношения данных на разных уровнях многоуровневой модели [145].

Таким образом, для разработки базы знаний необходимо определиться с видом и способом описания условий, оценки ситуации и представления промежуточных выводов и итоговых рекомендаций.

Продукционные правила обеспечивают естественный способ описания

процессов, управляемых сложной и изменяющейся средой. Правила дают возможность описать ход решения задачи, не имея заранее алгоритма этого решения, а также корректировать способ решения путем добавления новых правил, не изменяя существующих, что обеспечивает высокую модульность базы знаний [100].

В общем виде продукционная модель имеет следующий вид (3.5):

$$i = \langle T; L; A \rightarrow B; Q \rangle, \quad (3.5)$$

где:

$T$  – описание ситуации;

$L$  – условие, при котором продукция активизируется;

$A \rightarrow B$  – ядро продукции, представляющее собой условие: если  $A$ , то  $B$ ;

$Q$  – постусловие продукционного правила, описывает действия, совершаемые после реализации  $B$ .

В ЭС в качестве исходной информации для формирования списка рекомендуемых действий используются данные о состоянии проекта и условия ситуации, в которой он находится на момент запроса.

Тогда конструирование вывода в ЭС будет включать следующие операции: хранение значений всех атрибутов и проверка на истинность в процессе решения задачи. Истинным считается факт, если он может быть выведен по законам формальной логики из имеющейся базы фактов и правил. При обращении к правилам согласно заданной ситуации обновляется содержимое рабочей памяти, при нахождении правила ( $B$ ) сопоставимого факту ( $A$ ) – правило срабатывает и выводится соответствующее решение.

Таким образом, процесс получения решения в ЭС имеет прямую цепочку вывода: поиск ведется на основе данных (data-driven search). Решение задачи начинается с анализа исходных фактов, затем, изменяя их состояние согласно допустимым правилам, переходит к новым фактам. Данный процесс продолжается до достижения заданной цели. В нашем случае это выдача рекомендации специалисту по работе с проектами.

### **3.5 Разработка интеллектуального алгоритма обучения и оптимизации правил базы знаний для отбора проектов по интегральной характеристике**

Качество ЭС определяется размером и актуальностью используемой базы знаний, поэтому поддержка принятия решений в динамичной среде, какой является проектное управление, предъявляет требования к адаптивности и функциональному развитию экспертной системы. Однако привлечение экспертов для расширения и корректировки базы знаний ЭС в соответствии новыми данным в большинстве случаев нецелесообразно, сегодня данная задача эффективно решается использованием алгоритмов машинного обучения.

#### **3.5.1 Выбор алгоритма обучения и описание его параметров**

Для автоматического обновления базы знаний необходим алгоритм поиска в данных, позволяющий извлекать правила из базы данных на языке, формализующем новые знания в *if-then* правилах данной базы знаний. А учитывая разнообразие и большое количество решаемых задач, к алгоритму предъявляются высокие требования по скорости реализации и используемому объему памяти.

Всем представленным требованиям на сегодняшний день наиболее полно отвечает алгоритм построения дерева решений, известные также как деревья регрессии и классификации (CART, Classification and Regression Tree). Данный алгоритм предполагает механизм анализа данных, позволяющий выявлять закономерности и представлять их в виде иерархической и последовательной структуры, состоящей из узлов принятия решений на основе собранных данных и набора заданных переменных, а также представлять новые знания о причинно-следственных связях в виде, доступном для интерпретации экспертами в процессе отнесения объектов анализа к одному из заданных классов [115, 116].

Лежащая в основе деревьев решений структура данных является простой и не требует большой вычислительной мощности для поиска решения, поскольку информация о данных хранится в компактной форме. Данный алгоритм data

mining особенно хорошо подходят для задач формализации шаблонов в данных, поэтому с его помощью устраняется проблема массовой обработки информации в реальном времени [115].

Для последующего описания методики оптимизации правил БЗ на основе данного алгоритма введем основные понятия из теории деревьев решений:

- объект – пример, наблюдение, точка в пространстве атрибутов ( $x$ );
- атрибут – признак, независимая переменная, свойство объекта ( $A$ );
- метка класса – зависимая переменная, целевая переменная, признак, определяющий класс объекта ( $r_v$ );
- узел – внутренняя вершина дерева, узел проверки условия ( $v$ );
- лист – терминальная вершина дерева, узел решения ( $I$ );
- проверка – условие в узле ( $c(v)$ ).

Построение дерева решений относится к классу обучения с учителем, т.е. обучающая и тестовая выборки содержат набор размеченных данных. Оценочная функция, используемая данным алгоритмом, базируется на идее снижения неопределенности в узле принятия решения, поэтому структура данных строится таким образом, при котором в каждом узле дерева попадает как можно больше примеров одного класса и как можно меньше всех других, что часто связывается с понятием энтропии и выражается в критерии расщепления [114].

Другим вопросом, актуальным для всех эвристических алгоритмов, является определение оптимального уровня описания данных, в частности для дерева решений это размер конечного дерева. Так, мало разветвленное дерево может не отразить часть важной для исследования информацию о выборочном пространстве, с другой стороны, слишком детальное дерево может нагрузить базу знаний излишне подробными и незначительными правилами. Поэтому трудно определить, когда алгоритм должен прекратить наращивание внутренних узлов, потому что невозможно спрогнозировать, добавление какого узла позволит наиболее значительно уменьшить неопределенность в структуре данных.

Таким образом, для реализации алгоритма необходимо определиться с двумя его основными параметрами:

1. Описать критерий выбора атрибута для разбиения объектов на подмножества.
2. Установить критерий остановки построения дерева.

### 3.5.2 Настройка параметров алгоритма обучения

Деревья решений строятся сверху вниз. В ходе процесса обучения алгоритм должен найти такой критерий разбиения атрибута, чтобы полученные подмножества объектов наиболее максимально соответствовали определенному атрибуту и данному узлы проверки. При этом основное правило выбора атрибута в каждом узле: он должен разбивать исходное множество данных таким образом, чтобы объекты подмножеств, получаемых в результате этого разбиения, являлись представителями одного класса или же были максимально приближены к такому разбиению [114].

Выбор атрибута для разбиения множества объектов, как уже отмечалось, определяется на основе прироста информации (information gain, IG), измеряющего ожидаемое уменьшение энтропии. Пусть множество элементов  $T$ , некоторые из которых обладают свойством  $A$ , классифицировано посредством всех возможных значений этого атрибута  $c$ , имеющего  $a$  возможных значений, тогда прирост информации определяется как (3.6):

$$\text{Gain}(T, A) = \text{Entropy}(T) - \sum_{i=1}^a p_i \text{Entropy}(T_i), \quad (3.6)$$

где  $T$  – множество объектов (набор данных),  $A$  – атрибут,  $T_i$  – множество элементов  $T$ , на которых атрибут  $A$  имеет значение  $a$ ,  $c$  – возможные значения атрибута,  $p$  – доля элементов принимающих определенное значение атрибута  $T_i$  во всем множестве элементов  $T$ .

Данная формула выражает прирост информации в виде суммарной энтропии множества, но за вычетом энтропии подмножеств, созданных в результате разбиения [115].

Наиболее полно понятие энтропии развито в методе CART (Classification and Regression Tree) и формализовано в индексе *Gini*. Данный метод реализует

бинарную классификацию, каждой внутренней вершине  $v$  приписано условие  $c(v) \geq I$  или  $c(v) < I$ , каждой терминальной вершине приписано имя класса  $r_v$ . При классификации объекта  $x$  он проходит по дереву путь от корня до некоторого листа.

Если набор данных  $T$  содержит данные  $n$  классов, тогда индекс  $Gini$  определяется как (3.7):

$$Gini(T) = 1 - \sum_{i=1}^n p_i^2, \quad (3.7)$$

где  $p_i$  – вероятность (относительная частота) класса  $i$  в  $T$ . Если набор  $T$  разбивается на две части  $T_1$  и  $T_2$  с числом примеров в каждом  $N_1$  и  $N_2$  соответственно, тогда показатель качества разбиения будет равен (3.8):

$$Gini_{split}(T) = \frac{N_1}{N} Gini(T_1) + \frac{N_2}{N} Gini(T_2). \quad (3.8)$$

Таким образом, при построении дерева решений по методу CART выявляется такой вариант ветвления, при котором максимально уменьшается значение показателя  $Gini_{split}(T)$ .

Представленный механизм расщепления можно описать в виде следующей процедуры:

1. Вычисляем энтропию исходного множества  $Gini(S)$ :

1.1. Если  $Gini(S) = 0$ , значит все объекты исходного набора принадлежат к одному классу, сохраняем этот класс в качестве листа дерева.

1.2. Если  $Gini(S) \neq 0$ , значит перебираем все элементы исходного множества, при этом выбирается  $k$ -ый признак  $f_k$  с множеством значений  $X(k)$ , на основе каждого элемента генерируем предикат вида  $x_{i1} \leq c < x_{i2}$ , где  $c$  – некоторый порог, который чаще всего выбирается как среднее арифметическое двух соседних упорядоченных значений переменной обучающей выборки и разбивающий исходное множество на два подмножества.

2. Рассчитываем значение прироста определенности, при этом определяется такое значение  $x_0(k) \in X(k)$  для всех признаков  $f_k$ ,  $k = 1, \dots, m$ , чтобы мера неопределенности  $Ginisplit$  была минимальной, т.е.:

$$x_0^{(k)} = \arg \min_{f_k, x^{(k)} \in X^{(k)}} Gini_{split}(T, X^{(k)}).$$

Найденный предикат является частью дерева принятия решений, он сохраняется, а исходное множество разбивается на два подмножества согласно полученному условию.

3. Указанная процедура выполняется рекурсивно для каждого полученного подмножества до тех пор, пока не будет достигнуто условие критерия остановки [117].

Другим важным параметром выбранного алгоритма является критерий остановки при построении дерева. Если допустить построение дерева только до достижения им уровня, на котором все элементы принадлежат к одному классу ( $Gain(T) = 0$ ), это позволит полностью подогнать дерево принятия решений под обучающую выборку данных, то выведенные правила будут являться слишком длинными и подробными. В этом случае дерево решений называют «переобученным».

Ограничение дерева подразумевает удаление узлов, дающих наименьшее значение прироста определенности и дополнительной информации, для этого можно использовать одну из двух возможных стратегий:

1. Набор процедур, которые автоматически задают размер дерева, например, механизм отсечения *minimal cost-complexity tree pruning* [114].

2. Нарастить дерево до определенного размера в соответствии с параметрами остановки обучения, заданными пользователем, часто используются следующие:

а) ограничение глубина дерева, в этом случае существует риск снижения точности классификации, поэтому рекомендуется вместо остановки использовать отсечение;

б) задание минимального количества примеров, которые будут содержаться в конечных узлах дерева, т.е. ветвление продолжается до того момента, пока все конечные узлы дерева не будут чистыми или будут содержать не более чем заданное число объектов.

При условии, что в ходе классификации все объекты должны быть разбиты

на заданное количество класса и иметь достаточный для формализации набор условий в рамках одного правила, наиболее приемлемым в качестве критерия остановки обучения является задание минимального количества примеров в листе дерева. Данный подход экономит ресурсы системы, а также дает возможность регулировать полноту БЗ и уровень детализации ее правил.

Таким образом, при обучении данного алгоритма необходимо определить уровень критерия остановки обучения, что требует более глубокого изучения конкретной предметной области.

### 3.5.3 Оценка эффективности алгоритма обучения

В данном случае классификация производится более чем на 2 класса, ROC-анализ практически не применим, поэтому ограничимся только метриками точности (precision) и полноты (recall), которые широко используются при оценке эффективности алгоритмов извлечения информации.

Точность алгоритма классификации отражает долю объектов, действительно принадлежащих определенному классу относительно всех объектов, которые система отнесла к данному классу. Полнота системы – это доля найденных классификатором объектов, принадлежащих классу относительно всех объектов этого класса в тестовой выборке.

Метрика полноты демонстрирует способность алгоритма обнаруживать данный класс, а точности – способность отличать этот класс от других классов. Описанные значения рассчитываются на основании таблицы контингентности, которая содержит информацию о количестве верных и неверных решений принятых системой по объектам заданных классов таблица 3.2.

Тогда, точность и полнота определяются следующим образом:

$$\text{Precision} = \frac{TP}{TP + FP},$$

$$\text{Recall} = \frac{TP}{TP + FN}.$$

Таблица 3.2 – Таблица контингентности системы классификации

Категория		Экспертная оценка	
		положительная	отрицательная
Оценка алгоритма	положительная	истинно-положительное решение (TP)	ложно-положительное решение (ошибка I рода) (FP)
	отрицательная	ложно-отрицательное решение (ошибка II рода) (FN)	истинно-отрицательное решение (TN)

Обычно при оптимизации параметров алгоритма используется одна метрика, улучшение которой ожидается на тестовой выборке. Именно такой метрикой является F-мера, которая представляет собой среднее гармоническое precision и recall (3.9).

$$F = 2 \frac{\text{Precision} \times \text{Recall}}{(\text{Precision} + \text{Recall})}. \quad (3.9)$$

Данная формула придает одинаковый вес точности и полноте, если же необходимо отдать приоритет одной из этих метрик при разработке алгоритма, используется формула (3.10):

$$F = (\beta^2 + 1) \frac{\text{Precision} \times \text{Recall}}{\beta^2 \times (\text{Precision} + \text{Recall})}. \quad (3.10)$$

Если приоритет отдается точности,  $\beta$  принимает значения в диапазоне  $\{0;1\}$ , а если полноте – то  $\beta > 1$ . При  $\beta = 1$  формула сводится к предыдущей (3.14) и выводится сбалансированная F-мера.

Таким образом, предложена методика оптимизации БЗ экспертной системы, которая позволяет автоматически расширять набор ее условий на основе новых данных о динамике развития наукоемких проектов определенной предметной области, каждое новое правило хранится в базе знаний до тех пор, пока не будет добавлено правило исключаящее его.

### Выводы по главе 3

Проведенный анализ показал очевидную необходимость использования современных принципов, базирующихся на существующих и перспективных интеллектуальных информационных технологиях для автоматизированного

сбора, интеграции и комплексного анализа всех видов информации, генерируемой и используемой в процессе реализации сложных технических систем.

В данном разделе:

1. Показана эффективность современных инструментов многомерного анализа в смежных областях, позволяющая накапливать большие объемы разнородных данных, формировать различные выборки данных, проводить автоматизированный анализ данных и выявлять закономерности, способствуя их самостоятельному развитию.

2. Описана методика разработки специальных информационных систем на основе модели онтологии предметной области, позволяющая сократить время внедрения разработанных алгоритмов в конкретные сферы деятельности.

3. Построена концептуальная модель научно-технической системы, отражающая комплекс мероприятий по работе с данными наукоемких проектов.

4. Описание функциональных зависимостей основных элементов сложных научно-технических систем выявило направления и содержательный аспект анализа проектов, что позволило сформулировать подход к разработке многомерной модели данных.

5. На основе предлагаемой архитектуры ИС разработана методика формирования и расширения базы знаний предметной области, а также алгоритмы многомерного и интеллектуального анализа наукоемких проектов разработки СТС.

Таким образом, сформулирована методология разработки специальных ИС на основе объектно-когнитивного анализа предметной области, интегрирующий методы объектно-ориентированного анализа, онтологического анализа и семантической сети представления знаний.

## ГЛАВА 4 РЕАЛИЗАЦИЯ МЕТОДИК И АЛГОРИТМОВ НА ПРИМЕРЕ РАЗРАБОТКИ ЭКСПЕРТНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ НАКОЕЖКИМИ ПРОЕКТАМИ

### 4.1 Анализ предметной области и формулирование требований к СППР

В качестве объекта исследования выбран бизнес-инкубатор ФГБОУ ВО «ИжГТУ имени М.Т. Калашникова». Данное подразделение было образовано в декабре 2007 года при поддержке Федерального агентства по образованию и решает следующие задачи: поиск идей, реализация которых имеет практическое применение на производстве и в сфере услуг, их систематизация и подготовка предложений по проведению научных разработок учеными университета; маркетинг научно-технической продукции университета; поиск заказов, заключение и сопровождение договоров на разработку и внедрение научно-технической продукции; участие в организации и проведении конференций, конкурсов, форумов, семинаров, презентаций и иных аналогичных мероприятий, в том числе выставок-сессий инновационных проектов студентов, магистрантов, аспирантов, молодых ученых и научных работников с целью их коммерциализации/внедрения на предприятиях и в организациях; оказание организационной и консультационной помощи в подготовке научно-технических и инновационных проектов; предоставление образовательных услуг [101].

Как показал анализ предметной области, система комплексной информационной поддержки инновационной деятельности бизнес-инкубатора должна содержать следующую группу функциональных модулей, объединенных общей программной платформой:

1. *Организация информационного сопровождения научных исследований:* оповещение потенциальных руководителей проектов и исполнителей об имеющихся конкурсах, грантах, заказах на НИР и т.п., управление процессом формирования коллектива, составления, отбора и подачи заявок.

2. *Управление научными кадрами:* ведение реестра сотрудников, научных

сотрудников вузов-партнеров, сведений о публикациях и проектах, связанных с ними.

3. *Поиск конкурсов, грантов, заказов на НИОКР.*

4. *Поддержка научных исследований:* управление ходом НИР и ОКР, формирование и ведение исследовательской и проектной деятельности, распределение задач, составление плана исследовательских работ, способов достижения целей, раскрытия информации в виде публикаций, сбор подробных и формализованных описаний результатов всех проводимых исследований.

5. *Управление интеллектуальной собственностью:* ведение библиотеки публикаций и результатов интеллектуальной деятельности.

6. *Подготовка и построение отчетных документов:* формирование отчетов по всем сотрудникам и научным коллективам о результатах их научно-исследовательской деятельности по временным периодам, научным направлениям, источникам финансирования и др.

7. *Хранилище документов:* хранение и общий доступ к файлам конкурсной документации, заявкам и отчетам.

Реализуемая информационно-аналитическая система должна поддерживать функции сбора, структуризации и анализа информации о сущности проводимых исследований и разработках, а также процесс проведения комплексного анализа имеющегося научного потенциала и оценку степени реализуемости инновационных проектов, т.е. оперативный (многомерный) и интеллектуальный анализ данных.

Представленные аналитические возможности СППР способны повысить скорость принятия обоснованных решений при разработке и реализации стратегий управления наукоемким проектом разработки сложных технических систем путем интеграции технологии интеллектуального анализа данных в процессы накопления и хранения данных в рамках единого программного решения [111, 116].

## 4.2 Выбор экспертов и разработка модели онтологии предметной области

В качестве экспертов отобраны специалисты, непосредственно участвующие в процессе организации и управления наукоемкими проектами. Ими выступили сотрудники кафедр экономики и менеджмента, а также руководители компаний и специалисты бизнес-инкубатора ФГБОУ ВО «ИжГТУ имени М. Т. Калашникова».

Проведем оценку мнений выбранных экспертов согласно методике описанной в разделе 2.2.1. Для этого сведем значения критериев оцени экспертов в таблицу 4.1.

Таблица 4.1 – Расчет баллов эксперта

	Критерии				Средневзвешенная сумма баллов
	Общий стаж работы	Отношение к предметной области	Опыт организации и ведения проектов	Опыт оценки и отбора проектов	
Вес критерия	0,1	0,2	0,3	0,4	
Эксперты	-	-	-	-	
1	3	3	3	3	3
2	3	3	3	3	3
3	2	3	3	3	2,9
4	3	2	3	3	2,8
5	2	3	2	3	2,6
6	1	3	2	3	2,5
7	3	2	3	2	2,4
8	3	2	3	2	2,4
9	2	2	3	2	2,3
10	2	3	1	3	2,3
11	3	2	2	2	2,1
12	2	1	2	2	1,8
13	3	2	2	1	1,7
14	2	1	3	1	1,7
15	2	2	2	1	1,6

Результаты расчета весов мнений экспертов представлены в таблице 4.2.

Полученные коэффициенты весомости мнений экспертов в последующем позволят получить средневзвешенные значения результатов опроса экспертов.

Таблица 4.2 – Расчет весомости оценок эксперта

Эксперт	Сумма баллов	Ранг эксперта	Коэффициент компетентности эксперта, рассчитанный по методу Фишберна
1	3	1,5	0,121
8	3	1,5	0,121
9	2,9	3	0,108
6	2,8	4	0,100
5	2,6	5	0,092
7	2,5	6	0,083
2	2,4	7,5	0,071
4	2,4	7,5	0,071
3	2,3	9,5	0,054
10	2,3	9,5	0,054
11	2,1	11	0,042
12	1,8	12	0,033
13	1,7	13,5	0,021
14	1,7	14,5	0,013
15	1,6	15	0,008

Далее перейдем к формированию содержательной и концептуальной модели онтологии предметной области. В рамках данной работы представим реализацию модели онтологии технических проектов.

Для выбора критериев оценки научно-технических проектов проведен анализ научной литературы, рекомендаций законодательной базы [81] и анализ используемых на практике критериев более чем 50 крупными отечественными и зарубежными фондами поддержки научных и инновационных проектов (таких как РФФИ, РНФ, РГНФ, Фонд содействия отечественной науке, Фонд Сколково, Американский фонд гражданских исследований и развития, Фонд Карнеги, Фонд Мотта и др.), а также в конкурсах, проводимых различными организациями (UniverStartUp 2014, Intellect2All, конкурс молодежных проектов Росмолодежь, конкурсы Совета по грантам Президента РФ и министерства экономики РФ и др.) и характеризующих научный потенциал и реализуемость проектов.

Далее по частоте упоминания того или иного критерия и полноте представления всех аспектов анализа составлен обобщенный список критериев оценки наукоемких проектов и требований, предъявляемых к их содержательной части, список включает 8 критериев (таблица 4.3).

Представленный набор критериев содержит как научные критерии, так и

критерии оценки проектов внедрения, что является логичным, так как фундаментальный научный проект при его тщательной проработке и продвижении на определенной стадии становится основой одного или нескольких научно-прикладных проектов, которые на стадии реализации приобретают черты проектов внедрения.

Таблица 4.3 – Критерии анализа научно-технических проектов

Обозначение	Критерии	Частота упоминания, %
К1	Руководитель проекта обладает соответствующими профессиональными навыками и опытом ведения подобных проектов	92
К2	По проекту имеются публикации, научный задел и интеллектуальная собственность	83
К3	Проект обеспечен необходимыми ресурсами	66
К4	Имеется адекватная оценка условий, в которых ведется проект, и четкий план его реализации	72
К5	Проект имеет подробное технико-экономическое обоснование	88
К6	Потенциальные результаты проекта являются новыми для соответствующей научной дисциплины	82
К7	Результаты проекта могут быть использованы в других проектах	64
К8	В реализации проекта и его результатах заинтересованы предприятия (государство, инвесторы).	47

Данный список является обобщенным, однако он содержит все параметры, характеризующие состояние проекта на конкретный момент времени. На основе выделенных критериев и содержательного анализа научных и инновационных проектов различного уровня и стадии реализации разработана структура паспорта проекта, отражающего характеристики руководителей проектов и его исполнителей, а также характеристики самого проекта: управленческие, научно-исследовательские, производственно-экономические, перспективность и уровень кооперации. Все параметры в соответствии с их содержанием и целевой направленности отнесены к одному из критериев.

В рамках данной работы представлена структура паспорта технических проектов (таблица 4.4).

Таблица 4.4 – Содержание паспорта проекта

	№	Параметр	Критерий
<i>Данные паспорта руководителя (P<sub>i</sub>)</i>			
Управленческие параметры	1	Фамилия Имя Отчество	-
	2	Дата Рождения	К1
	3	Адрес проживания	-
	4	Контактные данные	-
	5	Ученая степень	К1
	6	Ученое звание / учебный статус	К1
	7	Полное название организации – места работы/учебы	-
	8	Текущая должность	К1
	9	Научные интересы	-
	10	Область научных интересов (коды по классификатору)	-
	11	Публикации руководителя проекта	К1
	12	Данные об организации, в которой реализуется научный проект	-
	13	Опыт участия в заказных научных исследованиях, грантах, тендерах, целевых программах	К1
	14	Уверенность владения английским языком	К1
<i>Данные паспорта проекта (p<sub>i</sub>)</i>			
Научно-исследовательские параметры	1	Название проекта	-
	2	Тип проекта	-
	3	Область исследований	-
	4	Научная дисциплина	-
	5	Назначение и область применения разрабатываемого изделия	-
	6	Сроки выполнения	К4
	7	Описание научной проблемы	К4
	8	Описание решаемых технических задач	К2
	9	Степень новизны предлагаемых методов решения научно-технической проблемы	К6
	10	Степень оригинальности и уникальности ожидаемых научных результатов	К6
	11	Сфера применения результатов проекта	К7
	12	Стадия реализации проекта	К4
	13	Междисциплинарный характер работ	К7
	14	Состояние решаемой технической проблемы	К4
	15	Научный задел проекта	К2
	16	Уровень публикаций коллектива	К2
	17	Проработка требований технического задания на опытно-конструкторскую работу	К2
	18	Ожидаемые технико-экономические показатели	К4
	19	Планируется патентование результатов	К2
	20	Наличие объектов интеллектуальной собственности, связанных с проектом	К2
	21	Проект ведется в рамках гранта	К8
	22	Уровень разработки конструкторской документации	К4
	23	Применение в изделии заимствованных (ранее разработанных) составных частей, покупных изделий и материалов	К3
	24	Обеспеченность собственными финансовыми средствами	К3
	25	Возможность привлечения инвестора	К8
	26	Наличие прототипа и результатов его испытаний	К4

	№	Параметр	Критерий
Производственно-экономические параметры	27	Наличие спецификации изделия и ее соответствие требованиям систем конструкторской документации	К5
	28	Ожидаемые сроки окупаемости	К5
	29	Данные сравнения основных характеристик изделия с характеристиками аналогов	К6
	30	Уровень технико-экономического обоснования проекта	К5
	31	Оценка рентабельности	К5
	32	Бюджет проекта	К5
	33	Наличие описания и обоснования выбранной конструкции изделия	К5
	34	Наличие стратегии продвижения изделия	К5
	35	Масштаб проекта	К7
	36	Наличие необходимого персонала	К3
	37	Наличие необходимых мощностей	К3
Параметры перспективности	38	Наличие расчетов, подтверждающих работоспособность и надежность конструкции изделия	К5
	39	Влияние на импортозамещение	К6
	40	Соответствия используемых решений требованиям техники безопасности и производственной санитарии	К7
	41	Соответствие приоритетным направлениям развития науки, технологий и техники в РФ	К8
	42	Соответствие критическим технологиям РФ	К8
Параметры кооперации	43	Риски проекта	К5
	44	Уровень стандартизации и унификации	К8
	45	Реализуется по заказу или в интересах определенного предприятия	К8
	46	Согласование габаритных, установочных и присоединительных размеров с заказчиком или основным потребителем	К8

Таким образом, паспорт проекта содержит 60 пунктов, непосредственно для оценки проекта используются данные по 47 разделам паспорта – параметрам проекта, остальные – для отбора проектов из базы данных и анализа их структуры.

При этом каждый параметр согласно методике описанной в разделе 2.2.2 получает значение, соответствующее варианту представления данного параметра. К примеру, параметр «Стадия реализации проекта» может принимать следующие значения:

- незавершенные поисковые исследования – 0,06;
- незавершенные научно-исследовательские работы (НИР) – 0,12;
- незавершенные опытно-конструкторские работы (ОКР) – 0,20;

- незавершенный процесс внедрения – 0,27;
- продвижение готового продукта – 0,35.

Проведенный анализа связей параметров проекта ( $p_n$ ) с критериями оценки ( $K_n$ ) позволяет перейти к построению модели онтологии предметной области и разработке алгоритмов оценки наукоемких проектов.

### 4.3 Разработка алгоритмов оценки и отбора наукоемких проектов

#### 4.3.1 Агрегирование параметров наукоемкого проекта

Расчет значений меток «параметр-концепт» проведено путем индивидуального экспертного опроса [83] в соответствии с предложенной методикой (раздел 2.2.2 данной работы).

Согласно полученным коэффициентам весомости значения критериев оценки проекта рассчитываются следующим образом (таблица 4.5):

Таблица 4.5 – Расчет критериев оценки проекта

Обозначение	Описание критерия	Расчет оценки
K1	Профессиональные навыки руководителя проекта	$0,07P_2 + 0,21P_5 + 0,1P_6 + 0,18P_8 + 0,15P_{11} + 0,25P_{13} + 0,04P_{14}$
K2	Научная часть проекта	$0,1p_8 + 0,27p_{15} + 0,22p_{16} + 0,07p_{17} + 0,14p_{19} + 0,2p_{20}$
K3	Обеспеченность проекта ресурсами	$0,1p_{23} + 0,2p_{24} + 0,4p_{36} + 0,3p_{37}$
K4	План и условия реализации проекта	$0,15p_6 + 0,07p_7 + 0,1p_{12} + 0,21p_{14} + 0,18p_{18} + 0,04p_{22} + 0,25p_{26}$
K5	Технико-экономическое обоснование (ТЭО) проекта	$0,07p_{27} + 0,11p_{28} + 0,12p_{30} + 0,12p_{31} + 0,1p_{32} + 0,17p_{33} + 0,1p_{34} + 0,1p_{38} + 0,07p_{43}$
K6	Результаты проекта	$0,4p_9 + 0,2p_{10} + 0,3p_{29} + 0,1p_{39}$
K7	Потенциал применения результатов проекта	$0,3p_{11} + 0,1p_{13} + 0,4p_{35} + 0,2p_{40}$
K8	Актуальность и перспективность проекта	$0,07p_{21} + 0,1p_{25} + 0,25p_{41} + 0,18p_{42} + 0,04p_{44} + 0,21p_{45} + 0,1p_{46}$

Таким образом, получены количественные значения критериев оценки проекта, данное условие необходимо для корректного формирования нечетких множеств данных критериев.

На рисунке 4.1 предоставлена модель онтологии, описывающая совокупность взаимосвязей выбранных атрибутов и концептов исследуемой предметной области, выраженных параметрами проекта и критериями их оценки.

А также на схеме отображены коэффициенты влияния параметров наукоемкого проекта разработки СТС на соответствующие критерии его оценки.

#### **4.3.2 Статистическая анализ результатов работы экспертной группы**

В соответствии с общепринятой структуризацией научно - исследовательского процесса принято выделять стадии фундаментальных исследований (стадия *W*), прикладных исследований и разработок (стадия *N*), стадия продвижения и реализации научных и инновационных проектов (стадия *B*), как наиболее обобщенные характерные состояния процесса материализации результатов научных исследований.

Для последующей работы с данными, полученными от экспертов, проверим согласованность их мнений относительно значений критериев, оказывающих влияние на оценку проекта, а также проверим гипотезу о возможной разнице коэффициентов весомости критериев для разных типов проектов: фундаментальных, научно-прикладных и проектов внедрения, данный пункт также присутствовал в анкете опроса экспертов.

Согласованность мнений группы экспертов оценивается с помощью общего коэффициента ранговой корреляции – коэффициента конкордации *W*.

Значимость коэффициента конкордации оценивается по критерию согласования Пирсона  $\chi^2$ . Вычисленный  $\chi^2$  сравнивается с табличным значением для числа степеней свободы  $K = n - 1 = 12 - 1 = 11$  при заданном уровне значимости [105]:

а)  $\alpha = 0,05$ ;

б)  $\alpha = 0,01$ .



Итак, расчеты коэффициента конкордации дали следующие результаты (таблица 4.6).

Таблица 4.6 – Коэффициент согласованности мнений экспертов

Мнение экспертов	$W$	$\chi^2$	$\alpha$	Вывод
По оценке фундаментальных проектов	$W = 0,34$	37,84	0,05	Слабая степень согласованности. Так как $\chi^2$ расчетный > табличного (19,67514), то $W = 0,34$ - величина не случайная.
			0,01	Слабая степень согласованности. Так как $\chi^2$ расчетный > табличного (24.72497), то $W = 0.34$ - величина не случайная.
По оценке прикладных проектов	$W = 0,29$	27,36	0,05	Слабая степень согласованности. Так как $\chi^2$ расчетный > табличного (19,67514), то $W = 0,29$ - величина не случайная.
			0,01	Слабая степень согласованности. Так как $\chi^2$ расчетный > табличного (24.72497), то $W = 0.29$ - величина случайная.
По оценке проектов внедрения	$W = 0.245$	26,94	0,05	Слабая степень согласованности. Так как $\chi^2$ расчетный > табличного (19.67514), то $W = 0.245$ - величина не случайная.
			0,01	Слабая степень согласованности. Так как $\chi^2$ расчетный > табличного (24.72497), то $W = 0.245$ - величина не случайная.

Слабая степень согласованности мнений экспертов может быть объяснена как разнородностью экспертной группы по опыту и сферам профессиональной деятельности, так и тем, что для оценки всех проектов используются однородные критерии. Однако расчет коэффициента согласованности мнений экспертов показывает, что полученные результаты являются не случайными и имеют смысл для последующей работы с ними.

Гипотеза о распределении оценок экспертов по нормальному закону проверяется с помощью критерия согласия Пирсона, представляющего собой расчет разницы между эмпирическим ( $K_{набл}$ ) и теоретическим ( $K_{кр}$ ) распределениями [110].

Граница критической области  $K_{кр} = \chi^2(k-r-1; \alpha)$  определяется по таблице распределения  $\chi^2$  на основе заданных значений  $\sigma$ ,  $k = 11$ ,  $r=2$  (параметры  $x_{cp}$  и  $\sigma$  оценены по выборке). Анализ выявил следующие результаты (таблица 4.7).

Подтвердить или опровергнуть этот результат может статистический анализ связи между наблюдениями, который проводится с помощью непараметрического метода – расчета коэффициента ранговой корреляции Спирмена. В рамках данного метода определяется уровень корреляции между двумя количественными рядами изучаемых признаков, степень установленной связи выражается в виде коэффициента.

Таблица 4.7 – Анализ распределения результатов оценок экспертов

Мнение экспертов	$K_{набл}$	$K_{кр}$	Вывод
По оценке фундаментальных проектов	7.69	15.51	Наблюдаемое значение статистики Пирсона не попадает в критическую область: $K_{набл} < K_{кр}$ , поэтому принимается основная гипотеза, данные выборки имеют нормальное распределение.
По оценке прикладных проектов	12.36	16.92	Наблюдаемое значение статистики Пирсона не попадает в критическую область: $K_{набл} < K_{кр}$ , поэтому принимается основная гипотеза, данные выборки имеют нормальное распределение.
По оценке проектов внедрения	2.93	16.92	Наблюдаемое значение статистики Пирсона не попадает в критическую область: $K_{набл} < K_{кр}$ , поэтому принимается основная гипотеза, данные выборки имеют нормальное распределение.

При заданном уровне значимости  $\alpha$  проверяется нулевая гипотеза о равенстве нулю генерального коэффициента ранговой корреляции Спирмена,  $H_0: \rho=0$ , при этом альтернативная гипотеза задана как  $H_1: \rho \neq 0$ , для этого на основе табличного значения критических точек распределения Стьюдента, уровня значимости  $\alpha$  и числа степеней свободы  $k = n - 2$ , где  $n$  – количество наблюдений, вычисляется критическая точка ( $T_{кр}$ ) (таблица 4.8) [110].

Таблица 4.8 – Результаты расчета коэффициента Спирмена

Сравниваемые объекты	$\rho$	$T_{кр}$	Вывод
Оценка фундаментальных и прикладных проектов	0,393	0,65	Связь между наблюдениями слабая и прямая, а поскольку $T_{кр} > \rho$ , корреляция между оценками по двум тестам незначима.
Оценка прикладных проектов и проектов внедрения	0,3	0,67	Связь между наблюдениями слабая и прямая, а поскольку $T_{кр} > \rho$ , корреляция между оценками по двум тестам незначима.
Оценка фундаментальных проектов и проектов внедрения	- 0,68	0,52	Связь между наблюдениями умеренная и обратная, а поскольку $T_{кр} > \rho$ , корреляция между оценками по двум тестам незначима.

Наличие корреляционной связи подтверждает предположение автора об идентичности критериев оценки проектов различных типов, а слабость этой связи показывает, что проекты разных типов должны иметь свои особенности их оценки. Примечательна обратная зависимость между фундаментальными и проектами внедрения – это заключается в содержании работы над ними и получаемых результатах и продуктах интеллектуальной деятельности.

Соответственно каждому типу проекта может быть указан собственный

основной критерий. Результаты расчета коэффициента конкордации на основе рассчитанной суммы рангов также позволяют получить показатели весомости рассмотренных критериев (таблица 4.9), преобразовав матрицу опроса в матрицу преобразованных рангов.

Таблица 4.9 – Таблица весомости критериев оценки различных типов проектов

№	Критерии	Фундаментальный проект	Научно-прикладной проект	Проект внедрения
1	Профессиональные навыки руководителя проекта	0,173	0,116	0,092
2	Научная часть проекта	0,212	0,182	0,114
3	Обеспеченность проекта ресурсами	0,070	0,099	0,076
4	План и условия реализации проекта	0,084	0,078	0,097
5	Технико-экономическое обоснование проекта	0,070	0,061	0,107
6	Результаты проекта	0,184	0,161	0,183
7	Потенциал применения результатов проекта	0,113	0,184	0,178
8	Актуальность и перспективность проекта	0,095	0,119	0,153

Учитывая вышеописанное, можно считать, что полученные коэффициенты также имеют научную ценность и могут быть рекомендованы к назначению основного критерия для расчета степени достижения целевого состояния проекта.

Таким образом, в рамках разрабатываемой ИАС для фундаментального проекта в качестве основного критерия рекомендуется по умолчанию установить критерий «Научная часть проекта», для научно-прикладного проекта – критерий «Потенциал применения результатов проекта», для проектов внедрения – критерий «Результаты проекта».

#### 4.3.3 Реализация системы нечеткого логического вывода

Для решения поставленной задачи согласно представленной методике была разработана система нечеткой логики на основе алгоритма Мамдани [87]. Разработка базы правил СНЛВ также велась экспертами, непосредственно

занятыми в исследуемой предметной области.

Входами являются выбранные критерии, выходом – вероятностная оценки привлекательности проекта. Оценка проекта может иметь следующие состояния привлекательности: низкая, средняя, высокая. В значении каждого критерия оценки проекта выделены диапазоны значений и введены соответствующие лингвистические переменные (таблица 4.10).

Границы диапазона лингвистических переменных получены из расчета средней суммы параметров из паспорта проекта, входящих в соответствующие группы критериев.

Таблица 4.10 – Задание диапазона значений критериев

Наименование критерия	Значение лингвистической переменной					
	Лингвистический терм	Нечеткое множество	Лингвистический терм	Нечеткое множество	Лингвистический терм	Нечеткое множество
Профессиональные навыки руководителя проекта	низкий	0...15	средний	10...45	высокий	30...64,6
Научная часть проекта	слабая	0...20	средняя	11...65	высокая	50...79,2
Обеспеченность проекта ресурсами	недостаточно	0...38	достаточно для начала проекта	10...70	достаточно для реализации	55...93,4
План и условия реализации проекта	нет плана	0...25	общий план	17...40	четкий план	35...49,5
ТЭО проекта	слабое	0...30	среднее	19...55	высокое	50...60,3
Результаты проекта	незначительные	0...30	значительные	13...57,8	–	–
Потенциал применения результатов проекта	низкий	0...12	средний	6...60	высокий	40..80
Актуальность и перспективность проекта	неактуальный	0...50	актуальный	20...95,1	–	–
Оценка проекта	низкая	0...40	средняя	15...80	высокая	60...100

Из таблицы 4.10 следует, что, к примеру, для оценки опыта руководителя проекта значения формируют следующее множество:

$$K1 = (0; 10; 15; 30; 45; 64,6).$$

Для решения задачи моделирования представленной системы нечеткого вывода использовался пакет Fuzzy Logic Toolbox вычислительной среды MATLAB 2012 [88]. Данный пакет программ позволил разработать, построить, а

также протестировать необходимые для исследования модели.

Поскольку множество критерия  $K1$  конечно и содержит 6 элементов, нечеткое множество в общем виде для  $F1$  будет записано так:

$$\bar{A}_{F1} = \sum_{i=1}^6 \frac{\mu_{\bar{A}}(F1_i)}{F1_i},$$

где  $\mu_{\bar{A}}(F1_i)$  – степень принадлежности элемента  $F1_i$  нечеткому множеству  $\bar{A}$ , заданная числом из диапазона  $[0;1]$ .

Полученные функции принадлежности представлены на рисунке 4.2, а-з.

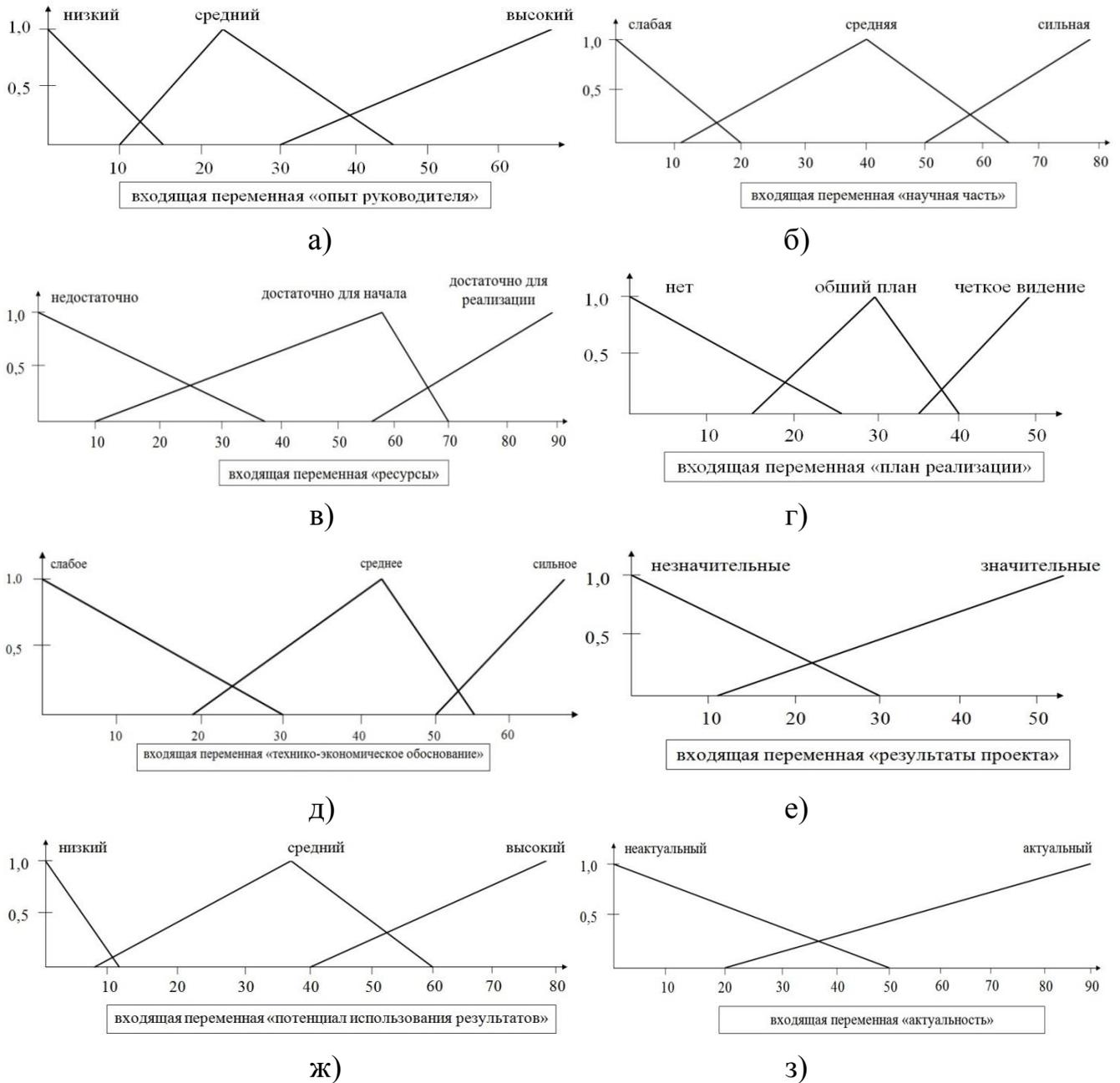


Рисунок 4.2 – Функции принадлежности входных параметров системы нечеткого вывода для расчета привлекательности проекта

Для значения лингвистической переменной «низкий» нечеткое множество задано следующим образом:

$$\bar{A}_{F1} = \left( \frac{1}{0}, \frac{0}{10} \right).$$

Для значения лингвистической переменной «средний» нечеткое множество задано следующим образом:

$$\bar{A}_{F1} = \left( \frac{0}{10}, \frac{1}{22}, \frac{0}{45} \right).$$

Для значения лингвистической переменной «высокий» нечеткое множество задано следующим образом:

$$\bar{A}_{F1} = \left( \frac{0}{30}, \frac{1}{64,6} \right).$$

Таким образом, каждому входному параметру в соответствии с его значением и заданной функцией принадлежности присвоены значения нечеткой лингвистической переменной (таблица 2.5).

Для других критериев нечеткое множество задается аналогично.

Разработанная СНЛВ относится к типу «несколько входов - один выход», т.е. в правилах вывода учитывает значения всех входных критериев оценки проекта.

Формальная модель полученной системы выглядит следующим образом [113] (4.1):

$$Y = [\bar{A}_{F1} \wedge \bar{A}_{F2} \wedge \bar{A}_{F3} \wedge \bar{A}_{F4} \wedge \bar{A}_{F5} \wedge \bar{A}_{F6} \wedge \bar{A}_{F7} \wedge \bar{A}_{F8}]. \quad (4.1)$$

На рисунке 4.3 представлена структурная схема оценки проекта в системе нечёткого вывода MATLAB 2012.

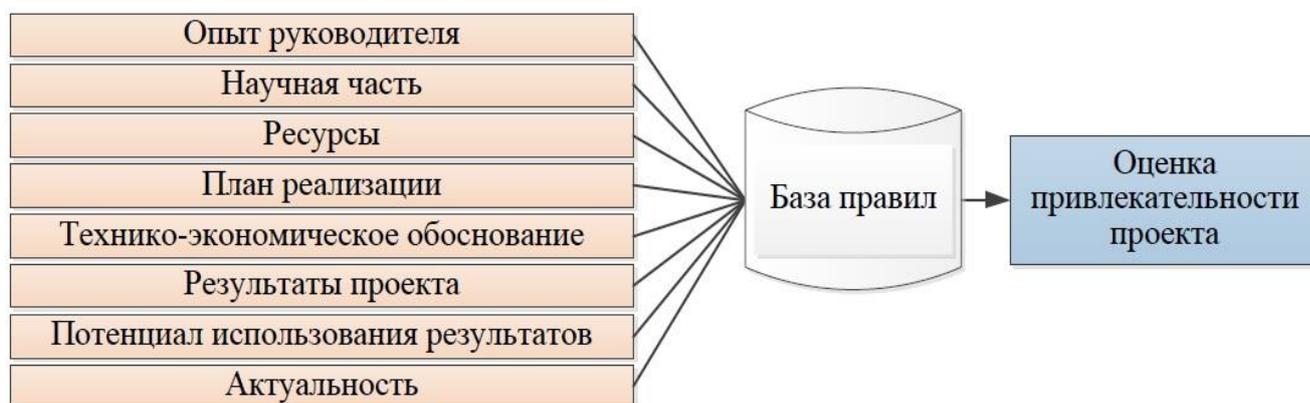


Рисунок 4.3 – Схема оценки проекта в MATLAB 2012

Функция принадлежности выходного параметра представлена на рисунке

4.4.

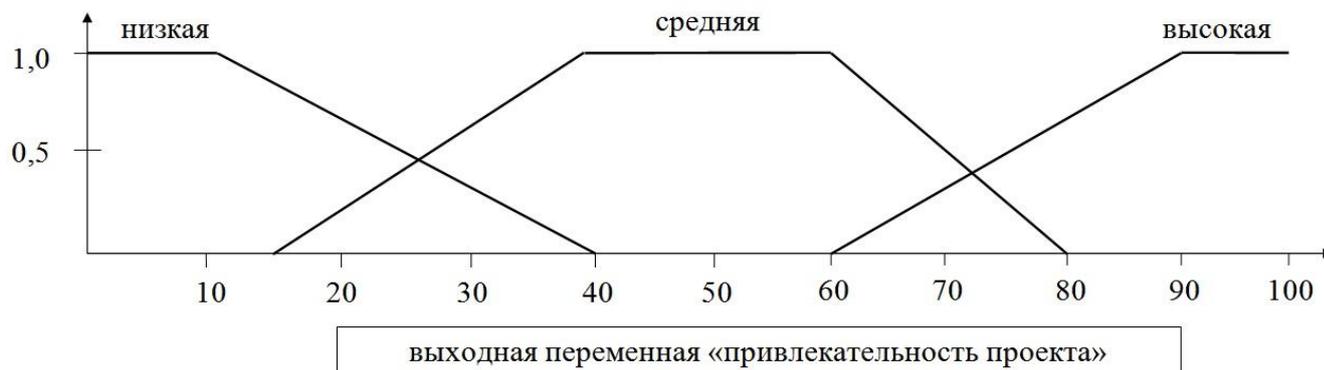


Рисунок 4.4 – Функция принадлежности выходного параметра в системе нечеткого вывода

База правил разработанной системы нечеткого вывода представляет собой формализацию специальных эмпирических знаний эксперта определенной предметной области, она построена на основе полученных функциональных связей наукоемкого проекта в форме продукционных правил и формализации знаний о механизмах изменения состояний объекта в различных ситуациях.

К примеру, правила в среде моделирования MATLAB 2012 с учетом конкретного набора критериев и их весомости каждого правила задаются в виде следующих функций:

1. if (опыт\_руководителя is высокий) and (научная\_часть is слабая) and (ресурсы is недостаточно) and (план\_реализации is нет\_плана) then (привлекательность\_проекта is низкая) (1);

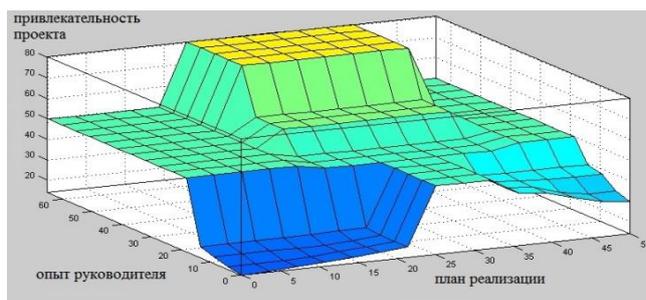
2. if (опыт\_руководителя is низкий) and (научная\_часть is средняя) and (ресурсы is достаточно\_для\_начала) and (план\_реализации is нет\_плана) then (привлекательность\_проекта is низкая) (1);

3. if (опыт\_руководителя is высокий) and (научная\_часть is сильная) and (ресурсы is достаточно\_для\_реализации) and (план\_реализации is общий\_план) then (привлекательность\_проекта is высокая) (1);

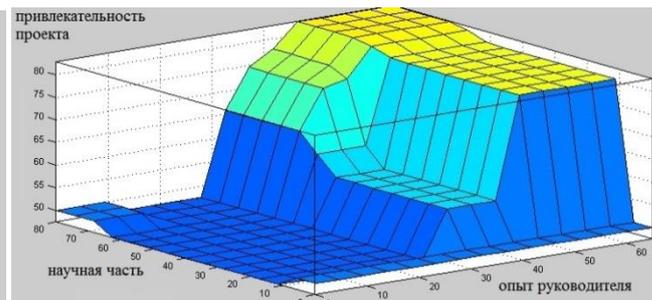
4. if (опыт\_руководителя is средний) and (научная\_часть is сильная) and (ресурсы is достаточно\_для\_реализации) and (план\_реализации is общий\_план)

and (ТЭО is среднее) and (результаты\_проекта is значительные) then (привлекательность\_проекта is высокая) (1) и т.д. [56].

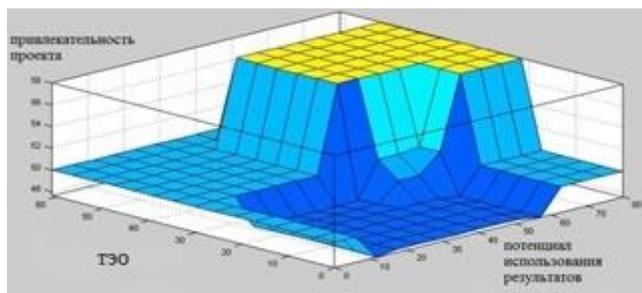
По результатам моделирования нечеткого логического вывода на основе представленной базы правил построены диаграммы, отражающие связи входных и выходного параметров, представленные в виде зависимости изменения оценки проекта от значения критерия и применения заданных правил (рисунок 4.5).



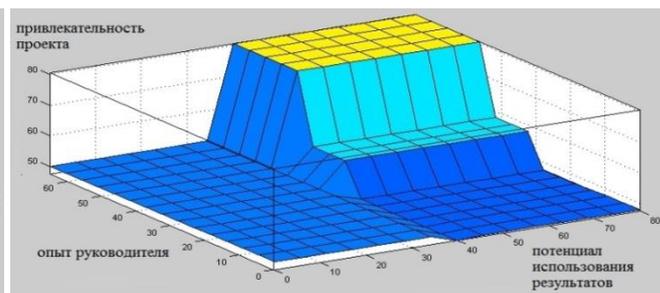
а)



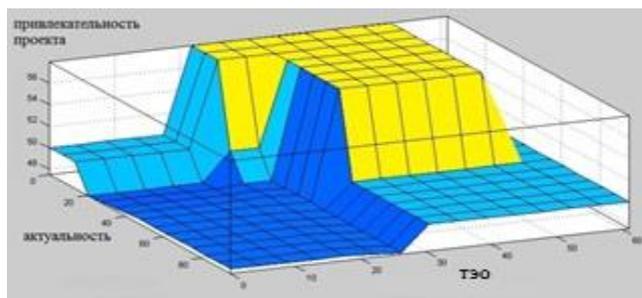
б)



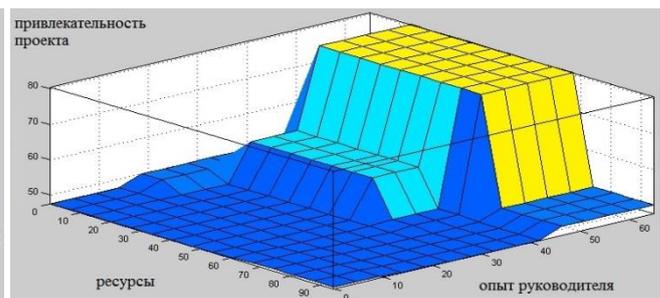
в)



г)



д)



е)

Рисунок 4.5 – Примеры синтезированных поверхностей «входы-выход» зависимости «привлекательности проекта» от: а) опыта руководителя и плана реализации, б) научной части и опыта руководителя, в) ТЭО и потенциала использования результатов, г) опыта руководителя и потенциала использования результатов, д) актуальности и ТЭО, е) ресурсов и опыта руководителя

Диаграммы отражают зависимость привлекательности проекта от двух выбранных критериев. Цветами показаны области изменения значений согласно заданным функциям принадлежности и правилам их активизации.

Полученная оценка привлекательности проекта далее будет использоваться в алгоритмах отбора наукоемких проектов.

#### 4.3.4 Описание алгоритма оценки наукоемких проектов

Итак, алгоритм оценки наукоемкого проекта разработки СТС заключается в анализе паспорта проекта, заполняемого его автором и/или соответствующим специалистом, и основан на аддитивной свертке параметрического множества с учетом весомости параметров в соответствующей группе – критерии оценки (таблица 2.4).

Полученная оценка позволяет представить состояние наукоемкого проекта на конкретный момент времени, однако она не дает возможности оценить потенциал научно-технического развития проекта, что сильно влияет на его успешность в различных конкурсах и оценку экспертов, которая заключается в неформальном представлении каждым экспертом потенциала развития проекта при данных параметрах и существующих политических, социальных, экономических и других условиях, а также эффективности презентации руководителем проекта перспектив его развития [36, 56].

Понятие потенциала (реализуемости) наукоемкого проекта довольно размытое и является скорее субъективным представлением эксперта о проекте, которое формируется не только характеристиками проекта, но и соотношением имеющихся ресурсов и технологий, при этом эксперт одновременно оценивает уровень научного развития проекта и его инженерно-технический уровень в конкретный момент, обозначим последние как  $u_i$  и  $z_i$ .

Тогда текущий научно-технического развития проекта можно представить как (4.5):

$$Ik = z_i + u_i, \quad (4.5)$$

где  $Ik$  – уровень научно-технического развития проекта,

$z_i$  – оценка инженерно-технического уровня проекта,

$u_i$  – оценка научного развития проекта.

Параметры из паспорта проекта по своему содержанию достаточно точно соответствуют одной из представленных характеристик проекта (таблица 4.11).

Таблица 4.11 – Распределение параметров проекта, определяющих его научный и инженерно-технический уровень

	Описание критерия	$u_i$	$z_i$
К1	Профессиональные навыки руководителя проекта	$P_2^*, P_5, P_6, P_8, P_{11}, P_{14}$	$P_{13}$
К2	Научная часть проекта	$P_8, P_{15}, P_{16}, P_{17}, P_{20}$	$P_{19}$
К3	Обеспеченность проекта ресурсами	$P_{23}$	$P_{24}, P_{36}, P_{37}$
К4	План и условия реализации проекта	$P_7, P_{12}, P_{14}$	$P_6, P_{18}, P_{22}, P_{26}$
К5	Технико-экономическое обоснование проекта	<i>нет</i>	$P_{28}, P_{32}, P_{30}, P_{31}, P_{33}, P_{34}, P_{38}, P_{43}$
К6	Результаты проекта	$P_9, P_{10}$	$P_{29}, P_{39}$
К7	Потенциал применения результатов проекта	$P_{13}, P_{40}$	$P_{11}, P_{35}$
К8	Актуальность и перспективность проекта	$P_{41}, P_{42}$	$P_{21}, P_{25}, P_{44}, P_{45}, P_{46}$

\* обозначение параметра из паспорта проекта.

При этом потенциал определим как степень развития заданного набора параметров проекта относительно его максимально возможной оценки, тогда:

$$z_i = \frac{\sum p_z}{\sum p_{z \max}}, \quad (4.6)$$

$$u_i = \frac{\sum p_u}{\sum p_{u \max}}, \quad (4.7)$$

где:

$P_z$  – параметр проекта, характеризующий его инженерно-технический уровень,

$P_u$  – параметр проекта, характеризующий его научный уровень,

$P_{z \max}$  – максимально возможное значение параметра проекта, характеризующего его инженерно-технический уровень,

$P_{u \max}$  – максимально возможное значение параметра, характеризующего его научный уровень.

Таким образом, возможная оценка  $Ik$  проекта находится в интервале  $[0;2]$ , при этом наиболее привлекательным будет проект с оценкой  $Ik > 1$ .

Более подробный анализ структуры параметров проекта используется для определения способа реализации проекта и формирования соответствующей рекомендации в ИАС, он основывается на специальном алгоритме, описанном в разделе 3.5 данной работы. Однако полученная оценка уровня развития проекта без учета оценки достижения им целевого состояния мало пригодна для реального использования.

Как показал анализ предметной области, при реализации каждого проекта имеется основной критерий оценки достижения им поставленных целей, например, таковым может являться размер выделенного бюджета, заданные тактико-технические характеристики, показатели надежности и т.п.

В данном случае подграф онтологии  $G'_{ont}$  с вершиной, заданной основным критерием  $K'_m$  и его отношениями,  $b' = (K'_m, p'_n)$  определяет совокупность параметров наукоемкого проекта для оценки достижения его целевого состояния.

Рассчитав целевое значение данного критерия оценки проекта на основе выделенной совокупности параметров и сравнив его с текущим значением данного критерия, получим представление о степени достижения проектом целевого состояния.

Исходя из логики разработанной методики оценки проектов, максимальное значение основного критерия ( $L$ ) складывается из максимального значения связанных с ним параметров проекта ( $p'_{n \max}$ ) и весомости данных параметров из паспорта проекта ( $\alpha_i$ ) (4.8):

$$L = \sum_1^i \alpha_i p'_{n \max} . \quad (4.8)$$

Тогда значение степени достижения целевого состояния проектом рассчитывается как (4.10) [36]:

$$Q = \frac{K'_m}{L} 100 , \quad (4.9)$$

где  $Q$  – степень соответствия целевому состоянию, в процентах;

$L$  – целевое значение состояния проекта по основному критерию его оценки.

Таким образом, формализовано понятие общей оценки проекта и оценки структуры его параметров для выявления потенциала развития проекта. Схематично алгоритм оценки наукоемких проектов представлен на рисунке 4.6.

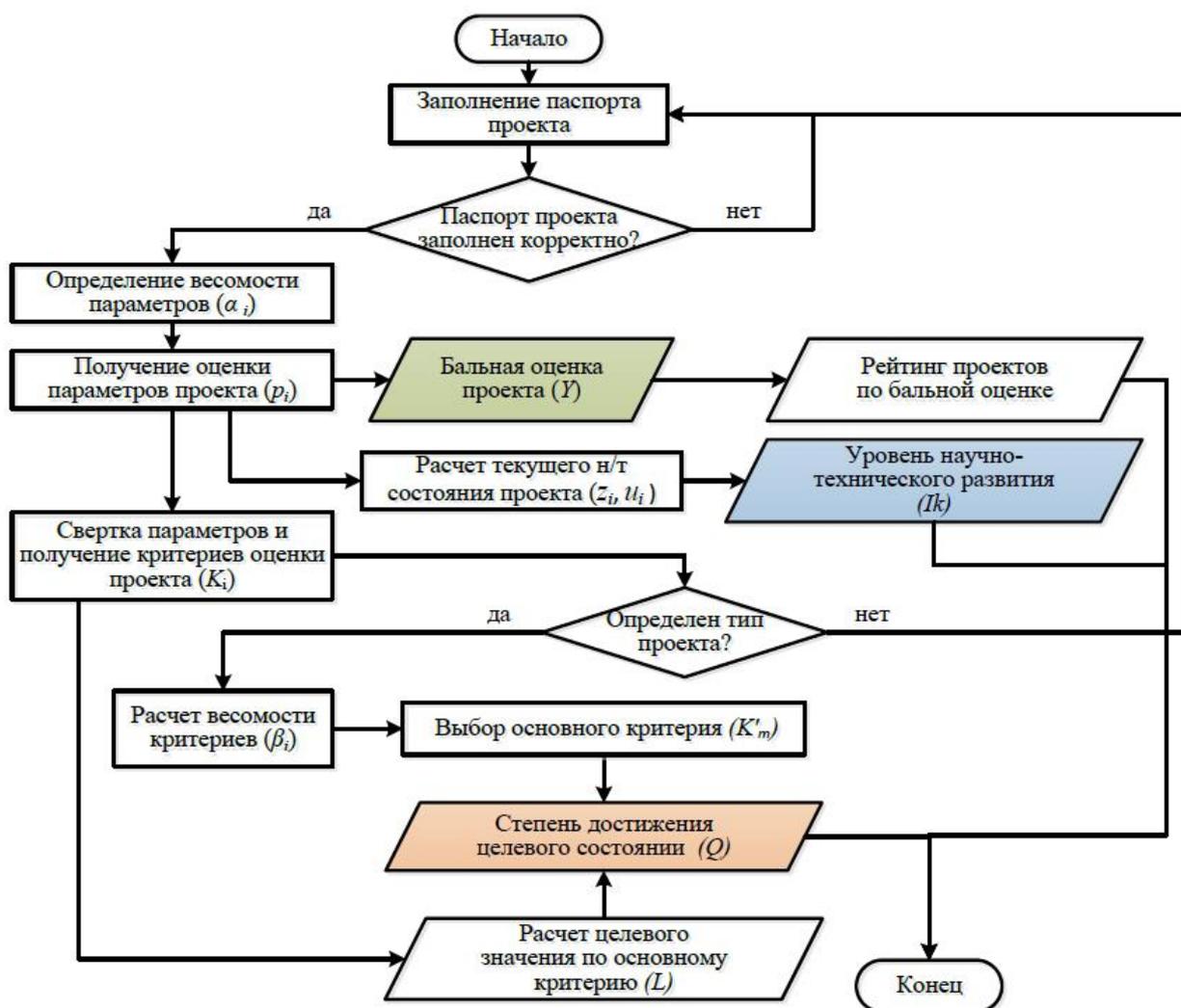


Рисунок 4.6 – Алгоритм формирования оценки наукоемких проектов

Алгоритм оценки проекта на основе совокупности данных расчетных характеристик позволит наиболее точно определить его состояние и выбрать соответствующую стратегию реализации.

#### 4.3.5. Описание алгоритма отбора наукоемких проектов

Таким образом, параметрическое пространство проекта представлено 47 параметрами ( $p_i$ ), агрегированными в 8 критериев ( $K_i$ ). В этом случае задача выбора оптимального проекта или группы проектов предполагает решение задачи многокритериальной оптимизации.

Схема алгоритма отбора проектов в соответствии с предпочтениями ЛПР и методикой, описанной в разделе 2.3, представлена на рисунке 4.7.

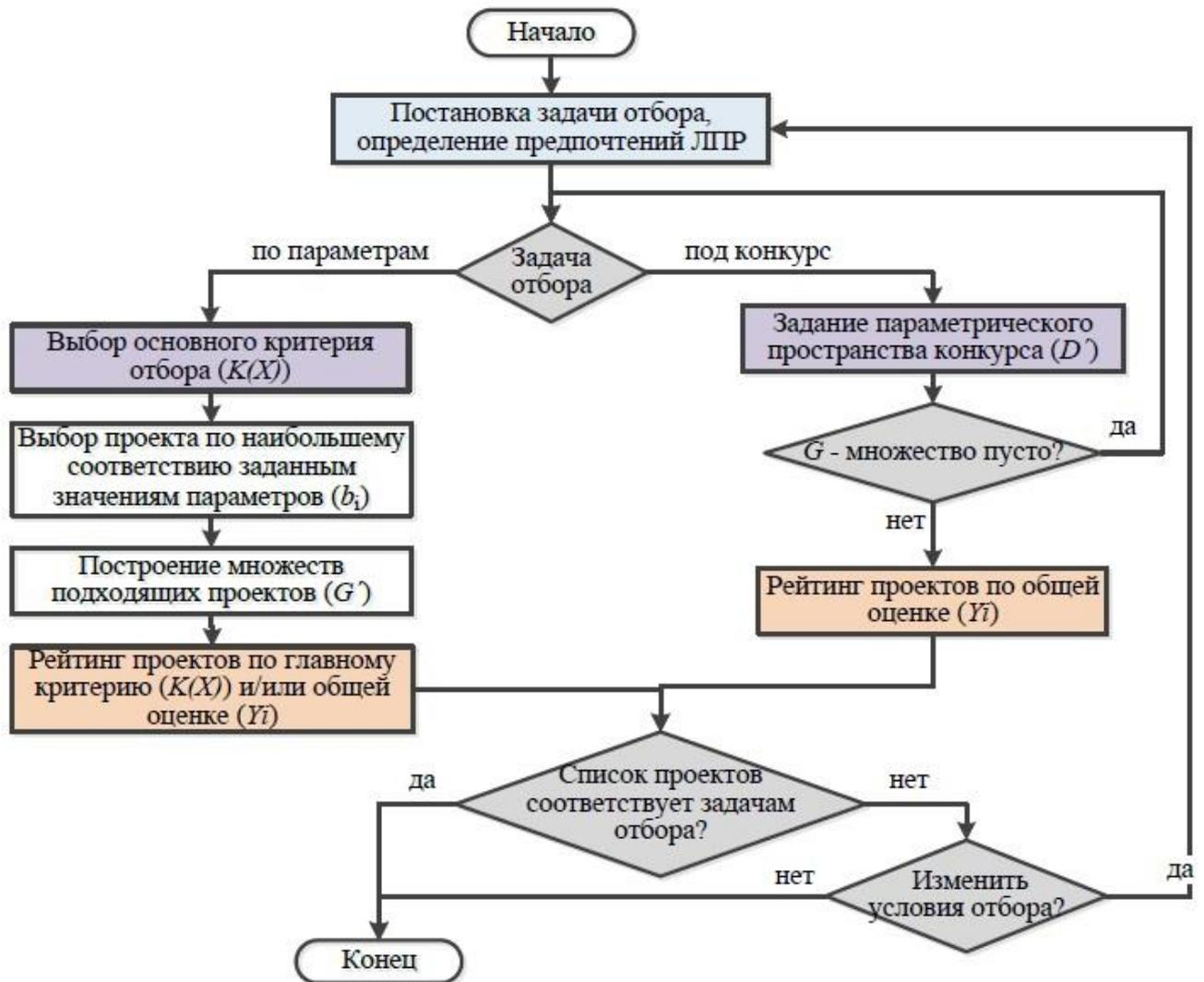


Рисунок 4.7 – Алгоритм отбора проектов

Таким образом, применение методики многокритериальной оценки и анализа наукоемких проектов позволяет эффективно решать задачи:

1. Анализа научной и инновационной деятельности научного сотрудника для оценки возможности его включения в коллектив определенного проекта в разрезе его публикаций, опыта участия в других проектах и др.
2. Предварительного анализа возможностей и ресурсов предприятия для поддержки принятия решения об участии в том или ином конкурсе, заявке и т.п.
3. Анализа имеющихся проектов в разрезе научной или технической привлекательности для определенного заказчика, фонда и др.

#### **4.4. Разработка методики автоматизированной обработки данных**

##### **4.4.1 Формализация процесса поддержки принятия управленческих решений**

Эффективность практического использования экспертных систем оценивается степенью своевременной и адекватной помощи в принятии решений в типовых, формализованных ситуациях, а также возможностью прогнозирования ситуации с вероятностным исходом на основе имеющейся информации. Поскольку специализированные системы позволяют накапливать данные и использовать их в дальнейшем для принятия более обоснованных управленческих решений в заданной ситуации путем их обработки и удобного представления.

Таким образом, направление анализа, форма и содержание необходимых отчетов задается целями предприятия и конкретными научными интересами ее сотрудников, а также возможностью и степенью автоматизации отдельных процедур управления наукоемкими проектами.

Каждая СППР отражает определенные информационные и предметные стандарты своей предметной области, специфика которой задается совокупностью специальных данных, также называемых информационной базой (ИБ). Информационная база, являясь средством работы пользователя с данными, имеет определенную конфигурацию, обеспечивающую набор специфических функциональных возможностей СППР, таким образом, данные, занесенные в ИБ, могут использоваться многократно для решения различных задач [107].

Информационная база позволяет конструировать необходимые отчеты и автоматизировать отдельные бизнес-процессы, к примеру, процесс формирования заявки на конкурс (рисунок 4.8).

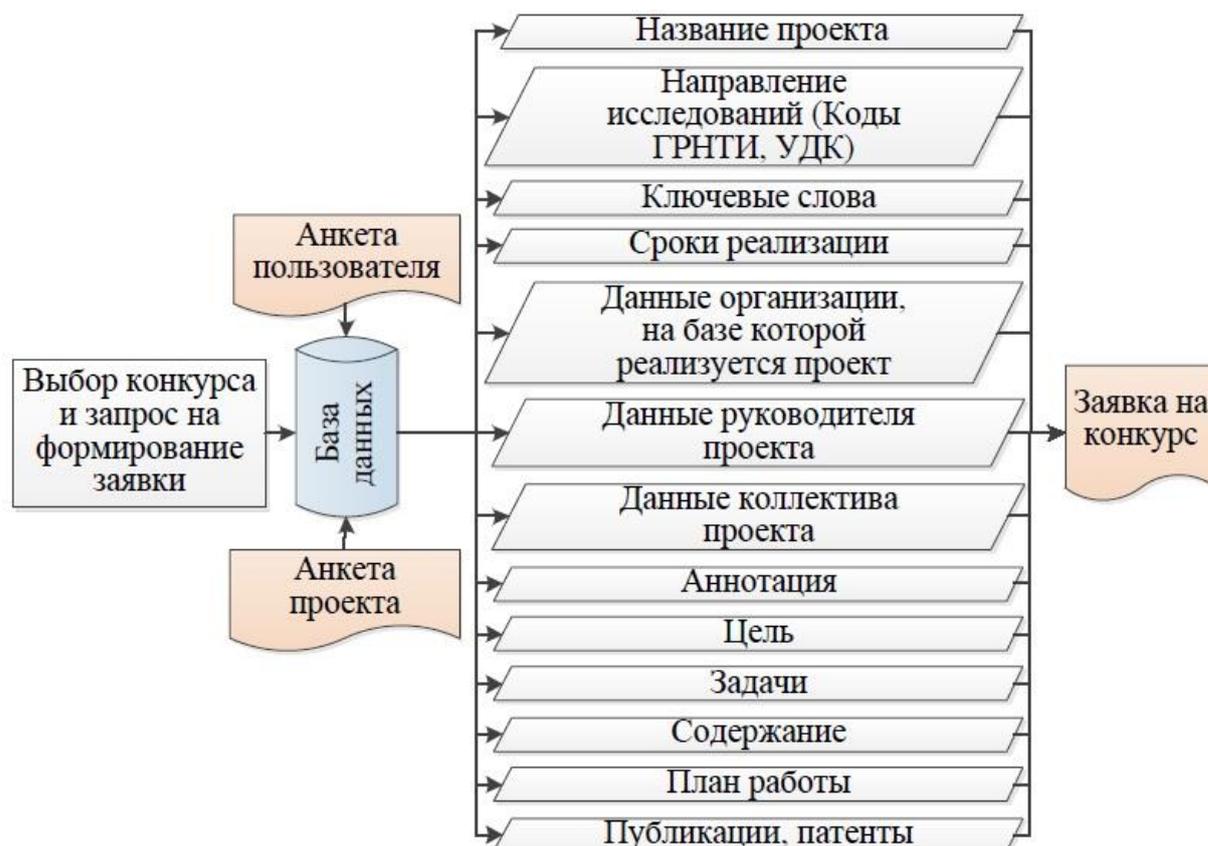


Рисунок 4.8 – Процедура автоматического формирования заявки

Таким образом, конфигурация ИБ представляет собой информационную модель предметной области в рамках определенной АКС, позволяя тем самым создавать инструментальную среду для автоматизации рутинных процедур в качестве надстройки над СППР.

Согласно проведенному ранее анализу, в обозначенной предметной области выделяется несколько центров принятия решений и потребителей отчетов:

- 1) АРМ руководителя предприятия или подразделения;
- 2) АРМ аналитика (менеджер проектов);
- 3) АРМ сотрудника предприятия, руководителя проекта.

Тогда совокупность вариантов принимаемых решений на основе имеющейся информации и данных аналитических отчетов будет иметь следующую структуру (рисунок 4.9).

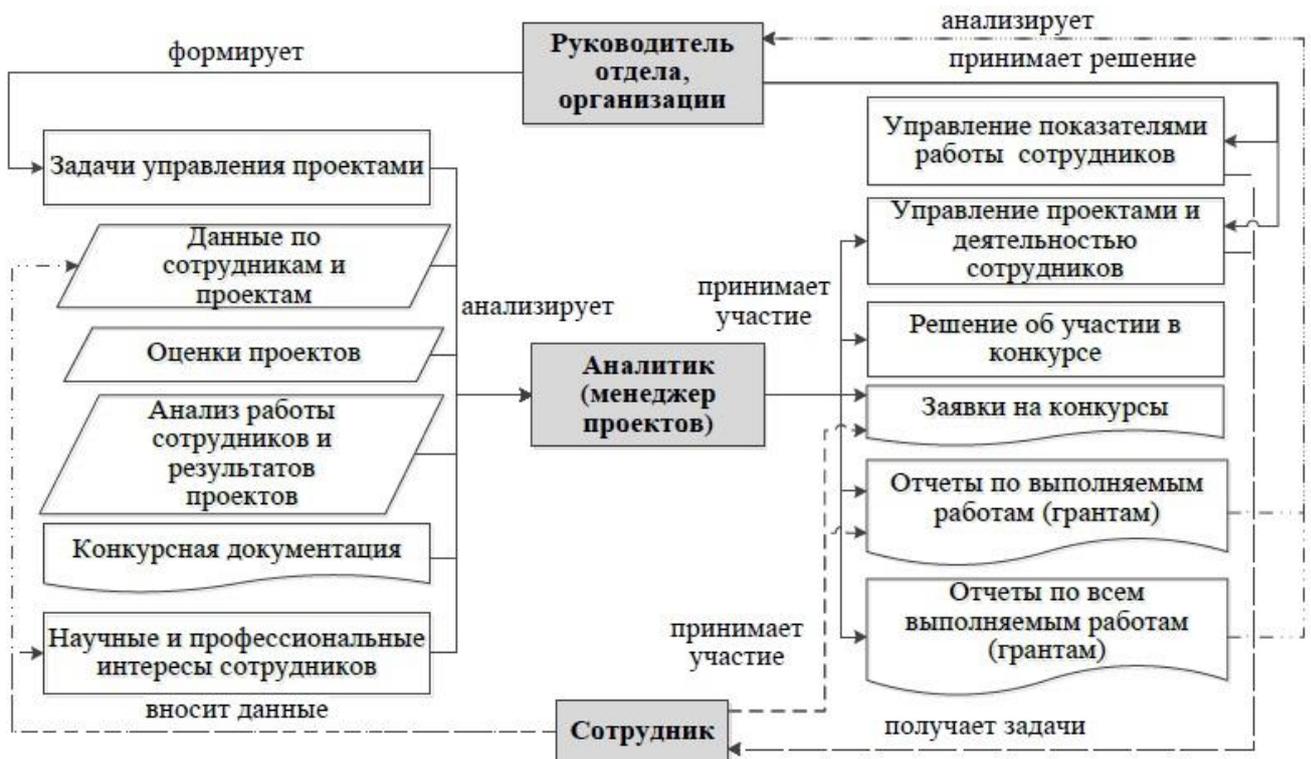


Рисунок 4.9 – Структура входящей информации и принимаемых решений

Результаты анализа форм принимаемых решений позволяют определить направления и содержательную часть анализа имеющихся данных и перейти к разработке структуры базы данных и архитектуры ИАС.

#### 4.4.2 Разработка UML – моделей информационно-аналитической системы

На основе ранее проведенного анализа и требований, предъявляемых к проектируемой СППР, выделены основные *действующие лица (business actors)* системы:

- пользователь – регистрируется в системе, при повторном обращении к системе – входит, используя логин-пароль, вносит и редактирует информацию о себе и своих проектах, просматривает актуальные конкурсы, формирует заявки, корректирует план работы над наукоемким проектом, ведет отчетность.

- менеджер проектов – вносит и редактирует информацию о действующих конкурсах, проводит анализ и отбирает проекты под определенные конкурсы, при необходимости формирует коллектив проекта, совместно с пользователями

формирует и отправляет заявки на конкурсы, просматривает все заявки и их состояние, следит за отчетностью по реализуемым проектам.

▪ каталог проектов и пользователей – база данных, содержащая информацию о пользователях системы и активных проектах.

Приведенные данные позволяют перейти к базовому описанию и проектированию реализуемой информационно-аналитической системы. Проектирование велось в среде разработки моделей на языке UML – StarUML, представляющей собой кроссплатформенную среду с открытым кодом [95].

Исходя из потребностей основных действующих лиц в системе выделяются следующие варианты действий (Business Use Case):

- зарегистрироваться в системе и заполнить личную карточку;
- войти в систему;
- внести и редактировать информацию в своих научных проектах и исследованиях;
- внести и редактировать информацию о действующих конкурсах;
- просмотреть актуальные конкурсы;
- сформировать и отправить заявку;
- проверить заявку на конкурс;
- внести план работы над проектом и вести отчетность;
- просмотр информации обо всех имеющихся научных исследованиях и пользователях в системе;
- провести анализ и отобрать проекты под определенные конкурсы;
- сформировать коллектив проекта;
- просмотр всех заявок и их состояния;
- следить за отчетностью по выигранным проектам.

На рисунке 4.10 представлена UML-диаграмма прецедентов работы основных действующих лиц с ИАС в разрезе их основной функции, ассоциации между ролями, актерами (actors) и пакетами действий [37].

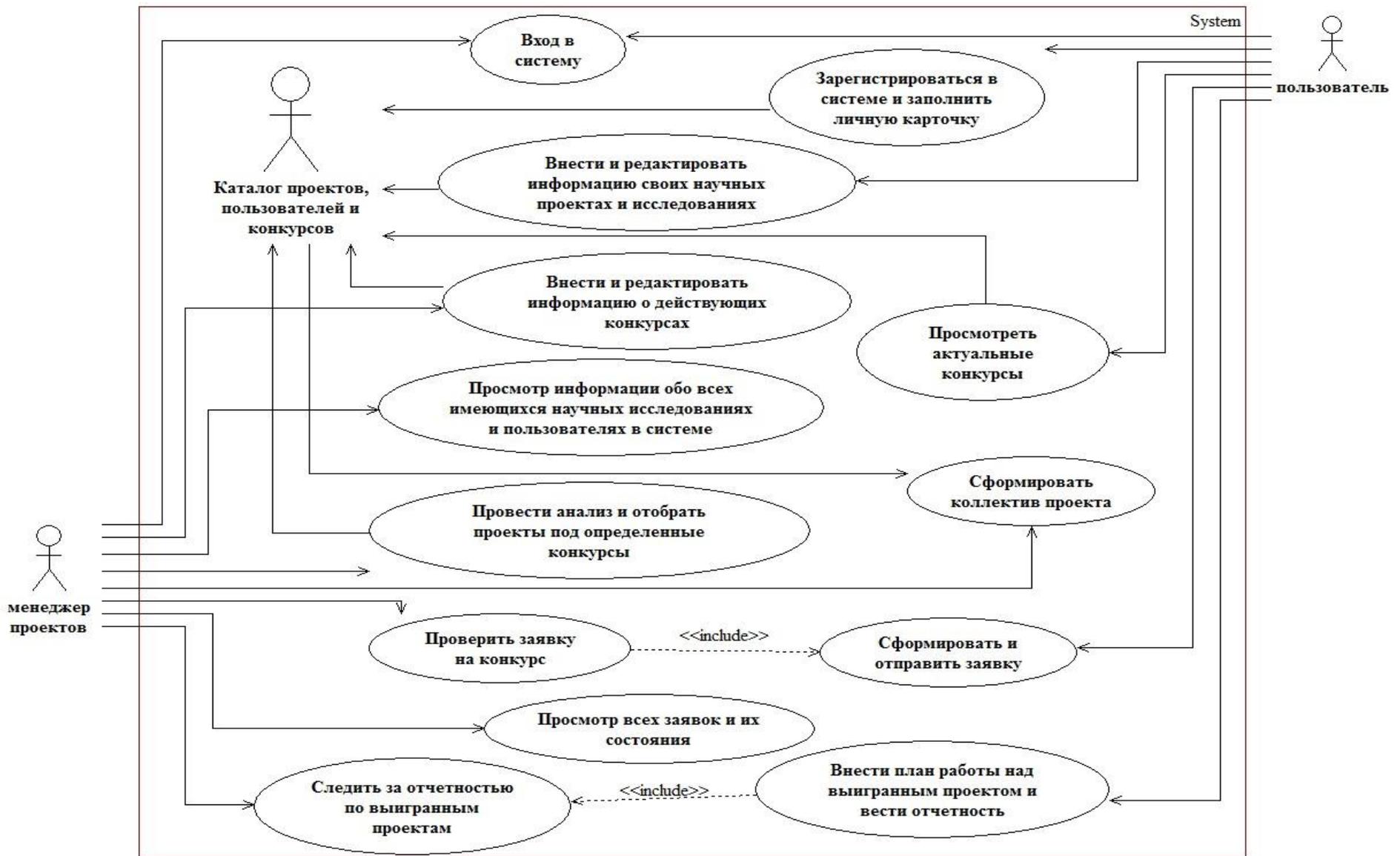


Рисунок 4.10 – Диаграмма прецедентов системы

Модель вариантов использования и их спецификации позволили построить диаграммы классов, являющихся формой статического описания системы с точки зрения ее проектирования и отображения ее структуры при моделировании. Данная модель не отображает динамическое поведение объектов, но наглядно показываются классы, интерфейсы и отношения между ними [95] (рисунок 4.11).

Базовым классом логики приложения является класс «Менеджер проектов», он предназначен для управления всем набором данных, их фильтрации и анализа.

Связь между функциями действующих лиц в разрезе основных бизнес-процессов управления наукоемким проектом показана на диаграмме активностей (рисунок 4.12), отображающей спецификации поведения менеджера проектов и пользователя ИАС в виде координированного последовательного и параллельного выполнения подчинённых процессов – видов деятельности, объединенных между собой потоками объектов и данных, которые идут от выходов одного потока к входам другого [95].

Проведенное UML-моделирование процессов реализации наукоемкого проекта разработки сложной технической системы позволяет построить ER-модель предметной области исследования (Приложение А) и перейти к формированию структуры базы данных ИАС.

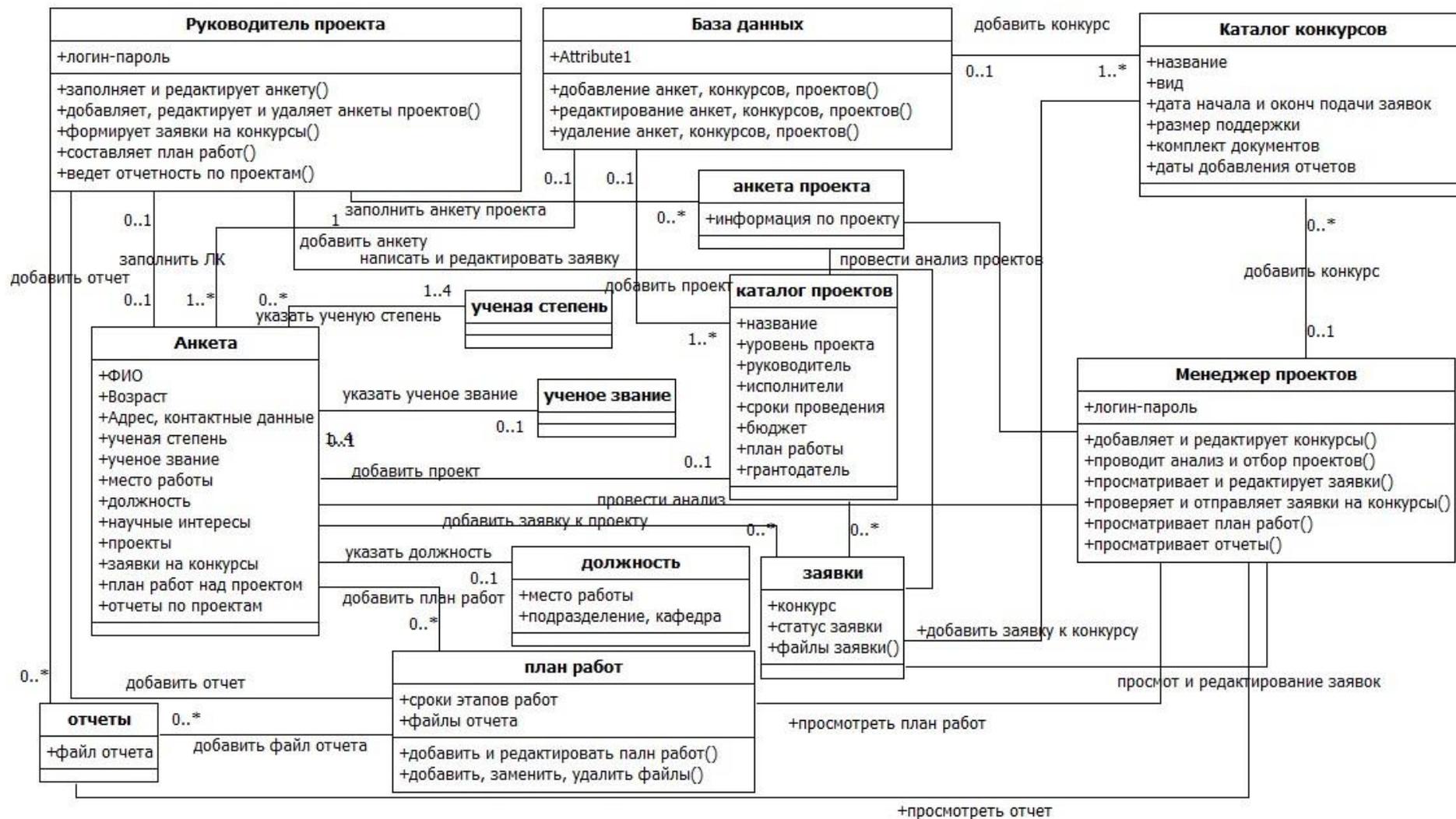


Рисунок 4.11 – Диаграмма классов информационно-аналитической системы

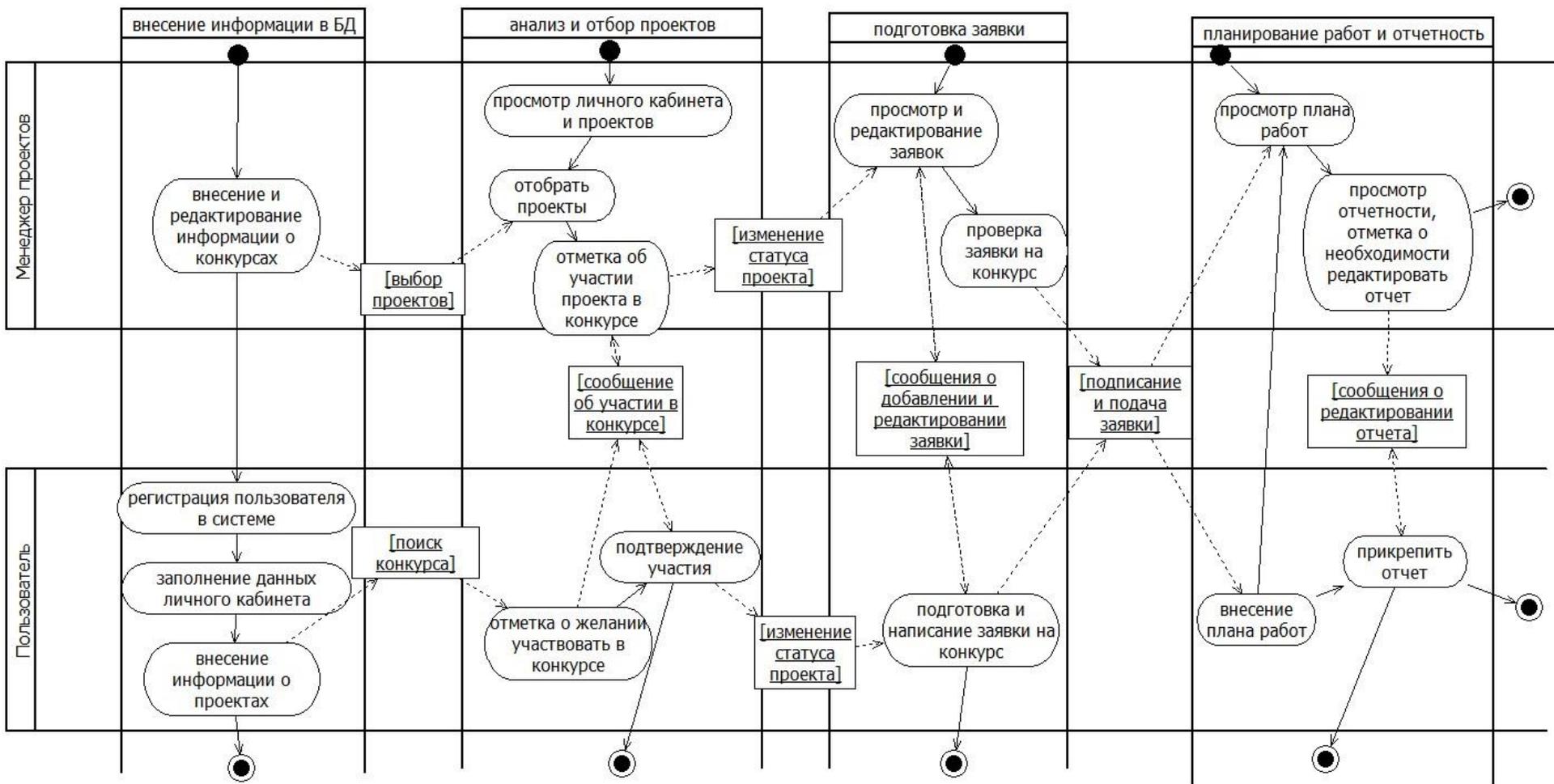


Рисунок 4.12 – Обмен объектами при работе с системой

#### 4.4.3 Описание структуры базы данных информационно-аналитической системы

Формирование специализированной (проблемно-ориентированной) базы данных является главным условием для последующей аналитической, методической и программно-технической поддержки процессов работы с информационными ресурсами и обеспечением инструментальными средствами информационных служб прогнозирования, анализа и экспертизы научно-технической деятельности.

База данных системы «IProjects» предназначена для хранения информации о наукоемких проектах, их содержании и исполнителях, она состоит из 6 крупных разделов, взаимодействующих между собой (рисунок 4.13).

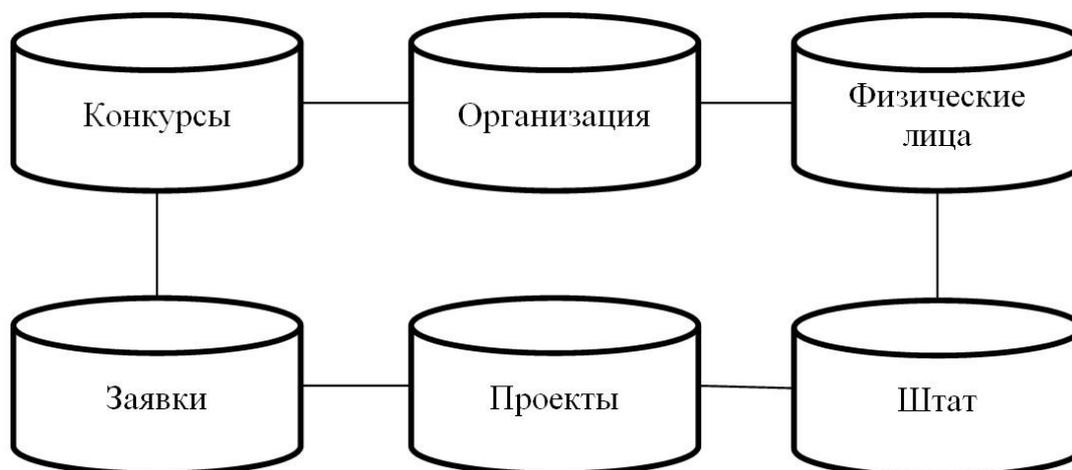


Рисунок 4.13 – Состав базы данных системы «IProjects»

Разработанная база данных способна поддерживать работу и локальных и удаленных пользователей с помощью Интернет-протокола (TCP/IP), а СУБД SQL позволяет разграничить возможности работы различных групп пользователей как с таблицами, так и с отдельными полями таблиц путем установки прав доступа на чтение, изменение, добавление и удаление [96].

Центральным разделом базы данных ИАС является раздел «Проекты», аккумулирующий информацию о параметрах проекта и представляющий собой логическую взаимосвязь более 40 таблиц базы данных (Приложение В).

Группирующей таблицей раздела является таблица «Projects», данная таблица имеет ограничения внешнего ключа по полям с типом [int] в соответствии со схемой (Приложение В).

Раздел «Физические лица» необходим для хранения информации о деятельности конкретных физических лиц и их контактных данных, здесь базовой таблицей раздела является таблица «Persons» (Приложение В), которая также имеет ограничения внешнего ключа по полям с типом [int].

Раздел базы данных «Организации» необходим для хранения информации о работодателях и организациях физических лиц, базовой таблицей раздела является таблица «Employee». Таблица имеет ограничения внешнего ключа по полям с типом [int] в соответствии со схемой, приведенной в приложении В.

Раздел базы данных «Заявки» необходим для хранения информации о поданных на конкурс заявках. Таблица «Application» служит для хранения информации о заявках, её структура также приведена в приложении В.

Раздел базы данных «Конкурсы» необходим для хранения информации о различных конкурсах, в таблице «ActiveCompetition» хранится информация о конкурсах, её структура и описание полей представлены в приложении В.

Раздел базы данных «Штат» необходим для хранения информации о коллективах (приложение В).

Представленные даталогические модели предметной области позволяют выявить логические взаимосвязи между элементами и построить многомерную модель данных.

#### **4.4.4 Построение многомерной модели данных**

Интеллектуальный анализ данных с помощью ИАС «UNIPROject» сводится к формированию совокупности данных и подходящей структуры отчета, которые и определяют направления обработки и представления необходимой информации.

MD-модель, полученная согласно предложенной методике (см. раздел 3.3 данной работы), представлена на рисунке 4.14.

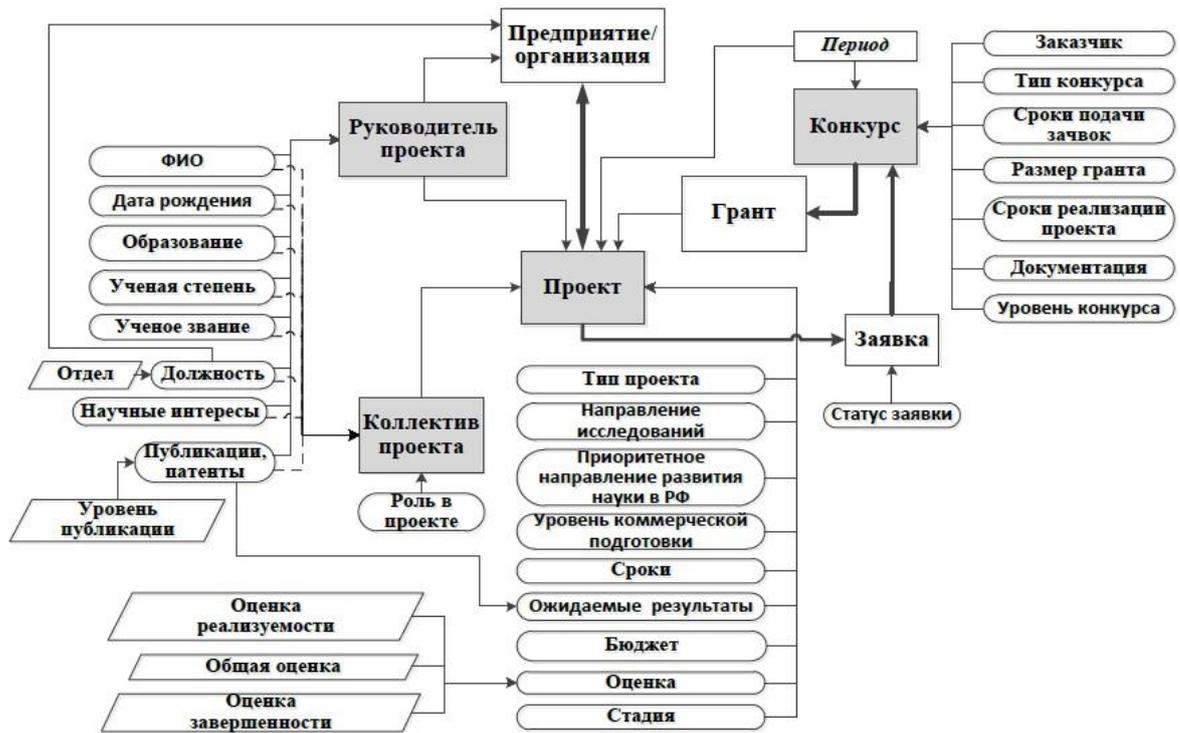


Рисунок 4.14 – MD-модель данных

На рисунке четко выделяется 8 элементов, являющихся потенциальными центрами для анализа, а поскольку они имеют несколько связей типа «один-ко-многим», то данные элементы объединяют в себе несколько кубов, назовем такую конструкцию гиперкубом. Описание элементов множественных связей дано в таблице 4.12.

Таблица 4.12 – Обобщенные связи типа «один-ко-многим»

Элемент	Описание	Атрибуты
Руководитель проекта	Список параметров, характеризующих исполнителя проекта в роли «руководитель»	Ф.И.О, дата рождения, образование, ученая степень, ученое звание, должность, научные интересы, публикации, патенты.
Коллектив проекта	Список параметров, характеризующих исполнителей проекта в других ролях	
Параметры проекта	Список параметров, характеризующих содержание наукоемкого проекта	Тип, направление исследований, приоритетное направление в РФ, уровень ТЭО, сроки, ожидаемые результаты, бюджет, оценка, стадии.
Конкурс	Список параметров, характеризующих содержание требований к заявкам и условия их подготовки.	Заказчик, тип, сроки подачи заявок, размер гранта, сроки реализации проекта в рамках гранта, уровень конкурса.

Элемент	Описание	Атрибуты
Заявка	Является промежуточным атрибутом между проектом и конкурсом. Агрегирует и параметры проекта и конкурса.	Параметры проекта и конкурса.
Период	Атрибут хронологии событий. Имеет иерархию.	Год, месяц.
Публикации	Является атрибутом исполнителя и его проектов, а также измерением OLAP-куба.	Уровень публикации (конференции, РИНЦ, ВАК, Scopus, Web of Science).
Предприятие / организация	Является составляющим атрибутом всех центров анализа.	Название предприятия, организации.

Для выполнения OLAP-анализа отдельные кубы вычлняются из гиперкуба, при этом исходные измерения могут дополняться измерениями и мерами (в качестве измерений) кубов высшего уровня, а меры – сводными мерами кубов низшего порядка [82].

Преобразуем MD-модель в соответствии с выделенными измерениями и атрибутами, при этом в связи с одинаковым набором атрибутов центры анализа «Руководитель проекта» и «Коллектив проекта» объединим в один гиперкуб «Коллектив проекта» (рисунок 4.15).

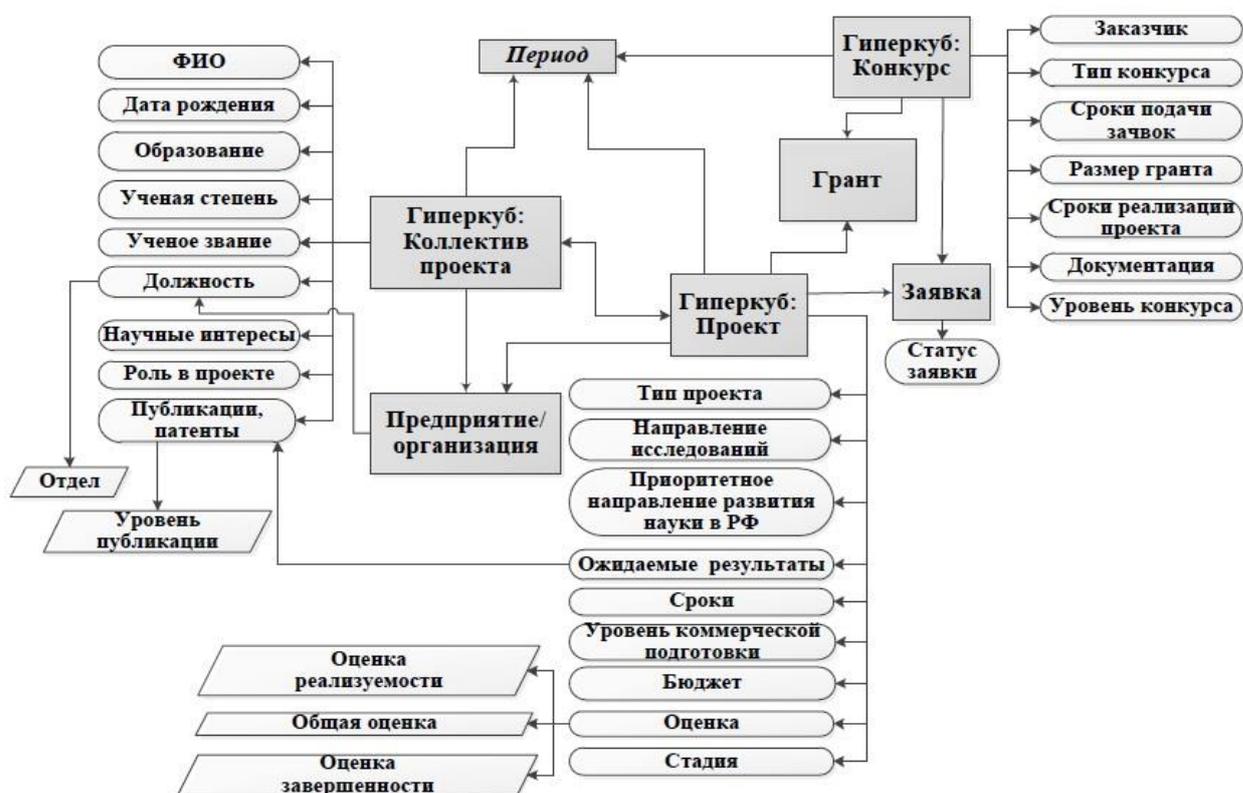


Рисунок 4.15 – Преобразованная MD-модель данных

В качестве набора данных выступают значения таблиц базы данных «IProject», включающие как количественные, так качественные данные. Структура базы данных позволяет провести анализ данных по проектам и сотрудникам предприятия в следующих измерениях (таблица 4.13), схема формирования основных OLAP-кубов представлена в Приложении Б.

Таблица 4.13 – Содержание типовых OLAP-кубов

№	Измерения	Атрибуты	Факты	Метрики
1	Сотрудники, Публикации, Период.	ФИО, Уровень, Год.	ФИО. Уровень: Конференция, РИНЦ, ВАК, Scopus, Web of Science. Год: 2013, 2014, 2015.	Количество публикаций определенного уровня конкретного сотрудника в разрезе заданного года.
2	Сотрудники, Стадия, проекта, Период.	ФИО, Стадия, Год.	ФИО. Уровень: Поисковые исследования, НИР, ОКР, Внедрение, Продвижение. Год: 2016, 2017, 2018.	Количество проектов, находящихся на определенной стадии, под руководством конкретного сотрудника в разрезе заданного года.
3	Сотрудники, Показатели, Период.	ФИО, Список, Год.	ФИО. Список: Всего проектов, Выигранных грантов, Средняя сумма гранта, Всего публикаций по проектам Публикаций ВАК. Год: 2016, 2017, 2018.	Суммарные показатели работы конкретного сотрудника в разрезе заданного года.
4	Период, Показатели, Сотрудники.	Год, ФИО, Список.	Год: 2016, 2017, 2018. Список: Всего проектов, Выигранных грантов, Средняя сумма гранта, Всего публикаций по проектам Публикаций ВАК. ФИО.	Суммарные показатели работы по годам в разрезе конкретного сотрудника.
5	Сотрудники, Сумма гранта, Период.	ФИО, Интервалы сумм выигранных конкурсов, Год.	ФИО. Интервал: До 1000000, 1000001-3000000, 3000001-5000000, 5000001-10000000, более 10000001. Год: 2016, 2017, 2018.	Количество выигранных конкурсов определенного размера конкретного сотрудника в разрезе заданного года.

Приведем пример формирования срезов OLAP-куба, для этого сведем все измерения и атрибуты куба в таблицу, здесь же представим факты и ссылки на них в БД «IProject» (таблицы 4.14-4.17).

Таблица 4.14 – Список элементов OLAP-куба «Количество публикаций сотрудников по уровню журнала в определенном году»

Измерения	Атрибут	Факты	Таблицы БД	
Сотрудник	ФИО	ФИО	таблица Persons поля: [Name] [SName]	Количество публикаций определенного уровня выбранных сотрудников в разрезе заданного года.
Публикации	Уровень	Конференция, РИНЦ, ВАК, Scopus, Web of Science	таблица Persons поля: [Publication]	
Период	Год	2016, 2017, 2018	таблица Projects поле: [startdate]	

Таблица 4.15 – Срез элементов OLAP-куба «Количество публикаций сотрудников по уровню журнала в определенном году» по осям X-Y

Тип измерения	Измерения	Факты	Метрики
Закрепленное	Год	Заданный год	Количество публикаций различного уровня конкретного сотрудника в заданном году.
Закрепленное	Сотрудник	ФИО	
Ось X	Количество публикаций	Операция «сумма»	
Ось Y	Уровень публикации	Конференция, РИНЦ, ВАК, Scopus, Web of Science	

Таблица 4.16 – Срез элементов OLAP-куба «Количество публикаций сотрудников по уровню журнала в определенном году» по осям X-Z

Тип измерения	Измерения	Факты	Метрики
Закрепленное	Год	Заданный год	Количество публикаций определенного уровня всех сотрудников в заданном году.
Закрепленное	Уровень публикации	Конференция, РИНЦ, ВАК, Scopus, Web of Science	
Ось X	Количество публикаций	Операция «сумма»	
Ось Y	Сотрудник	ФИО	

Таблица 4.17 – Срез элементов OLAP-куба «Количество публикаций сотрудников по уровню журнала в определенном году» по осям Y-Z

Тип измерения	Измерения	Факты	Метрики
Закрепленное	Сотрудник	ФИО	Количество публикаций определенного уровня конкретного сотрудника по годам.
Закрепленное	Уровень публикации	Конференция, РИНЦ, ВАК, Scopus, Web of Science	
Ось X	Количество публикаций	Операция «сумма»	
Ось Y	Год	Года	

Таким образом, независимо от формы, объема и набора данных, информация структурируется в соответствии с выбранным форматом и используется согласно алгоритму интеллектуального анализа данных.

## 4.5 Разработка базы знаний ИАС «UNIProject»

### 4.5.1 Построение поля экспертных знаний

Исходя из вариантов представления результатов принятия решений (рисунок 4.9) и заданной многомерной модели (рисунок 4.15) построим поле знаний исследуемой предметной области, заданной концептами – основными элементами системы СППР, и их атрибутами – допустимыми значениями, формируя концептуальную структуру поля знаний (рисунок 4.16).

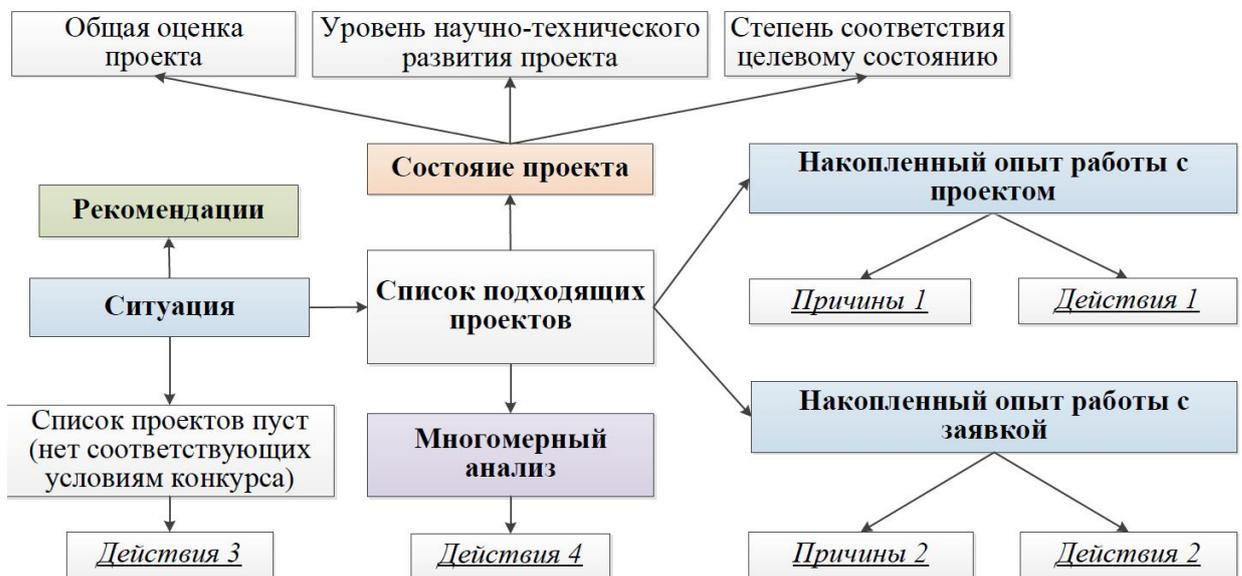


Рисунок 4.16 – Концептуальная составляющая поля знаний

Содержание концептов представленной схемы поля знаний приведено в таблице 4.18.

Таблица 4.18 – Содержание концептов поля знаний

Элемент	Описание
Ситуация	- в БД внесены данные по проектам; - в БД внесены данные пользователей; - заданы критерии конкурса; - определены условия участия.
Состояние проекта	расчет оценок состояния проекта
Накопленный опыт работы с проектом	- руководитель обновляет паспорт проекта; - участвовал ранее в конкурсах с данным проектом; - вносит в систему заявки по проекту; - наличие и условия действующего гранта;

Элемент	Описание
Причины 1	- проект не активен; - руководитель не работает в организации; - нет коллектива; - проект продан.
Действия 1	- уточнить условия участия руководителя; - поиск подобного проекта; - сформировать коллектив.
Накопленный опыт работы с заявкой	- наличие подобной заявки; - наличие шаблона заявки; - наличие успешных заявок.
Причины 2	- заявки не соответствовали теме конкурса; - нет шаблона к данному конкурсу; - низкое качество заявок.
Действия 2	- подготовить заявку; - выгрузить заявку по шаблону; - создать новую заявку; - обновить заявку; - корректировать тему/содержание заявки.
Действия 3	- расширить начальные условия отбора; - поиск подобного проекта; - создать новый проект; - отказаться от участия.
Действия 4	- анализ состояния проекта; - сравнение проектов; - уточнение условий отбора; - поиск подобного проекта; - отказаться от участия.
Рекомендации	- не участвовать; - пригласить руководителя; - подготовить заявку; - отправить заявку.

Структура функциональной составляющей поля знаний моделирует основные связи между концептами и их атрибутами, образующими поле знаний [99]. Эти связи отражают стратегию принятия решений экспертом (рисунок 4.17).

С целью подробного представления результатов применения алгоритмов ЭС формируемые рекомендации целесообразно представить пользователю в виде промежуточных выводов и итогового решения, представляющие собой отдельные блоки информации.

Исходя из анализа предметной области, целей реализации ЭС, а также информации, получаемой из базы данных проектов, варианты промежуточных выводов и рекомендаций могут быть следующими (таблица 4.19).

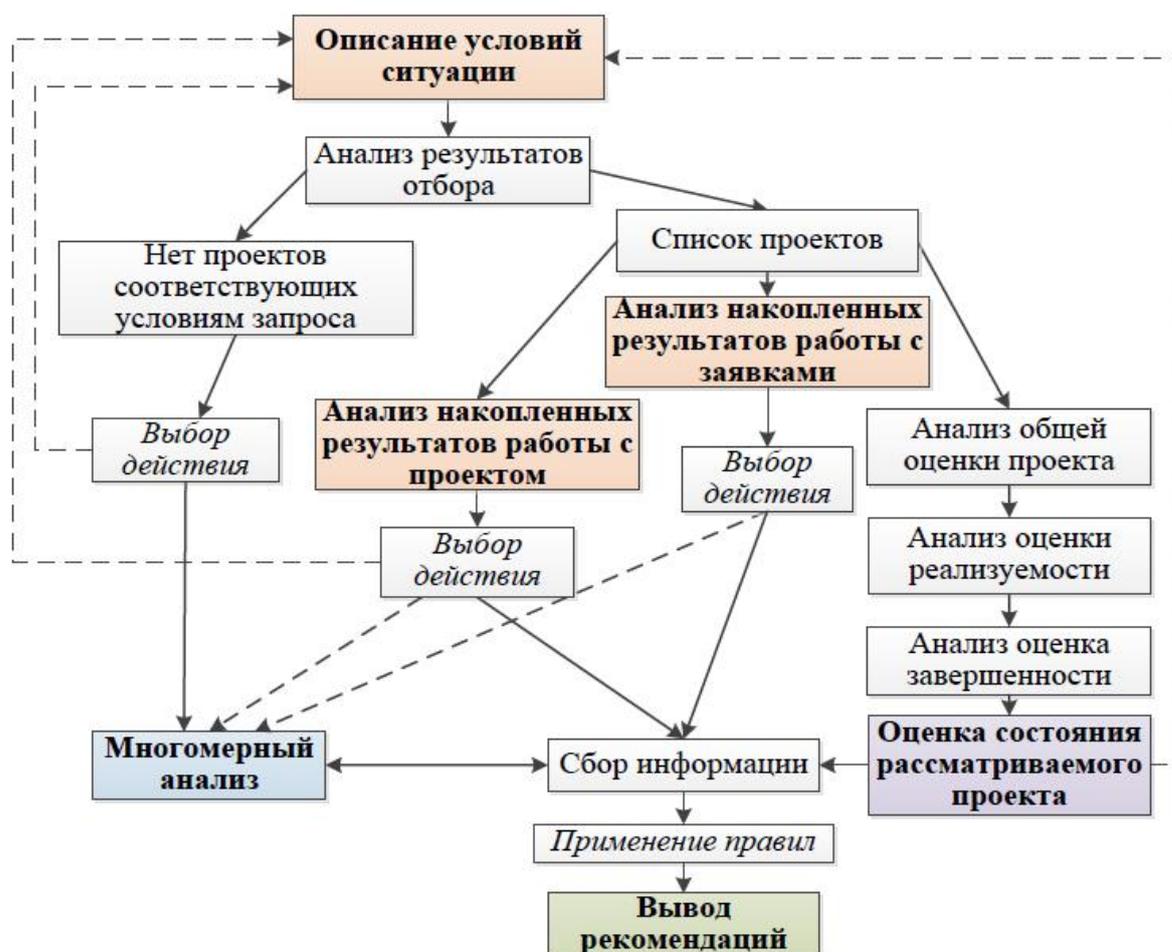


Рисунок 4.17 – Функциональная составляющая поля знаний

Таблица 4.19 – Возможные варианты вывода рекомендаций и решений

Блок	Варианты выводов/решения
«Состояние проекта»	Не доработан
	Имеет научный/ коммерческий потенциал
	Перспективный проект
	Имеет высокий потенциал реализации
«Работа с проектом»	Готов к участию
	Обновить информацию по проекту
	Сформировать коллектив
	Уточнить условия участия руководителя
	Уточнить условия действующего гранта
«Работа с заявкой»	Подготовить заявку
	Выгрузить заявку по шаблону
	Создать новую заявку
	Обновить заявку
	Корректировать тему/содержание заявки
«Решение»	Рекомендуется подать заявку
	Подготовить новую заявку
	Вариант 1: Провести анализ проекта, Вариант 2: Найти подобный проект
	Проект не доработан

Таким образом, разработана структура базы знаний, позволяющая описать алгоритм принятия решения на естественном языке и в терминах предметной области. Данная БЗ является ядром модуля принятия решений.

#### 4.5.2 Формирование базы знаний ИАС «UNIProject»

В ИАС «UNIProject» в качестве исходной информации для формирования списка рекомендуемых действий используются:

- значения оценок проекта, рассчитанных при введении данных о руководителе и проекте в ИАС «UNIProject»;
- данные предыдущих результатов подачи заявок по проекту;
- описание ситуации, в условиях которой реализуется проект.

Прежде чем перейти к описанию собственно базы знаний (БЗ) определим набор возможных условий и наиболее часто возникающих ситуаций в процессе управление наукоемкими проектами.

После ввода условий конкурса в ИАС «UNIProject» происходит поиск соответствий, подборка и формирование списка проектов, удовлетворяющих заданным условиям, т.е. параметрическое пространство *условий* может быть задано, к примеру:

- типом проекта;
- научным направлением;
- научной дисциплиной;
- стадией проекта;
- уровнем публикаций по проекту;
- наличием ОИС;
- сроком реализации проекта;
- наличием у коллектива собственных финансовых средств;
- масштабом и др.

При выводе списка проектов, соответствующих условиям конкурса, также

целесообразно учесть наличие действующего гранта у руководителя проекта, активность руководителя в конкурсах, результативность заявок по проекту и др. Эти данные составляют описание *ситуации*. Далее все собранные данные способствуют формированию решения по конкретному проекту.

Таким образом, окончательное решение по каждому проекту зависит от общей оценки состояния проекта, ситуации, в которой он находится на данный момент, а также условий участия в конкурсе.

Пусть  $x$  – проект, добавленный в БД ИАС «UNIProject»,  $S(x)$  – состояние проекта,  $F(x)$  – ситуация, в которую заключен проект,  $T(x)$  – результаты участия в предыдущих конкурсах и  $R(x)$  – окончательное решение об участии в конкурсе. При этом наличие или отсутствие каких-либо данных задается понятиями «истина» (true) и «ложь» (false) соответственно, т.е. принимает значения {false; true}.

На основе введенных переменных опишем правила базы знаний и условия их активации.

Начальным условием применения правила БЗ является выполнение условий, описанных в разделе 2.3 данной работы.

Далее срабатывают правила оценки проекта и другие блоки.

**Блок «Состояние проекта»** содержит информацию, полученную при обработке рассчитанных оценок проекта на основе алгоритма, описанного в разделе 4.3 данной работы, и обозначенное ранее как  $S(x)$ ,  $x$  – выбранный проект, тогда состояние проекта будет задано функцией (4.10):

$$S(x) = Y \wedge Ik \wedge Q, \quad (4.10)$$

где:

$S(x)$  – вывод о состоянии проекта  $x$ ,  $\forall x \exists S(x) = \{\text{вывод}\}$ ;

$Y$  – общая оценка проекта,  $\forall x \exists Y_x \in [0; 500]$ ;

$Ik$  – уровень научно-технического развития проекта,  $\forall x \exists Ik(x) \in [0; 2]$ ;

$Q$  – степень соответствия целевому состоянию,  $\forall x \exists Q(x) \in [0; 100]$ .

Итак, вывод о состоянии проекта строится на основе сопоставления общей оценки, уровня его научно-технического развития и степени соответствия целевому состоянию. Тогда алгоритм БЗ для данного блока выглядит так:

«Формирование вывода» = <<Состояние проекта>, блок актуализирован,  $Y \wedge Ik \wedge Q \rightarrow$  решение = {вывод}, иначе = «недостаточно данных», описание состояния проекта>.

**Блок «Работа с проектом»** выводит рекомендации по работе с проектом, основываясь на результатах анализа ситуации развития проекта. Вывод данного блока (4.11):

$$F(x) = \{<H, L>\}, \quad (4.11)$$

где:

$F(x)$  – рекомендации по работе проектом ( $x$ ) в случае участия в выбранном конкурсе,  $F(x) = \{рекомендация\}$ ;

$H(x) = \beta_i \vee \delta_i \vee \gamma_i$  – активность руководителя в развитии данного проекта,  $\forall x \exists H(x) = \{0; 1\}$ ;

$\beta_i$  – участвовал в предложенных ранее конкурсах  $\forall x \exists \beta_i \in \{false; true\}$ ,  $i \in N = \{1, 2, \dots, n\}$ ;

$\delta_i$  – корректирует и загружает в систему заявки,  $\forall x \exists \delta_i \in \{false; true\}$ ,  $i \in N = \{1, 2, \dots, n\}$ ;

$\gamma_i$  – обновляет паспорт проекта,  $\forall x \exists \gamma_i \in \{false; true\}$ ,  $i \in N = \{1, 2, \dots, n\}$ ;

$L(x) = \lambda_i \wedge \alpha_i$  – оценка возможности участия в конкурсе в соответствии с наличием и условиями действующей поддержки проекта  $x$ ,  $\forall x \exists L(x) = \{0; 1\}$ ;

$\lambda_i$  – наличие действующего гранта по проекту  $x$ ,  $\forall x \exists \lambda_i \in \{false; true\}$ ,  $i \in N = \{1, 2, \dots, n\}$ ;

$\alpha_i$  – возможность участия в данном конкурсе в соответствии с условиями

действующего гранта,  $\forall x \exists \alpha_i \in \{false; true\}, i \in N = \{1, 2, \dots, n\}$ .

Алгоритм базы правил для данного блока выглядит так:

«Формирование вывода» = <«Работа с проектом», блок актуализирован,  
 $H(x) \vee L(x) \rightarrow$  решение = {рекомендация}, иначе = «недостаточно данных», вывод  
 рекомендации по работе с проектом>.

**Блок «Работа с заявкой»** также выводит рекомендации по работе с проектом, основываясь на результатах анализа предыдущих результатов подготовки заявок.

Вывод данного блока (4.12):

$$T(x) = \{<U, N >\}, \quad (4.12)$$

где:

$T(x)$  – рекомендации по подготовке заявки по проекту ( $x$ ) на выбранный конкурс,

$T(x) = \{рекомендация\}$ ;

$U(x) = e_i \vee r_i$  – оценка возможности автоматического формирования заявки,

$\forall x \exists U(x) = \{0; 1\}$ ;

$e_i$  – наличие подобной заявки в системе  $\forall x \exists e_i \in \{false; true\}, i \in N = \{1, 2, \dots, n\}$ ;

$r_i$  – наличие в системе шаблона заявки для данного конкурса,

$\forall x \exists r_i \in \{false; true\}, i \in N = \{1, 2, \dots, n\}$ ;

$N(x) = b_i(x) \vee w_i(x)$  – оценка результативности предыдущих заявок по проекту  $x$ ,

$\forall x \exists N(x) = \{0; 1\}$ ;

$b_i$  – наличие заявок по проекту на участие в конкурсе(ax),  $\forall x \exists b_i \in \{false; true\}$ ,

$i \in N = \{1, 2, \dots, n\}$ ;

$w_i$  – наличие выигравших заявок по проекту в конкурсе(ax),  $\forall x \exists w_i \in \{false; true\}$ ,

$i \in N = \{1, 2, \dots, n\}$ .

Алгоритм БЗ для данного блока выглядит так:

«Формирование вывода» = <«Работа с заявкой», блок актуализирован,  
 $U(x) \vee N(x) \rightarrow$  вывод = {рекомендация}, иначе = «недостаточно данных», вывод  
 рекомендации по работе с заявкой>.

В случае необходимости получения дополнительной информации аналитиком (рисунок 4.17) для выбора проекта на конкурс, он обращается к многомерному анализу, обозначим его как  $M(x)$  – результаты многомерного анализа проекта  $x$ ,  $\forall x \exists M(x) \in \{false; true\}$ .

Тогда с точки зрения процесса данные блоков «Работа с проектом» и «Работа с заявкой» соответственно примут вид (4.13, 4.14):

$$F(x) = \{<H, L, M >\}, \quad (4.13)$$

$$T(x) = \{<U, N, M >\}. \quad (4.14)$$

**Блок «Решение»** выводит итоговые рекомендации исходя из заданных условий, состояния проекта и оценки активности по проекту. Обозначим ее функцией (4.15):

$$R(x) = \{<S(x), F(x), T(x), >\}, \quad (4.15)$$

где  $R(x)$  – решение по участию проекта  $x$  в выбранном конкурсе,  $R(x) = \{решение\}$ .

Алгоритм БЗ для формирования окончательного решения по проекту представлен в следующем виде:

«Формирование решения» = <«Решение», блок актуализирован,  
 $S(x) \wedge F(x) \wedge T(x) \rightarrow$  вывод = {решение}, иначе = «недостаточно данных», решение  
 об участии в конкурсе>.

Далее оценим эффективность разработанных алгоритмов.

#### 4.6 Расчет эффективности обработки данных в ИАС «UNIPROJECT»

На основе ранее введенных обозначений источников информации, используемой ЛПР для принятия решений, определим эффективность работы с информацией с помощью разработанной ИАС.

В соответствии с содержательным подходом к оценке информации в

технических системах каждый представленный источник несет в себе новую информацию, снижая ее энтропию (4.16):

$$H = \sum P_i \log_2 \frac{1}{P_i} = -\sum P_i \log_2 P_i, \quad (4.16)$$

где:

$H$  – энтропия Шеннона,

$P_i$  – вероятность некоторого события.

В нашем случае вероятность наступления каждого события равна единице, поскольку все проекты имеют анализируемые характеристики. Энтропия для равновероятных сообщений рассчитывается по формуле Хартли [102] (4.17):

$$H = \log_2 N = \log_2 m^n, \quad (4.17)$$

где:

$N$  – количество состояний.

$m$  – количество источников информации (количество возможных состояний), шт.;

$n$  – количество сообщений, шт.

Количество сообщений, которые ЛПР получит без использования ИАС  $I$  (4.18):

$$I = \sum_1^{47} p_i + \beta_i + \delta_i + \gamma_i + \alpha_i + e_i + r_i + b_i + w_i + M(x) = 56, \quad (4.18)$$

где:

$I$  – количество сообщений, анализируемых ЛПР без использования ИАС;

$x$  – проект;

$\sum_1^{47} P^i$  – данные по 47 параметрам из паспорта проекта и руководителя проекта;

$\beta_i$  – оценка опыта участия в конкурсах;

$\delta_i$  – оценка опыта подготовки заявок на конкурс;

$\gamma_i$  – оценка актуальности данных по проекту;

$\alpha_i$  – оценка возможность участия в данном конкурсе в соответствии с условиями действующего гранта (при его наличии);

$e_i$  – поиск и оценка примера подобной успешной заявки, подаваемой ранее;

$r_i$  – поиск и оценка шаблона заявки для данного конкурса;

$b_i$  – поиск и оценка заявок по данному проекту на участие в конкурсе(ах);

$w_i$  – поиск и оценка выигравших заявок по проекту в конкурсе(ах);

$M(x)$  – результаты анализа взаимосвязей отдельных параметров проекта.

Независимо от того, используется экспертная система или нет, менеджеру наукоемких проектов необходимо провести анализ состояния проекта  $S(x)$ , оценить его готовность к участию в конкурсе  $F(x)$ , изучить рекомендации по подготовке заявки  $T(x)$ , принять и согласовать решение с руководителем проекта  $R(x)$  и изучить структуру проекта для наиболее выгодного его представления  $M(x)$ . Таким образом, имеется 56 возможных источников информации ( $m = 56$ ) и 5 сообщений необходимых для принятия решения ( $n = 5$ ).

При работе с ИАС ЛПР получит следующее количество источников информации  $I'$  (4.19):

$$I' = S(x) + F(x) + T(x) + R(x) + M(x) = 5, \quad (4.19)$$

где:

$I'$  – количество сообщений, полученных ЛПР в ИАС;

$x$  – проект;

$S(x)$  – вывод о состоянии проекта  $x$ ;

$F(x)$  – рекомендации по работе проектом  $x$  в случае участия в выбранном конкурсе;

$T(x)$  – рекомендации по подготовке заявки по проекту  $x$  на выбранный конкурс;

$R(x)$  – решение по участию проекта  $x$  в выбранном конкурсе;

$M(x)$  – результаты многомерного анализа проекта ( $x$ ).

В данном случае менеджер проектов получит одно сообщение. Таким образом, имеется 5 возможных источников информации ( $m = 5$ ) и 1 сообщение необходимое для принятия решения ( $n = 1$ ).

В соответствии с формулой (4.17):

$$H(I) = \log_2 56^5 = 29,04 \text{ бит},$$

$$H(I') = \log_2 5^1 = 2,32 \text{ бит}.$$

Тогда эффективность обработки и представления информации ( $\mathcal{E}$ ) может быть рассчитана отношением ее объема без использования ИАС и при работе с ИАС:

$$\mathcal{E} = \frac{H(I)}{H(I')} = \frac{\log_2 56^5}{\log_2 5^1} = \frac{29,04}{2,32} = 12,52.$$

Таким образом, разработанная методика повышает оперативность анализа и обработки информации более чем в 12 раз, при этом снижаются временные затраты соответствующих специалистов и, как следствие, повышается эффективность их работы, что в силу ускорения процесса накопления опыта и автоматизации работы с проектами и заявками положительно скажется на успешности реализации наукоемких проектов создания СТС.

Повышение скорости обработки информации о состоянии проекта на определенный момент времени в условиях заданной ситуации и выбор формы ее представления ЛПР приводит к росту определенности при принятии управленческого решения.

## **4.7 Разработка интеллектуального алгоритма оптимизации базы знаний ИАС «UNIPROJECT»**

### **4.7.1. Описание структуры исследуемых данных**

В качестве атрибутов проектов возьмем их расчетные характеристики  $Y$ ,  $Ik$  и  $Q$ , поскольку на их основе построена база знаний ИАС, которая является наиболее динамичной и открытой для редактирования частью системы, в отличие от весовых коэффициентов параметров проекта и базы правил нечеткого вывода.

Оценим достаточность количества проектов для анализа, зная статистику участия проектов в конкурсах, организуемых бизнес-инкубатором, необходимый объем выборки можно определить по формуле для бесповторного отбора при

среднеквадратическом отклонении по альтернативному признаку:

$$n = \frac{t^2 w(1-w)}{e^2},$$

где:

n – объем выборки;

t – нормированное отклонение, определяемое исходя из выбранного уровня доверительности (равен 1,96 для доверительной вероятности 95%);

w – вариация выборки;

e – допустимая ошибка.

Учитывая примерный процент участников конкурса, которые получают какое-либо признание на конкурсах данного бизнес-инкубатора (дипломы различной степени, призы) 15% и требуемый уровень доверительности в 95%, получим минимальный объем выборки для проектов данного конкурса:

$$n = \frac{1,96^2 * 0,15 * (1 - 0,15)}{0,05^2} = 196.$$

Таким образом, анализ проектов в количестве более 196 позволит с высокой степенью достоверности учесть все особенности наукоемких проектов.

На основе разработанной структуры паспорта проекта собраны данные 500 проектов, участвующих в Республиканских выставках-сессиях студенческих инновационных проектов в 2012-2017 г.г., проводимых бизнес-инкубатором ФГБОУ ВО «ИжГТУ имени М.Т. Калашникова».

Прежде чем перейти к обучению алгоритма, опишем набор данных и проведем его разметку, это необходимо для последующего анализа.

Поскольку в рамках данного конкурса, представленные проекты делились экспертами на 4 класса, их можно классифицировать следующим образом:

- класс А – проекты, занявшие 1 место, либо получившие диплом 1 категории в какой-либо номинации;
- класс В – проекты, занявшие 2 место, либо получившие диплом 2 категории в какой-либо номинации;
- класс С – проекты, занявшие 3 место, либо получившие диплом 3 категории в какой-либо номинации;

- класс D – проекты, которые не выиграли.

При этом анализ экспертных оценок показывает, что оценки проектов в выделенных классах распределились в следующем порядке (таблица 4.20), здесь же представим соответствующие рекомендации ЭС и количество объектов каждого класса.

Таблица 4.20 – Описание структуры исследуемой выборки проектов

Класс	Условие попадания в класс	Диапазон оценки экспертами	Описание (рекомендации ЭС)	Количество наблюдений
A	Занял 1 место / получил диплом 1 категории	$x \geq 8,10$	Имеет высокий потенциал реализации	28
B	Занял 2 место / получил диплом 2 категории	$7,15 \leq x < 8,10$	Перспективный проект	28
C	Занял 3 место / получил диплом 3 категории	$6,22 \leq x < 7,15$	Имеет научный/ коммерческий потенциал	28
D	Ничего не выиграл	$x < 6,22$	Не доработан	416
			Итого:	500

Таким образом, получен размеченный набор данных с неравными классами, его структура представлена на рисунке 4.18.

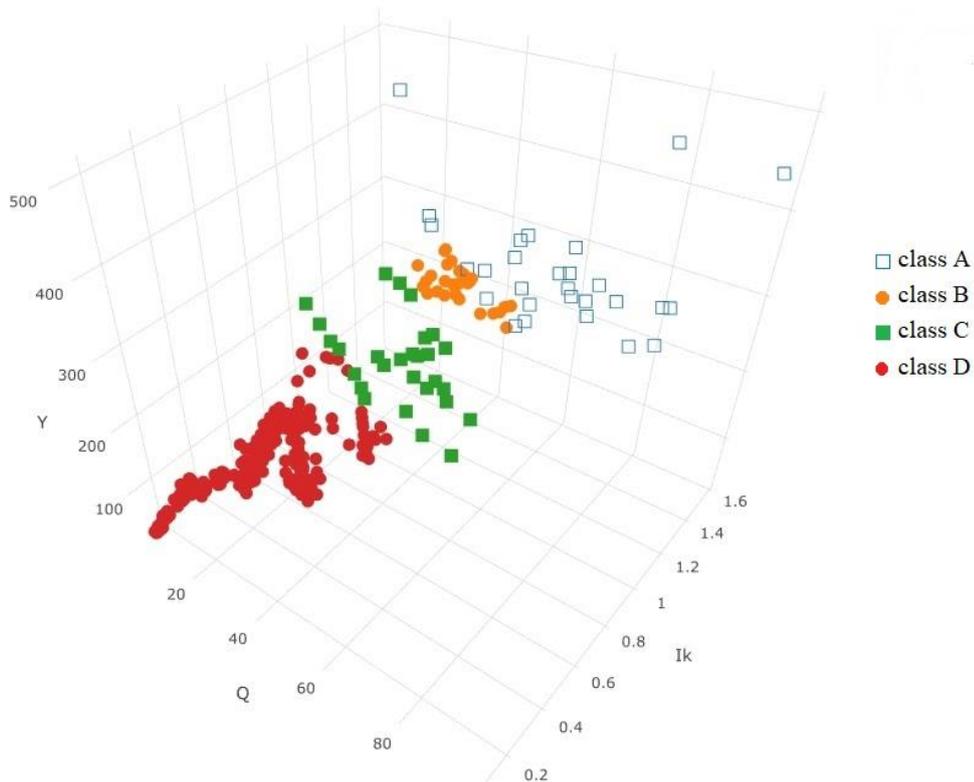


Рисунок 4.18 – Визуализация размеченного набора данных

Из рисунка 4.18 видим, что выбранные параметры позволяют четко выделить 4 класса проектов, это положительно скажется на качестве обучения и формализации правил базы знаний.

#### 4.7.2. Алгоритм обновления правил базы знаний

Разобьем набор данных на обучающую и тестовую выборку в отношении 80% на 20% и, используя описанные метрики, рассчитаем эффективность алгоритма при различном уровне критерия остановки обучения (рисунок 4.19).

Приемлемым уровнем эффективности алгоритма установим тот, при котором возможно формализовать полный набор правил при незначительном отклонении от максимального уровня точности. Из рисунка 4.19 видим, что наиболее критичное падение эффективности алгоритма происходит при уровне критерия остановки обучения в 5% объектов каждого класса.



Рисунок 4.19 – Оценка эффективности алгоритма обучения

Далее представим полученные деревья решения для критерия остановки равного 1% (рисунок 4.20, а), 2% и 3% (рисунок 4.20, б), 4% (рисунок 4.20, с) и 5% (рисунок 4.20, d). Далее выберем тот, который соответствует выставленным ранее требованиям.

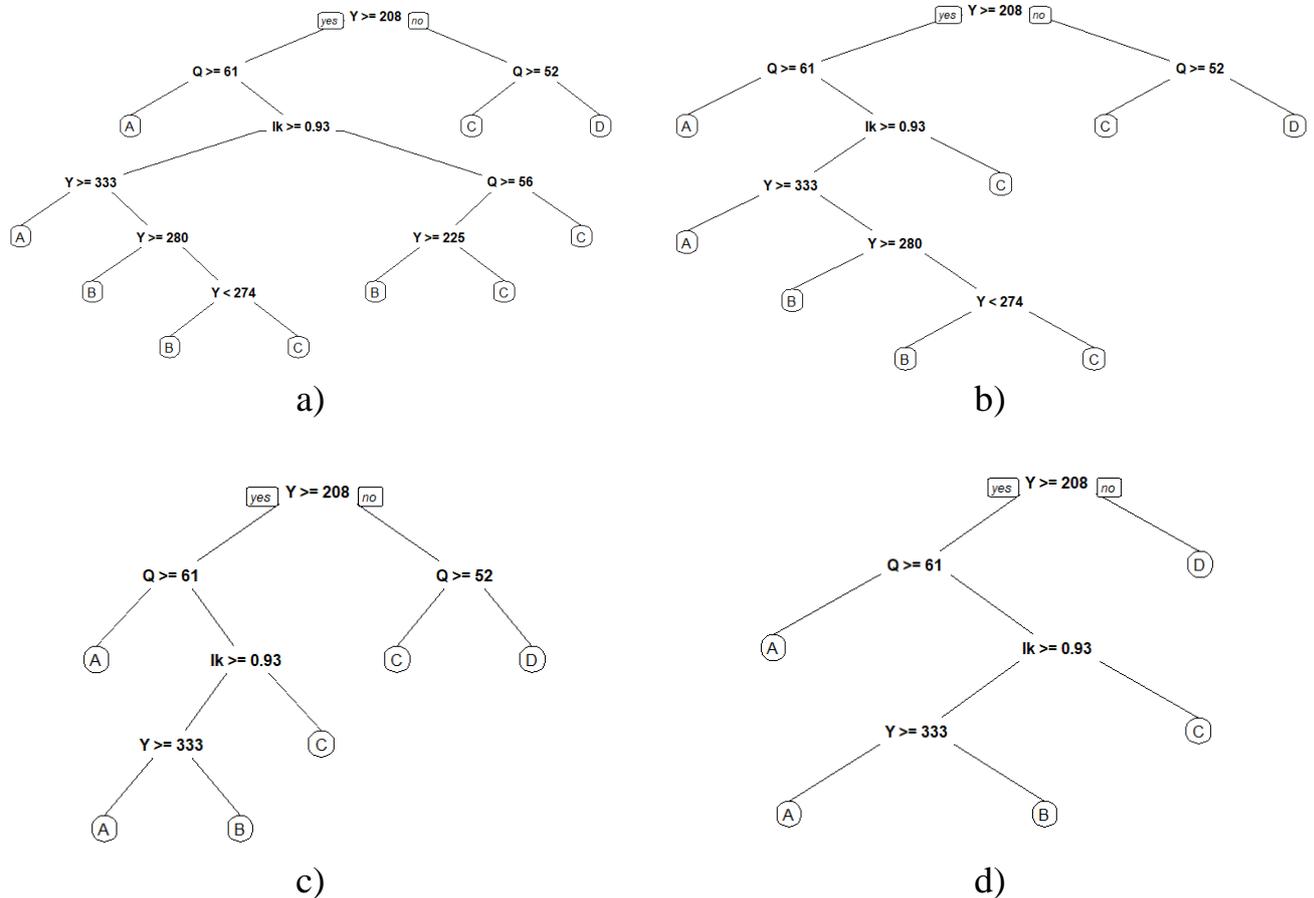


Рисунок 4.20 – Структура дерева решений при различном уровне критерии остановки обучения

В данном случае при 2% и 3% получена одинаковая структура дерева. Выбор уровня критерия остановки, равного наличию не менее 4% объектов в каждом классе, при незначительном снижении точности классификации позволяет получить оптимальную структуру дерева решения для его формализации. Таким образом, можно принять данное значение для критерия остановки обучения. В этом случае в базу знаний добавятся правила:

1) если  $Y \geq 208$  и  $Q \geq 61$ , то проект принадлежит классу А (рекомендация ЭС: проект имеет высокий потенциал реализации);

2) если  $Y \geq 333$  и  $Q < 61$  и  $I_k \geq 0,93$ , то проект принадлежит классу А (рекомендация ЭС: проект имеет высокий потенциал реализации);

3) если  $208 \leq Y < 333$  и  $Q < 61$  и  $I_k \geq 0,93$ , то проект принадлежит классу В (рекомендация ЭС: перспективный проект);

4) если  $Y \geq 208$  и  $Q < 61$  и  $I_k < 0,93$ , то проект принадлежит классу С (рекомендация ЭС: проект имеет научный/коммерческий потенциал);

5) если  $Y < 208$  и  $Q \geq 52$ , то проект принадлежит классу С (рекомендация ЭС: проект имеет научный/коммерческий потенциал);

6) если  $Y < 208$  и  $Q < 52$ , то проект принадлежит классу D (рекомендация ЭС: проект не доработан).

Далее приведен пример формирования автоматических рекомендаций выбора управленческого решения в ИАС «UNIProject» с учетом концептуального представления знаний эксперта (таблица 4.21).

Таблица 4.21 – Пример формирования рекомендаций в ИАС «UNIProject»

Блок	Условия			Промежуточный вывод/рекомендация
	if	and	or	
Состояние проекта	проект соответствует условиям конкурса	$Y \geq 208 \wedge Q \geq 61$	$Y \geq 333 \wedge Q < 61 \wedge I_k \geq 0,93$	проект подходит для участия в выбранном конкурсе и имеет высокий потенциал реализации
Работа с проектом	не имеет действующий грант	ранее подготовлено 3 и более заявки	–	руководитель активно участвует в конкурсах, проект готов к участию
Работа с заявкой	имеется шаблон заявки	имеется пример успешной заявки	–	в системе имеется шаблон заявки для данного конкурса, есть возможность автоматически сформировать заявку
Решение	высокий потенциал реализации	готов к участию	в системе есть шаблон	<b>Рекомендуется подать заявку</b>

Схема обработки запроса с учетом алгоритмов расчета оценки и отбора проектов (рисунки 4.6 и 4.7) выглядит следующим образом (рисунок 4.21).

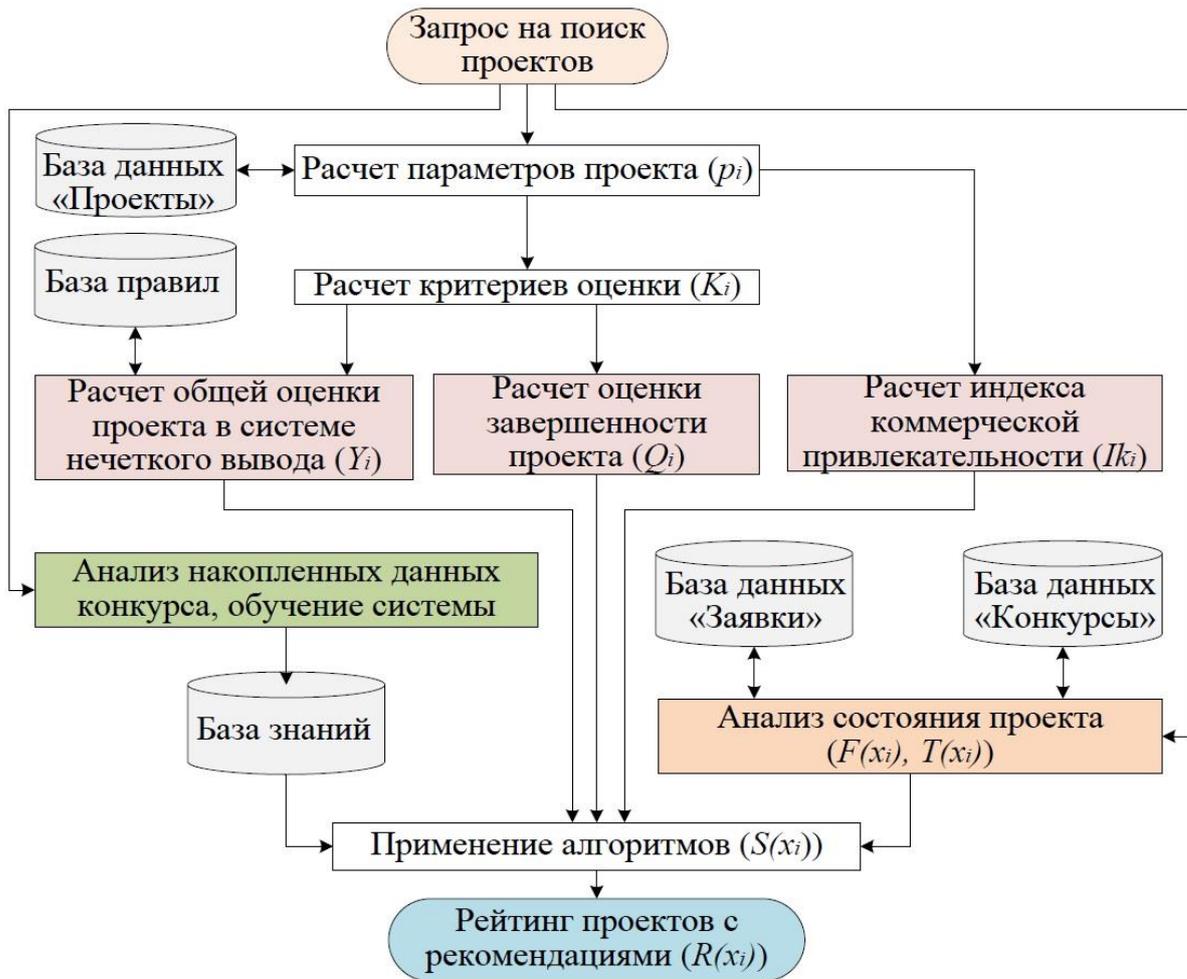


Рисунок 4.21 – Схема обработки запроса на подбор проекта

В качестве примера на данном этапе было проведено обучение на выборке проектов, участвовавших в одном конкурсе, однако данный подход применим и к обучению системы по типам проектов, их научным направлениям и другим характеристикам, что с учетом скорости работы алгоритма позволяет на каждый запрос формировать рекомендации, актуальные заданным условиям и накопленным данным. В отсутствие детальной статистики по результатам участия в конкурсе данный алгоритм достаточно просто настраивается на классификацию на 2 класса: выигравшие проекты и невыигравшие.

## 4.8 Пример анализа проектов разработки сложных технических систем и поддержки принятия решений в ИАС «UNIProject»

### 4.8.1 Модель информационно-аналитической системы

Концептуальная модель разработанной экспертной системы представлена на рисунке 4.22.

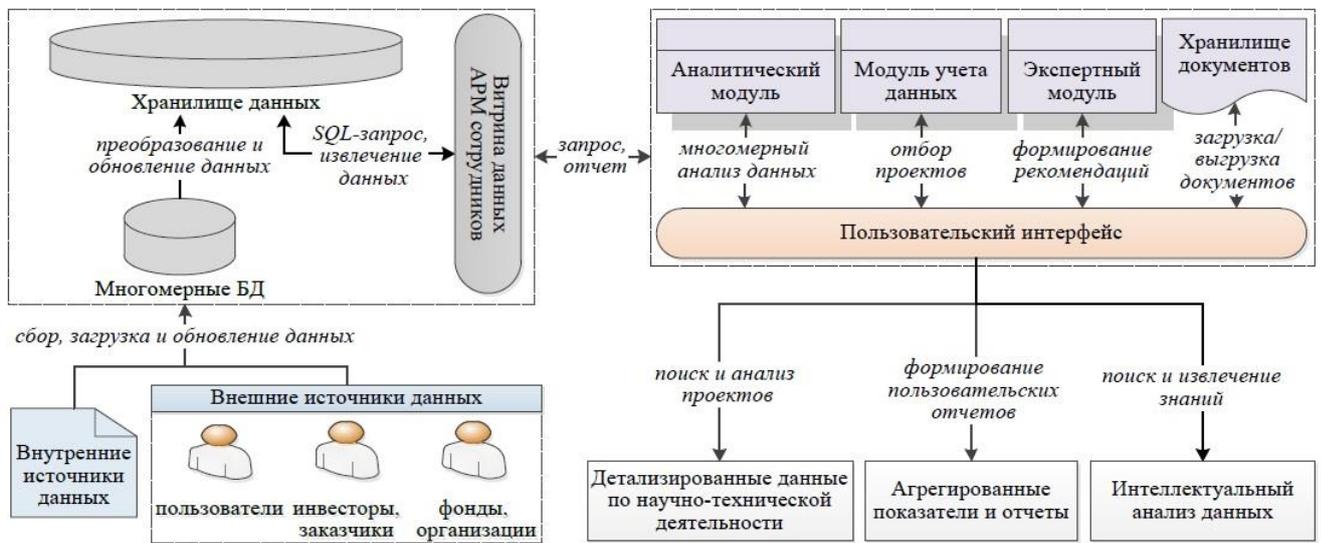


Рисунок 4.22 – Концептуальная модель системы информационно-аналитической поддержки принятия решений

В этом случае технологическая схема функционирования информационно-аналитической системы поддержки процессов реализации наукоемких проектов будет выглядеть следующим образом (рисунок 4.23).

Здесь: РМ1 – автоматизированное место специалиста, АРМ2 – автоматизированное место сотрудника, АРМ3 – автоматизированное место эксперта, БД1 – база данных пользователей, БД2 – база данных проектов, БД3 – база данных конкурсов, БД4 – база данных заявок на конкурсы, БПр – база правил нечеткой логики, БЗн – база знаний для экспертных рекомендаций, Хдок – хранилище документов, ХД – хранилище данных, АМ – модуль анализа, МУ – модуль учета проектов и изменений в них, ЭМ – модуль генерации экспертных



- 1) наглядность отображения информации;
- 2) выражение категорий на естественном языке, естественной знаковой системой;
- 3) возможность отображения как фактографической, так и документальной информации;
- 4) гибкая работа с множеством источников данных независимо от архитектуры системы и организации сетевых ресурсов.
- 5) работа с хранилищем документов.

Представленная организация интерфейса позволяет реализовать следующие пользовательские функции согласно уровню доступа:

- менеджеру проектов: работа с базами данных системы, добавление и редактирование информации по конкурсам и заявкам, доступ ко всем файлам заявок и отчетов по проектам, просмотр оценок всех проектов, проводить отбор проектов;
- пользователю: добавление и редактирование информации о себе и своих проектах, доступ к информации по всем конкурсам, возможность добавлять и редактировать заявки и отчеты по своим проектам;
- экспертам, инвесторам: просмотр основной информации по проектам, доступ к оценкам проектов, отбор проектов.

Система поддержки принятия решений реализована на основе технологии «клиент-сервер» (СУБД MS SQL) и включает подсистемы внесения данных о проектах и работы с данными.

В качестве примера отберем 10 проектов, участвующих в одном конкурсе инновационных проектов [101], и проведем их анализ средствами ИАС «UNIProject» (таблица 4.22).

Таблица 4.22 – Описание наукоемких проектов

№	Название проекта	Аннотация	Решение экспертов
1	Эксцентриковый механизм перекоса для колонн направленного бурения по нефти и газу	Данный механизм перекоса предназначен для получения наклонно направленных нефтяных и газовых скважин с заданной точностью без извлечения бурильной колонны в процессе создания скважины [160].	Диплом 3 степени
2	Разработка интегрированной технологической системы связи предприятия с применением технологии RoIP	Предлагаемая система связи предприятия с применением технологии RoIP позволит решить проблему использования различных средств связи и обеспечит взаимодействие между подразделениями и организациями, использующими системы радиосвязи различных протоколов [161].	Не выиграл
3	Разработка программно-аппаратного комплекса для снижения шума установок вентиляции	Снижается шум от установок вентиляции с помощью нового метода на основе электроакустического оборудования. В экспериментах реализуется имитационное моделирование распространения звука и обоснование мест расположения точек измерения и излучения звука [162].	Диплом 2 степени
4	Автоматизированный диагностический комплекс для контроля электрических двигателей самолета	Автоматизированный диагностический комплекс электрических двигателей самолета (АДКЭДС) представляет собой программно-аппаратный комплекс по диагностике электрических двигателей [163].	Диплом 3 степени
5	Автоматизированная система проектирования локально-вычислительных сетей в жилых и офисных помещениях	Система предназначена для автоматизированной разводки ЛВС и оптимальной расстановки сетевого оборудования в офисных и жилых помещениях по пользовательским чертежам. В результате пользователь получает готовый для использования план ЛВС и полную смету затрат [164].	Диплом 1 степени
6	Двигатель внутреннего сгорания, работающий от газогенератора с принудительным воспламенением	Цель работы – проектирование двигателя внутреннего сгорания, работающего от газогенератора с принудительным воспламенением. Проведен расчёт основных параметров процесса газификации, определены основные показатели работы двигателя на генераторном газе, тепловой, динамический и кинематический энергии, представлен расчет прочности основных деталей двигателя [165].	Не выиграл

№	Название проекта	Аннотация	Решение экспертов
7	Информационно-измерительная система для определения параметров движения механизмов автоматики стрелкового оружия бесконтактным способом	Важным этапом проектирования автоматического оружия является его расчет, основанный на инженерном анализе конструкции. Основной задачей при расчете механизмов автоматики остается задача определения скоростей и перемещений узлов стрелкового оружия. Для измерения линейных перемещений механизмов оружия во время стрельбы применяют различные методы, обладающие существенными недостатками [166].	Диплом 2 степени
8	Устройство для вибрационного сверления	Перед предприятиями оборонно-промышленного комплекса занятыми в сфере производства стрелково-пушечного оружия актуальным является вопрос повышения производительности и качества изготовления стволов. Основной операцией механической обработки стволов является сверление глубокого отверстия с последующей доводкой полученного отверстия до требуемых параметров класса точности и чистоты поверхности [167].	Не выиграл
9	Разработка частотного преобразователя для основного привода лифта	Макет преобразователя частоты предназначен для регулирования частоты вращения асинхронного двигателя мощностью до 12 кВт. Питание макета трехфазное от сети 0,4 кВ. Диапазон выходной частоты: 0...103 Гц. Преобразователь частоты спроектирован по двухзвенной схеме с неуправляемым выпрямителем и трехфазным мостовым инвертором [168].	Диплом 2 степени
10	Широкополосный коротковолновый SDR модем	Проект представляет собой коротковолновый широкополосный SDR модем на базе ПК. Устройство предназначено для формирования и обработки широкополосных сигналов в полосе 96 кГц и обеспечивающих техническую скорость передачи до 2625 бит/с. Процесс формирования и обработки сигнала производится на ПК в среде matlab [169].	Диплом 1 степени

После заполнения паспорта проектов они доступны для просмотра в ИАС «UNIProject» на вкладке «Проекты» (рисунок 4.24), которая содержит основную информацию: аннотация, состав коллектива, объем необходимых инвестиций, научное направление, научный задел и стадия проекта. Также на этой вкладке менеджер проектов может просмотреть наличие заявок и отчетов по всем проектам, кликнув соответствующие поля вкладки.

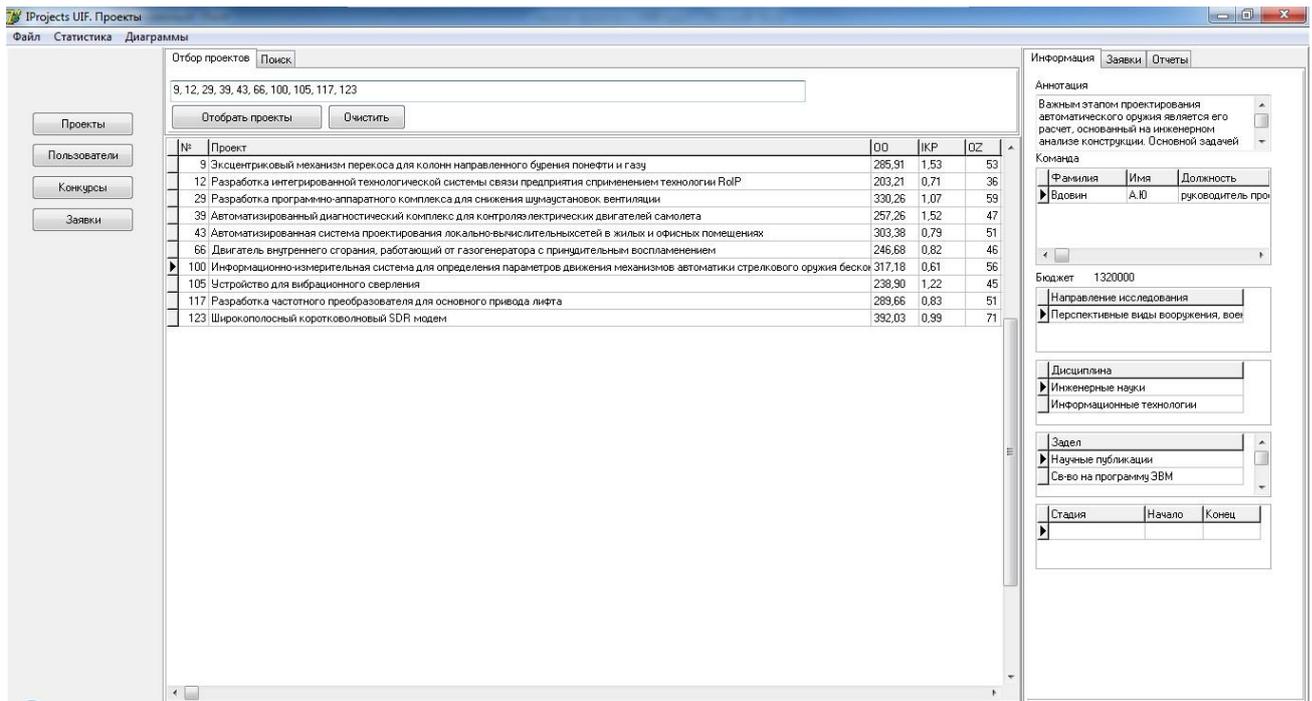


Рисунок 4.24 – Скриншот вкладки «Проекты» прототипа ИАС «UNIProject»

Вкладка «Проекты» является основным разделом подсистемы работы с данными. При запуске приложения менеджеру проектов открывается доступ к главной форме, содержащей следующий набор элементов управления: строка меню, панель инструментов для работы с данными и главный фрейм окна, в котором отображаются данные.

На этой же вкладке с помощью панели инструментов осуществляется задание критериев для отбора проектов, отобранные проекты отображаются единым списком в окне данных. Таким образом, выбранные проекты в информационной системе имеют следующие основные характеристики, необходимые для дальнейшего анализа:  $Y$  – общая оценка проекта (балл),  $Ik$  – уровень научно-технического развития (балл),  $Q$  – степени соответствия целевому состоянию (%) (таблица 4.23).

На вкладке «Пользователи» менеджер проектов просматривает информацию по всем пользователям системы, их статус в качестве участника конкурсов, а также приложенные ими файлы заявок и отчетов по конкурсам, кликнув соответствующие поля вкладки.

Таблица 4.23 – Краткая характеристика проектов в рамках ИАС «UNIProject»

Проект	Тип проекта	Заявленный бюджет, руб.	Срок реализации, месяцев	$Y$	$Ik$	$Q$
проект №1	научно-прикладной	1500000	15	285,91	1,53	53
проект №2	научно-прикладной	1250000	12	203,21	0,71	36
проект №3	научно-прикладной	1360000	18	330,26	1,07	59
проект №4	научно-прикладной	3100000	24	257,26	1,52	47
проект №5	научно-прикладной	1400000	12	303,38	0,79	51
проект №6	научно-прикладной	240000	10	246,68	0,82	46
проект №7	научно-прикладной	1320000	12	317,18	0,61	56
проект №8	научно-прикладной	1530000	18	238,90	1,22	45
проект №9	научно-прикладной	2800000	18	289,66	0,83	51
проект №10	научно-прикладной	900000	12	392,03	0,99	71

На вкладке «Конкурсы» (рисунок 4.25) менеджер проектов видит всю информацию по занесенным в систему конкурсам и имеет доступ к добавлению и редактированию информации о конкурсе и его документации.

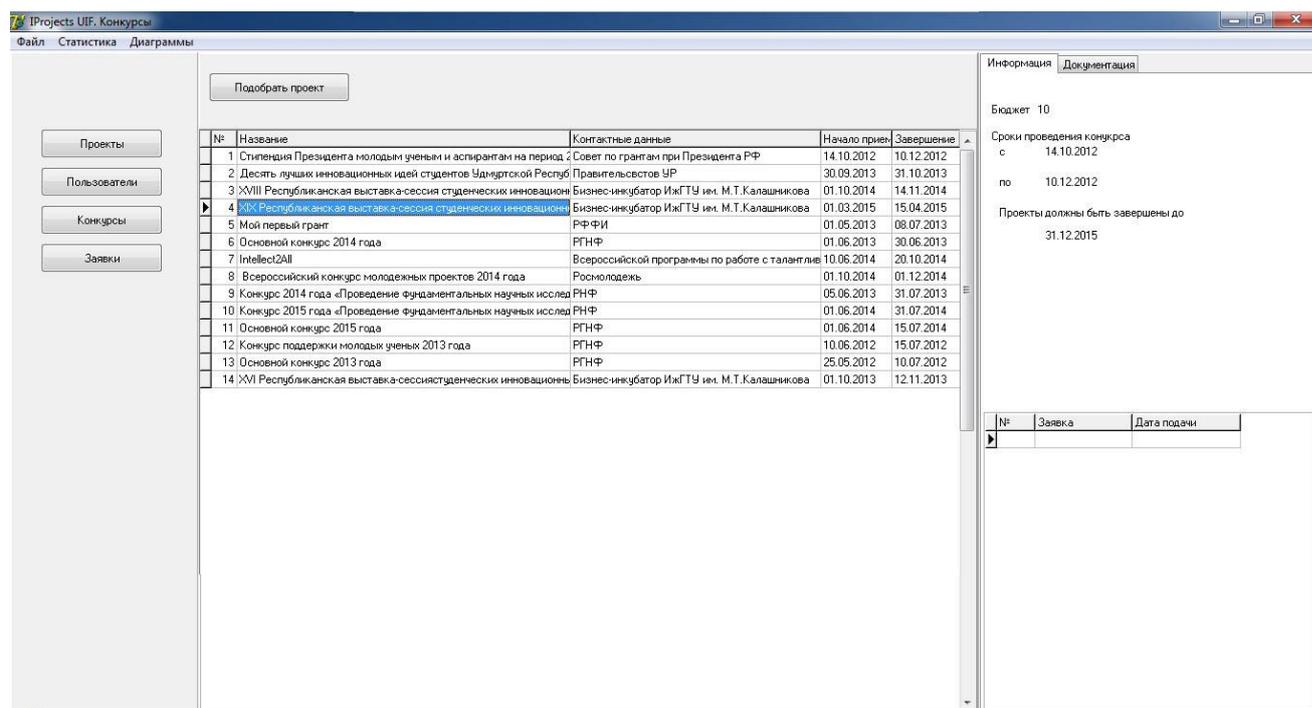


Рисунок 4.25 – Скриншот вкладки «Конкурсы» прототипа ИАС «UNIProject»

Основная информация по конкурсам и конкурсная документация также доступна и другим пользователям системы.

На вкладке «Заявки» менеджер проектов имеет возможность просматривать информацию по всем заявкам пользователей, редактировать приложенные файлы

заявок и отчетов по выполненным проектам.

Таким образом, функционал и интерфейс ИАС «UNIProject» для менеджера проектов дает возможность достаточно быстро решать практические любые нестандартные задачи в процессе управления наукоемкими проектами разработки СТС, поскольку позволяет получить оперативный доступ ко всей информации, находящейся в базах данных и провести ее многомерный анализ, реализуемый аналитическим модулем ИАС.

#### **4.8.3 Описание и пример работы модуля формирования экспертных рекомендаций в ИАС «UNIProject»**

Проект, эффективный для одной организации, может оказаться убыточным для другой в силу многих причин: уровня компетентности персонала, опыта реализации проектов сложных технических систем, территориальной расположенности, состояния основных фондов и др. Поэтому возможности реализуемой ИАС «UNIProject» не сводятся только к автоматизации процессов управления инновационной системой. В целях повышения эффективности управления наукоемкими проектами и отбора наиболее предпочтительных проектов для конкретного инвестора или участия в конкурсе реализован аналитический модуль, позволяющий проводить многопараметрическую оценку наукоемких проектов, а также оптимизировать правила формирования рекомендаций путем аккумуляции и обработки большого объема информации.

Аналитический модуль ИАС «UNIProject» поддерживает следующие основные функции:

- позволяет структурировать и автоматизировать процессы, способствуя повышению скорости обработки и подготовки управленческой информации, а также повышению качества принятия решений;
- анализ данных и их представление в заданной форме;
- является автономной надстройкой, функционирующей независимо от других подсистем и взаимодействуя с ними в процессах получения исходных

данных и передачи результатов их обработки [112].

Аналитические приложения часто настраивают на решение нестандартных, непредсказуемых или редких задач. Такие задачи при разработке сложных технических систем могут возникать, например, при выборе проектов для модернизации производства, моделировании стратегии реализации существующих проектов или производства нового продукта, а также при оценке проектов для покупки или продажи, пересчете бюджетов и т.п. [112].

Разработанная структура паспорта наукоемкого проекта позволяет получить количественную информацию по множеству его аспектов, что значительно облегчает проведение многомерного анализа проектов в различных срезах. Возможные запросы в базу данных: по ключевым словам (общий поиск по БД), по ФИО пользователя, научная дисциплина, область знания (технические, естественные, социальные), тема проекта, название конкурсов, по заявкам (стадии), названию заявок, общая балльная оценка, оценки параметров, сроки выполнения, бюджет, стадия проекта, количество и уровень публикаций по теме проекта, участие проекта в конкурсах, грантах, выставках и др.

Источником данных служит база данных, реализованная на платформе Microsoft SQL Server, а гибкая настройка модуля на предметную область конкретного предприятия предоставляет возможности:

- анализа пользователей ИАС в разрезе количества и уровня публикаций;
- построения профиля проектов в разрезе типа, стадии, уровня научного потенциала и степени реализуемости, отчетов по выигранным грантам и т.д.;
- анализа заявок на конкурсы в разрезе их статуса, процесса подготовки и успешности участия;
- анализа коллектива проекта;
- подготовки аналитических отчетов.

Схематично работа аналитического модуля представлена на рисунке 4.26.

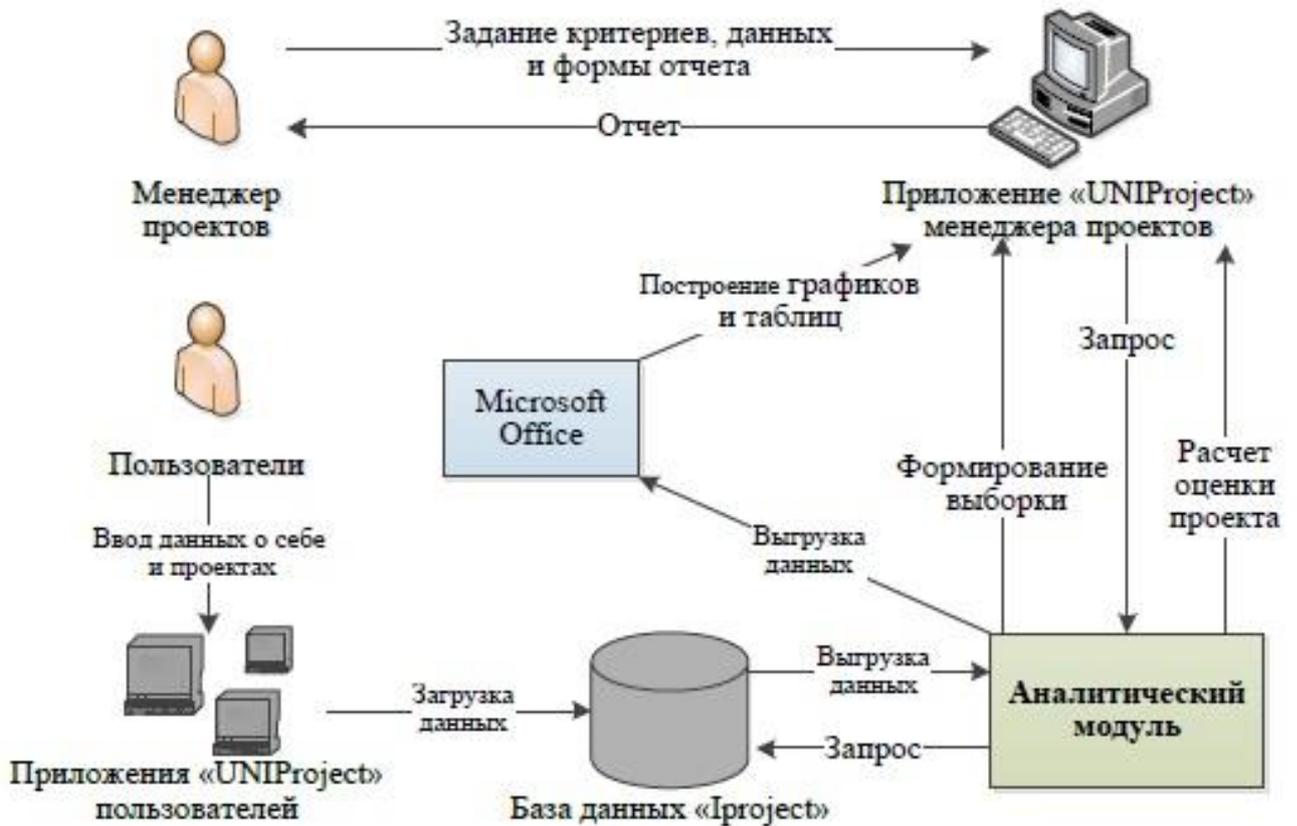


Рисунок 4.26 – Схема работы аналитического модуля ИАС «UNIProject»

Использование текстового редактора Microsoft Office при выводе результатов работы модуля позволяет специалисту (менеджеру проектов):

- провести корректировку вида и наполнения форм визуализации;
- создавать шаблоны часто запрашиваемых форм отчетов;
- дополнить или изменить загруженные данные;
- представлять данные в графическом и/или табличном виде.

В экспертном модуле ИАС «UNIProject» реализованы возможности интерактивного анализа многомерных данных при просмотре отчетов пользователем:

- агрегация и детализация данных;
- формирование срезов по различным измерениям;
- сравнительный анализ данных по группам, ретроспективный анализ.

Отчеты формируются как по задаваемым параметрам, так и по шаблонам

наиболее частых запросов к БД.

Модуль формирования экспертных рекомендаций запускается менеджером проектов нажатием кнопки «Подобрать проект» (рисунок 4.25), далее открывается окно для внесения дополнительных параметров запроса.

По данному запросу производится автоматический подбор проектов путем наложения заданного параметрического пространства конкурса на параметрическое пространство всех проектов в базе данных согласно алгоритму, представленному на рисунке 4.7.

Помимо этого есть возможность отобрать проекты из списка и получить по ним экспертную рекомендацию, для этого в поле «Отобрать проекты» необходимо ввести номера выбранных ранее проектов (таблица 4.20).

Результат анализа выбранных проектов в рамках указанного конкурса отображается в окне программы «Рекомендуемые проекты». Рекомендация по работе с проектом приведена в поле «Экспертное решение», при выборе проекта из списка в правой части окна выводятся промежуточные выводы по оценке его состояния согласно разработанным алгоритмам (рисунок 4.27).

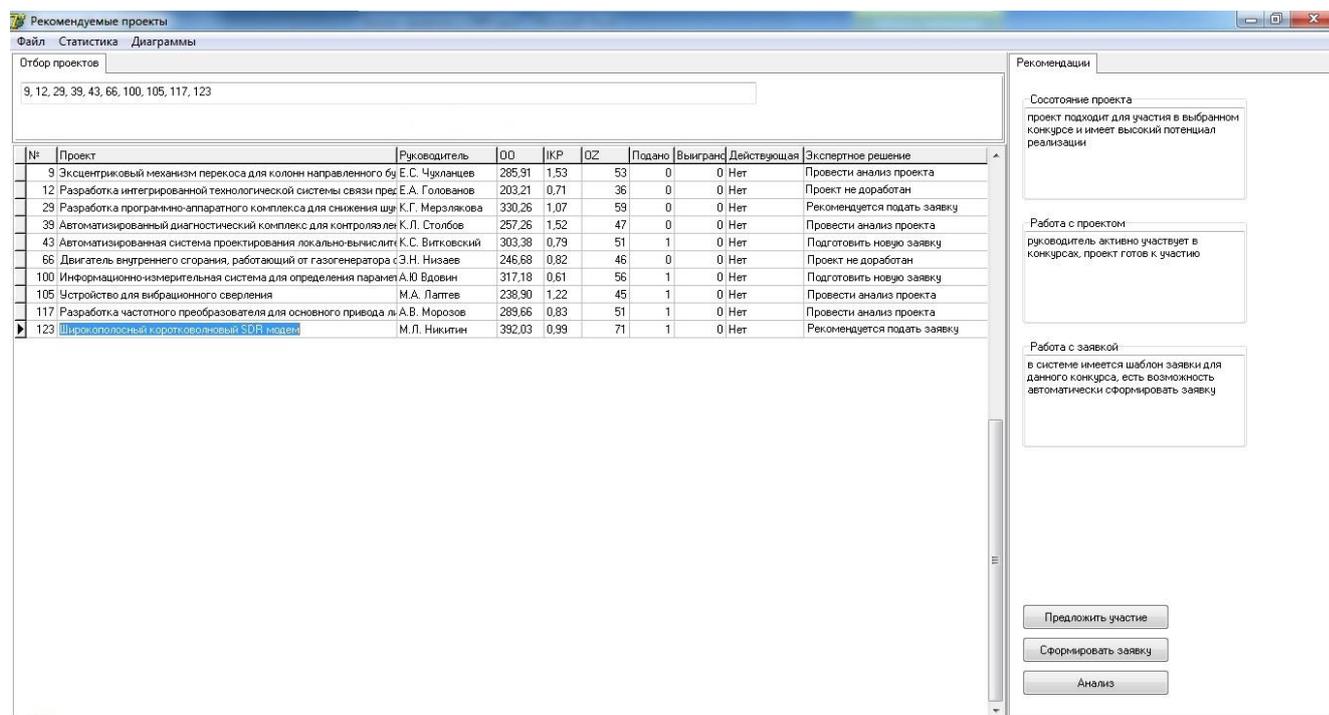


Рисунок 4.27 – Скриншот окна результатов анализа проектов

Из рисунка 4.27 видим:

- 2 проекта получили рекомендации подать заявку из списка по шаблону, имеющемуся в системе для данного конкурса;
- по 2 проектам рекомендуется подготовить новую заявку, т.е. необходимо попросить руководителя проекта обновить данные по проекту в системе;
- по 4 проектам рекомендуется провести дополнительный анализ на предмет соответствия требованиям конкурса;
- 2 проекта, получившие наименьшую оценку, не рекомендованы для участия в выбранном конкурсе.

На рисунке 4.28 представлено визуальное сравнение решения конкурсной комиссии и рекомендации ИАС «UNIProject» по каждому проекту, по оси Y отложены варианты решений экспертной комиссии и автоматические рекомендации ИАС в порядке возрастания их уровня.

Коэффициент корреляции рангов выделенных уровней экспертных решений равен 83%, что говорит о высокой сопоставимости результатов оценки проектов и экспертных рекомендации ИАС «UNIProject» (рисунок 4.27) с результатами экспертной комиссии (таблица 4.20).

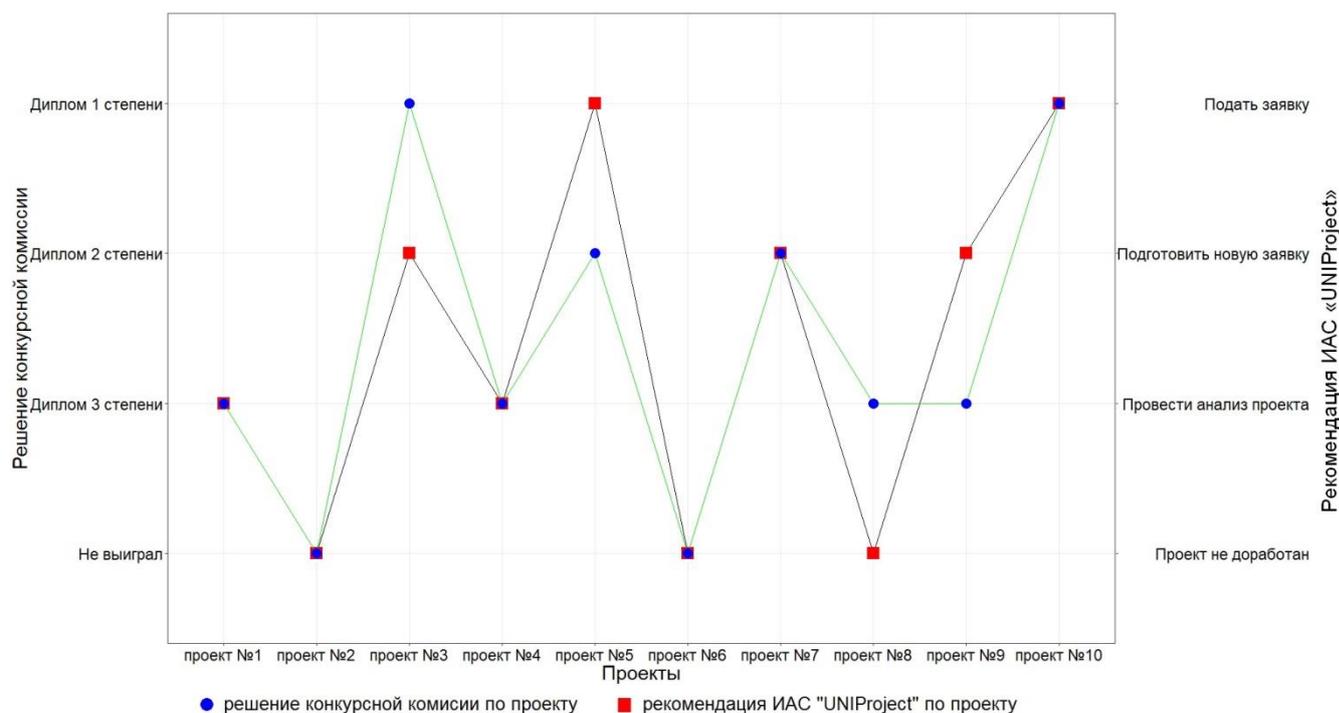


Рисунок 4.28 – Сравнение экспертных рекомендаций конкурсной комиссии и ИАС «UNIProject»

Менеджер проектов в случае принятия положительного решения по проекту, может предложить руководителю участвовать в конкурсе, нажав кнопку «Предложить участие», либо автоматически сформировать заявку по имеющемуся образцу (рисунок 4.6) или шаблону, в случае наличия в базе данных шаблона для выбранного конкурса.

Кнопка «Анализ» позволяет при необходимости перейти к дополнительному анализу проектов для поиска других вариантов в случае отсутствия проектов, соответствующих запросу, или для расширения списка заявок на определенный конкурс. В этом случае, к примеру, интерактивный анализ проектов в БД в разрезе их бюджетов и стадии реализации (рисунки 4.29 и 4.30) позволит перейти к необходимой группе проектов и отобразить дополнительный наукоемкий проект, соответствующий условиям конкурса.

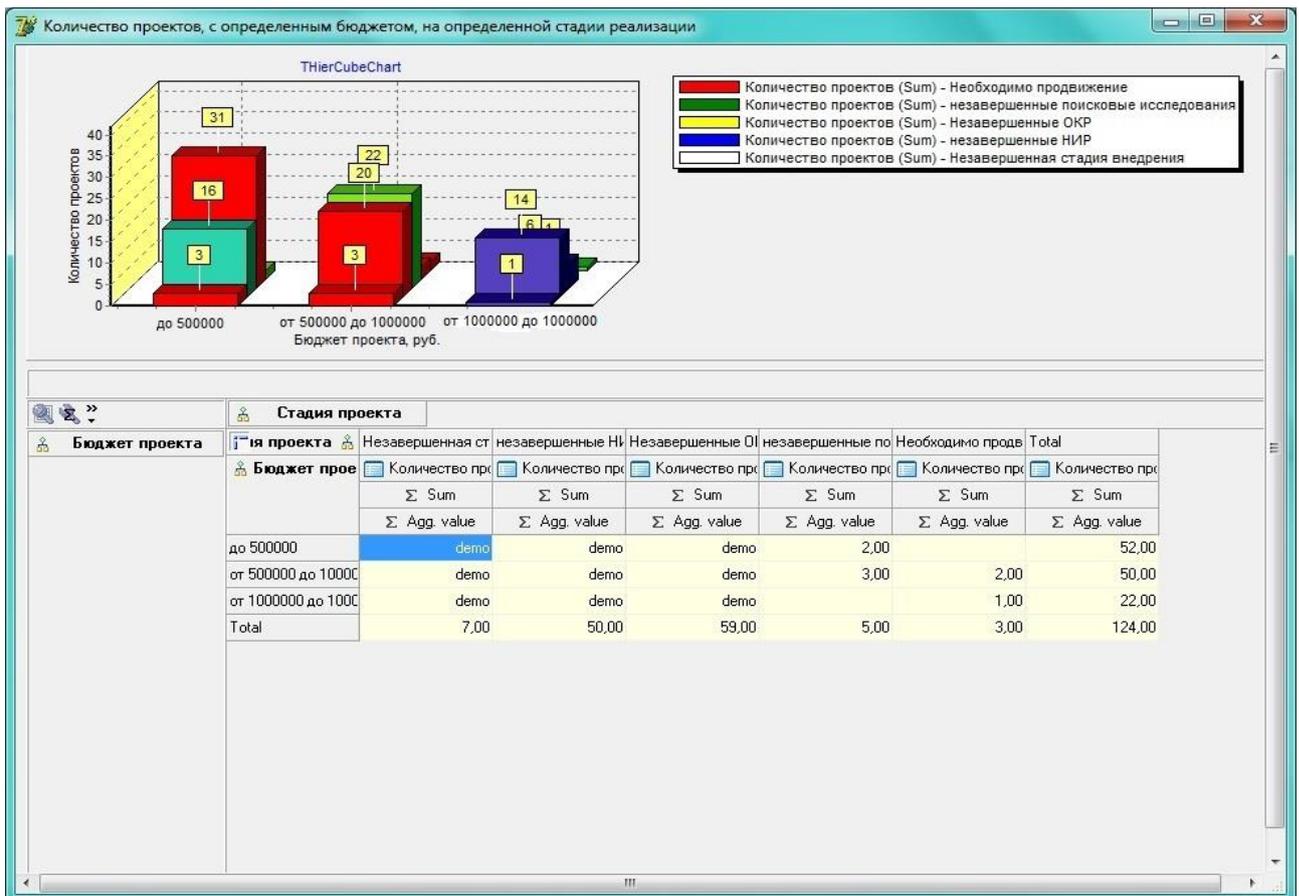


Рисунок 4.29 – Пример графического отображения результатов анализа проектов в разрезе их бюджетов и стадии реализации

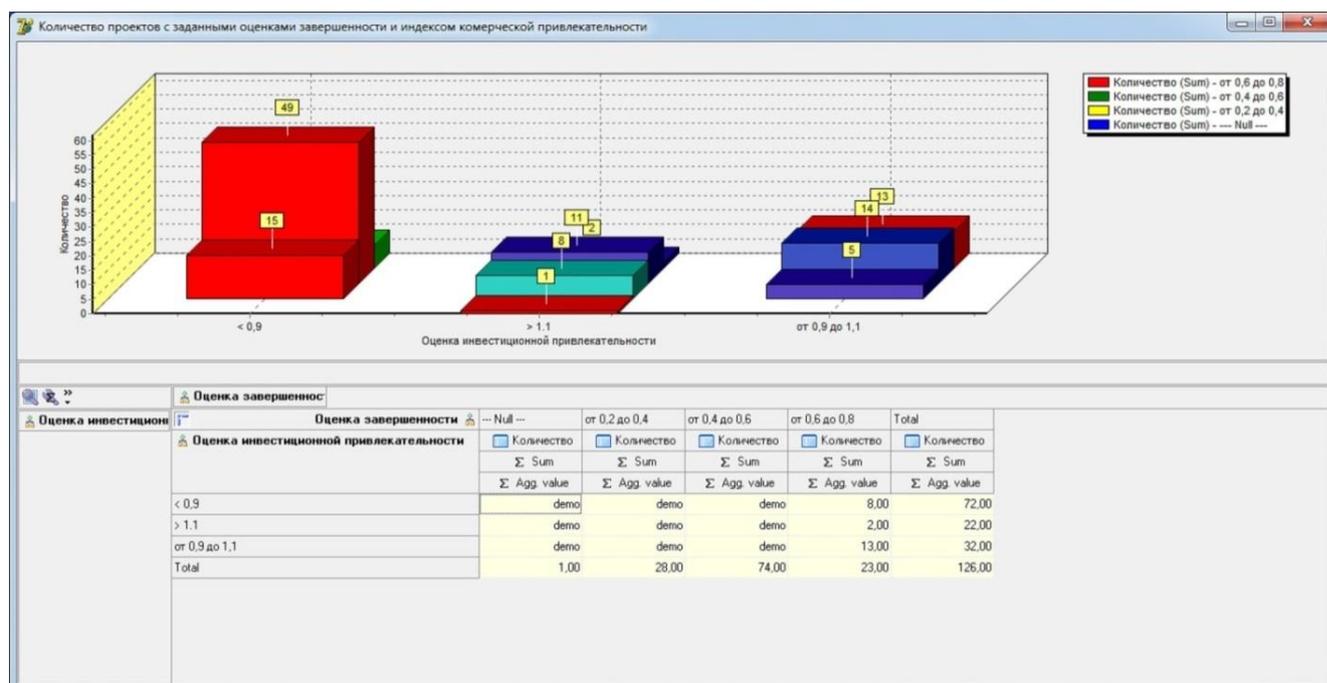


Рисунок 4.30 – Пример графического отображения результатов анализа проектов в разрезе оценок завершенности и привлекательности проекта

Набор шаблонов стандартных отчетов для анализа проектов размещен на панели быстрого доступа в группе команд «Диаграммы».

Таким образом, архитектура программного комплекса, объединяющая в единое информационное пространство подсистемы оперативной работы с проектами, их многомерного анализа и экспертный модуль, реализуют требуемый набор решений и процедур, способствующих повышению качества организации, продвижения и реализации наукоемких проектов по разработке сложных технических систем.

## Выводы по главе 4

Сформулированы требования к особенностям информационно-технической поддержки наукоемких проектов разработки СТС в рамках бизнес-инкубатора. Далее на основе разработанной методики:

1. Определены характерные особенности основных типов наукоемких проектов, что позволило построить концептуальную и содержательную модели наукоемких проектов, путем аддитивной свертки параметрического пространства

получены обобщенные критерии оценки проекта, позволяющие сформировать его многомерную информационную модель.

2. На основе онтологии построены инфологическая и даталогическая модели ИС, разработана структура базы данных под управлением СУБД Microsoft SQL Server.

3. На основе разработанной методики описаны виды и формы отчетов для статистического и визуального анализа эффективности управления наукоемкими проектами разработки СТС с применением алгоритмов многомерного анализа.

4. Формализация знаний эксперта исследуемой предметной области позволили определить условия и порядок принятия управленческого решения и разработать базу знаний для формирования автоматических рекомендаций по работе с наукоемкими проектами разработки сложных технических систем.

5. Описан комплекс функциональных модулей СППР, представлена схема работы аналитического модуля ИАС, показаны основные направления интерактивного анализа многомерных данных.

6. Представлена физическая реализация разработанных моделей и алгоритмов в виде программного комплекса, реализован графический интерфейс работы с БД, поддерживающий функции анализа наукоемких проектов и управления ими.

## **ГЛАВА 5 ПРИМЕР РАЗРАБОТКИ АЛГОРИТМОВ АНАЛИЗА НАУКОЕМКИХ ПРОЕКТОВ В РЕЖИМЕ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ**

### **5.1 Описание предметной области и формулирование требований к алгоритмам обработки данных**

В данном случае объектом анализа является онлайн-платформа оценки и анализа наукоемких проектов «ScientificCoin», основанная на технологии блокчейн. Основная цель данной платформы – организация информационной и финансовой поддержка наукоемких проектов [153]. Платформа была запущена в 2018 году, в феврале 2019 года планируется завершить разработку полного функционала блокчейн платформы по системе proof-of-research.

Уникальность данной платформы заключается в применении гибридной системы оценки проектов: специально разработанный математический алгоритм рассчитывает оценку привлекательности проекта по данным его паспорта, далее результаты оценки корректируются мнением пользователей платформы.

Для реализации описанного функционала необходимо решить следующие задачи:

1) описать существенные для предметной области понятия и концепты и построить модель онтологии наукоемких проектов;

2) разработать структуру онлайн-формы для подачи заявки на оценку научно-технического проекта в рамках платформы, представляющей собой специальную анкету с конкретными вопросами и показателями проекта;

3) построить математические модели оценки привлекательности по выбранным атрибутам проекта в соответствии с их взаимосвязями;

4) разработать алгоритмы формирования автоматических рекомендаций в рамках онлайн-платформы для повышения эффективности отбора наукоемких проектов на основе анализа структуры их параметров и рассчитанной оценки привлекательности.

## 5.2 Выбор экспертов и разработка модели онтологии предметной области

При разработке модели онтологии экспертами выступили специалисты «Научно-технологического парка Новосибирского Академгородка», активно участвующие в оценке и управлении наукоемкими проектами разработки СТС.

Проведем оценку мнений выбранных экспертов согласно методике описанной в разделе 2.2.1. Для этого сведем значения критериев оценки экспертов в таблицу 5.1.

Таблица 5.1 – Расчет баллов эксперта

	Критерии				Средневзвешенная сумма баллов
	Общий стаж работы	Отношение к предметной области	Опыт организации и ведения проектов	Опыт оценки и отбора проектов	
Вес критерия	0,1	0,2	0,3	0,4	
Эксперты	-	-	-	-	
1	3	3	2	3	2,7
2	3	2	3	3	2,8
3	2	3	3	3	2,9
4	3	2	3	3	2,8
5	2	2	2	3	2,4
6	1	2	2	3	2,3
7	3	2	3	2	2,4
8	2	2	3	2	2,3
9	2	2	1	2	1,7
10	2	3	2	3	2,6
11	2	3	2	2	2,2
12	2	1	2	2	1,8

Результаты расчета веса мнений экспертов представлены в таблице 5.2.

Полученные коэффициенты мнений экспертов позволят далее получить средневзвешенные значения результатов опроса экспертов.

Таблица 5.2 – Расчет весомости оценок эксперта

Эксперт	Сумма баллов	Ранг эксперта	Коэффициент компетентности эксперта, рассчитанный по методу Фишберна
1	2,7	4	0,115
8	2,8	2,5	0,135
9	2,9	1	0,154
6	2,8	2,5	0,135
5	2,4	6,5	0,083
7	2,3	8,5	0,058
2	2,4	6,5	0,083
4	2,3	8,5	0,058
3	1,7	12	0,013
10	2,6	5	0,103
11	2,2	10	0,038
12	1,8	11	0,026

Далее перейдем к формированию содержательной и концептуальной модели онтологии предметной области.

На основе экспертного опроса сформулированы следующие критерии оценки проектов:

1) **Опыт руководителя (K1)**: отражает научный уровень и профессиональный опыт руководителя проекта, а также его накопленную результативность исходя из количества и уровня опубликованных научно-исследовательских работ, а также зарегистрированных объектов интеллектуальной собственности и реализованных проектов.

2) **Признание проекта (K2)**: отражает степень знакомства с проектом профессионального научного общества и аккумулирует значения параметров уровня раскрытия информации о проекте, его наград и поддержки различными организациями.

3) **Наукоемкость (K3)**: характеризует глубину научно-исследовательской проработанности проекта, а также накопленный научный задел и степень новизны предлагаемых методов к решению описанной проблемы.

4) **Ресурсы (K4)**: отражает уровень имеющихся в распоряжении коллектива проекта кадровых, технологических и финансовых ресурсов, а также их соответствие поставленным целям и ожидаемым результатам.

5) **Научно-технический уровень (K5)**: характеризует уровень научной и

технической реализуемости проекта с учетом опыта руководителя, текущей стадии реализации проекта, наличия необходимых ресурсов, планируемых сроков и уровня технологичности предметной области.

6) **Результаты (К6):** характеризует степень уникальности и новизны предлагаемого решения для целевых сегментов с учетом текущей оценки достижимости планируемых показателей, а также ожидаемый уровень востребованности результатов проекта.

7) **Новизна результатов (К7):** комплексный показатель научной и коммерческой уникальности проекта в сравнении с существующими решениями на рынке.

8) **Опыт коллектива (К8):** отражает уровень знакомства коллектива проекта с областью исследований, а также качество описания и представления предлагаемого решения.

9) **Уровень ТЭО (К9):** комплексный показатель финансового успеха при реализации проекта на основе анализа опыта руководителя и коллектива проекта, текущей стадии разработок, доступа к необходимым ресурсам, плановых сроков и ожидаемых результатов.

10) **Аналоги (К10):** отражает значимость и новизну предлагаемого решения для целевых потребителей продукта, а также степень коммерческой и правовой защищенности результатов проекта.

11) **Стратегия (К11):** характеризует уровень проработанности и согласованности цели и задач проекта, а также их адекватность текущей стадии развития, имеющимся ресурсам и оценке рыночной ситуации.

12) **Риски (К12):** комплексный показатель, отражающий степень неопределенности развития проекта исходя из оценки его факторов риска, области исследования, новизны предлагаемого решения, анализа рынка и стратегии продвижения продукта. Значение данного показателя в целевом состоянии должно стремиться к 0.

**Общая оценка проекта** представляет собой агрегированный показатель привлекательности проекта и уровня сбалансированности его развития на основе анализа всех представленных критериев.

Оценки критериев решено представлять по шкале от 0 до 10: чем выше, тем лучше, кроме критерия К12 «Риски»: чем он ниже, тем привлекательнее проект.

Параметры технического проекта представим в виде паспорта руководителя (таблица 5.3) и паспорта самого проекта (таблица 5.4), поскольку руководитель в рамках данной платформы может иметь несколько проектов.

### 5.3 – Содержание паспорта руководителя наукоемкого проекта

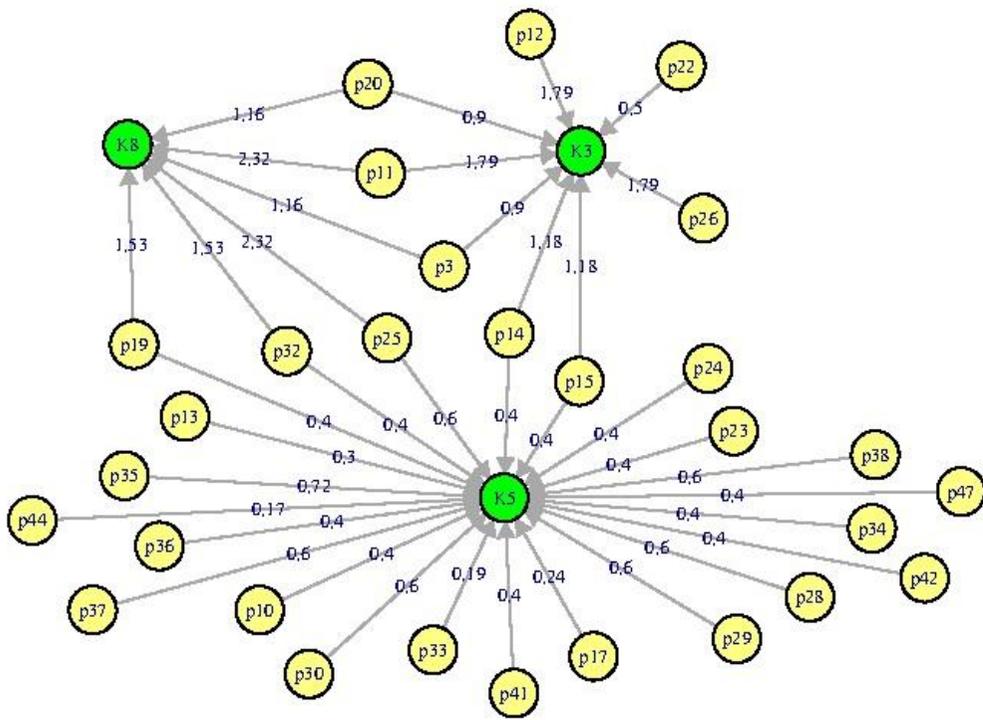
Код	Название параметра	Критерий
P1	Фамилия имя Отчество	К1
P2	Дата Рождения	К1
P3	Страна, город проживания	К1
P4	Контактные данные	К1
P5	Ученая степень	К1
P6	Ученое звание / учебный статус	К1
P7	Совокупное число наград (победы в грантах, конкурсах и т.п.)	К1
P8	Полное название организации – места работы/учебы	К1
P9	Должность	К1
P10	Научные интересы (список кодов ГРНТИ)	К1
P11	Наиболее важные публикации руководителя проекта, с ссылками (не более 5)	К1
P12	Данные об организации, в которой реализуется научный проект	К1
P13	Опыт участия в заказных научных исследованиях, грантах, тендерах, целевых программах	К1
P14	Количество созданных научным работником объектов интеллектуальной собственности;	К1
P15	Количество созданных научным работником объектов интеллектуальной собственности, внедренных в производство	К1
P16	Из них, количеством внедренных работ в других странах.	К1
P17	Участие в деятельности российских и международных научных и научно- образовательных организациях;	К1
P18	Очное участие в российских и международных конференциях;	К1
P19	Количество научно-популярных публикаций	К1
P20	Число публикаций научного работника, индексируемых в российских и международных информационно-аналитических системах научного цитирования;	К1
P21	Число статей, подготовленных совместно с зарубежными авторами и/или организациями	К1
P22	Руководство работой аспирантов/докторантов	К1
P23	Общее количество завершенных проектов (тендер, заказ, договора НИР, ОКР и т.п.)	К1
P24	Количеством проектов, выполненных (или текущих) совместно с другими организациям	К1
P25	Индекс Хирша	К1
P26	Индекс цитируемости	К1
P27	Наивысший Импакт-фактор журнала	К1

## 5.4 – Содержание паспорта наукоемкого проекта разработки СТС

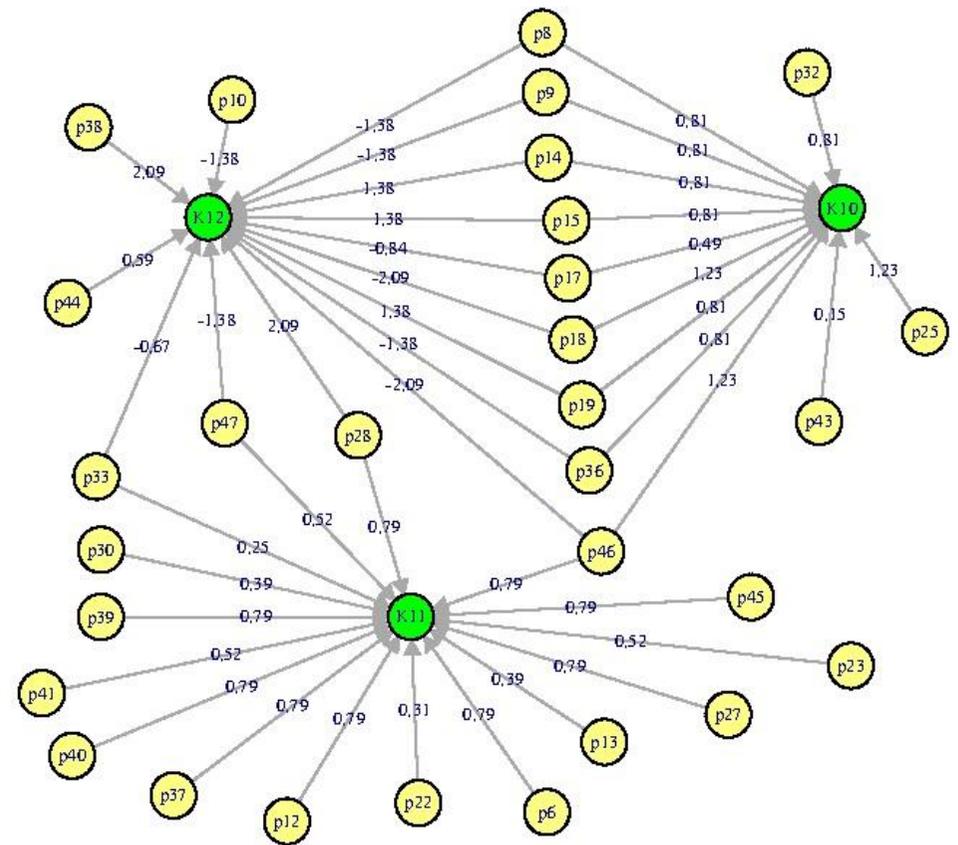
Код	Название параметра	Критерий
p1	Название проекта	-
p2	Тип проекта	
p3	Область исследований	K3, K8
p4	Научная дисциплина (список кодов ГРНТИ)	
p5	Назначение и область применения разрабатываемого изделия	
p6	Презентовался ли проект ранее / участвовал в научных/ грантовых конкурсах	K2, K11
p7	Если на предыдущий ответ был «да», то сколько раз презентовался и участвовал в научных/грантовых конкурсах	K2
p8	Совокупное число нефинансовых наград проекта (дипломы и т.п.)	K2, K10
p9	Совокупное число финансовых наград проекта (гранты, выплаты в конкурсах)	K2, K9, K10
p10	Сроки реализации проекта	K5, K12
p11	Описание решаемой научной проблемы	K3, K8
p12	Описание задач проекта	K3, K11
p13	Уровень стандартизации и унификации проекта	K5, K11
p14	Новизна предлагаемых методов решения задач проекта	K3, K5, K6, K7, K10, K12
p15	Оригинальность и уникальность ожидаемых научных результатов	K3, K5, K6, K10, K12
p16	Сфера применение результатов (может быть несколько)	
p17	Стадия реализации проекта	K5, K9, K10, K12
p18	Участвуют в проекте специалисты различных специальностей	K4, K6, K7, K9, K10
p19	Современное состояние решаемой технической проблемы	K4, K5, K6, K8, K9, K10, K12
p20	Научный задел проекта	K3, K4, K6, K8, K9
p21	Уровень публикаций руководителя проекта и коллектива за последние три года в журналах, входящих в одну из систем цитирования (библиографических баз)	K2, K6
p22	План публикации в рамках проекта	K3, K11
p23	Ожидаемые технико-экономические показатели	K5, K11
p24	В случае собственного развития укажите ожидаемые сроки окупаемости (в месяцах)	K5
p25	Возможность патентования результатов	K5, K6, K7, K8, K9, K10
p26	Наличие объектов интеллектуальной собственности, связанных с проектом	K3, K4, K9
p27	Наличие действующего гранта	K2, K4, K9, K11
p28	Уровень описания организации работ с применением разрабатываемого изделия	K4, K5, K9, K11, K12
p29	Применение в изделии заимствованных (ранее разработанных) составных частей, покупных изделий и материалов	K5, K9
p30	Уровень разработки и обоснования технических решений, обеспечивающих показатели надежности	K5, K11

Код	Название параметра	Критерий
p31	Роль заявителя в проекте	
p32	Наличие аналогов	K5, K7, K8, K9, K10
p33	Текущий уровень технико-экономического обоснования проекта	K5, K11, K12
p34	Наличие спецификации изделия и ее соответствие требованиям систем конструкторской документации	K5, K9
p35	Бюджет проекта	K5, K9
p36	Степень описания и обоснования выбранной конструкции	K5, K9, K10, K12
p37	Наличие стратегии продвижения изделия	K5, K9, K11
p38	Масштаб проекта	K5, K9, K12
p39	Наличие необходимого персонала	K4, K9, K11
p40	Наличие необходимых условий (мощностей и т.п.)	K4, K9, K11
p41	Соответствия принимаемых решений требованиям техники безопасности и производственной санитарии	K5, K9, K11
p42	Наличие расчетов, подтверждающих работоспособность и надежность конструкции изделия	K5
p43	Соответствие приоритетным направлениям развития науки, технологий и техники	K2, K6, K7, K10
p44	Риски проекта	K5, K9, K12
p45	Результаты испытаний макетов	K2, K4, K9, K11
p46	Реализуется по заказу или в интересах определенного государства/организации	K9, K10, K11, K12
p47	Согласование габаритных, установочных и присоединительных размеров с заказчиком или основным потребителем	K5, K11, K12
p48	Устойчивость проекта (не более 350 слов) (Описание продолжения деятельности в данном направлении после окончания финансирования в кратко-, средне- и долгосрочной перспективе)	

В ходе анализа ключевых атрибутов предметной области эксперты установили форму и силу их взаимного влияния, что позволило построить следующую модель онтологии (рисунок 5.1). В связи с большим количеством ребер на схеме приведен фрагмент данной онтологии для нескольких критериев.



а)



б)

Рисунок 5.1 – Фрагмент модели онтологии предметной области: а) для критериев К3, К5 и К8, б) для критериев К10, К11 и К12

Таким образом, разработана модель онтологии предметной области технических проектов, которая позволяет далее перейти к разработке алгоритма их оценки.

### 5.3 Формализация системных связей наукоемких проектов

На основе заданных коэффициентов весомости получены следующие математические модели расчета значений критериев оценки наукоемкого проекта разработки СТС в рамках платформы «ScientificCoin» (таблица 5.5).

Таблица 5.5 – Расчет критериев оценки проекта

Обозначение	Описание критерия	Расчет оценки
K1	Опыт руководителя	$0,72P2+0,29P5+0,23P6+0,48P7+0,09P9+0,72P11+0,72P13+0,48P14+0,36P15+0,36P16+0,72P17+0,72P18+0,48P19+0,48P20+0,2P21+0,72P22+0,48P23+0,36P24+0,4P25+0,48P26+0,48P27$
K2	Признание проекта	$1,57p6+1,04p7к+1,04p8к+1,04p9+0,44p21+1,57p27+0,19p43+1,57p45+1,57p46$
K3	Наукоемкость	$0,9p3+1,79p11+1,79p12+1,18p14+1,18p15+0,9p20+0,5p22+1,79p26$
K4	Ресурсы	$1,23p18+0,81p19+0,61p20+1,23p26+0,5p27+1,23p28+1,23p39+1,23p40+1,23p45$
K5	Научно-технический уровень	$0,4p10+0,3p13+0,4p14+0,4p15+0,24p17+0,4p19+0,4p23+0,4p24+0,6p25+0,6p28+0,6p29+0,6p30+0,4p32+0,19p33+0,4p34+0,72p35+0,4p36+0,6p37+0,6p38+0,4p41+0,4p42+0,17p44к+0,4p47$
K6	Результаты	$1,35p14+1,35p15+2,04p18+1,35p19+1,02p20+0,57p21+2,04p25+0,25p43$
K7	Новизна результатов	$1,92p14+2,9p18+2,9p25+1,92p32+0,35p43$
K8	Опыт коллектива	$1,16p3+2,32p11+1,53p19+1,16p20+2,32p25+1,53p32$
K9	Уровень ТЭО	$0,47p9к+0,29p17+0,71p18+0,71p19+0,36p20+0,71p25+0,71p26+0,71p27+0,71p28+0,71p29+0,47p32+0,47p34+0,29p35к+0,47p36+0,71p37-0,71p38+0,71p39+0,71p40+0,47p41-0,2p44+0,71p45+0,71p46$
K10	Аналоги	$0,81p8к+0,81p9к+0,81p14+0,81p15+0,49p17+1,23p18+0,81p19+1,23p25+0,81p32+0,81p36+0,15p43+1,23p46$
K11	Стратегия	$0,79p6+0,79p12+0,39p13+0,31p22+0,52p23+0,79p27+0,79p28+0,39p30+0,25p33+0,79p37+0,79p39+0,79p40+0,52p41+0,79p45+0,79p46+0,52p47$
K12	Риски	$-1,38p8-1,38p9-1,38p10+1,38p14+1,38p15-0,84p17-2,09p18+1,38p19-2,09p25-2,09p28-0,67p33-1,38p36+2,09p38+0,59p44-2,09p46-1,38p47$

В связи с достаточно большим количеством критериев число

лингвистических термов СНЛВ решено ограничить двумя: низкий и высокий. А поскольку оценки всех критериев приводятся в диапазоне от 0 до 10, значение лингвистических переменных для всех критериев входит в следующее множество (рисунок 5.2).

$$K1 = (0; 4,0; 6,0; 10,0)$$

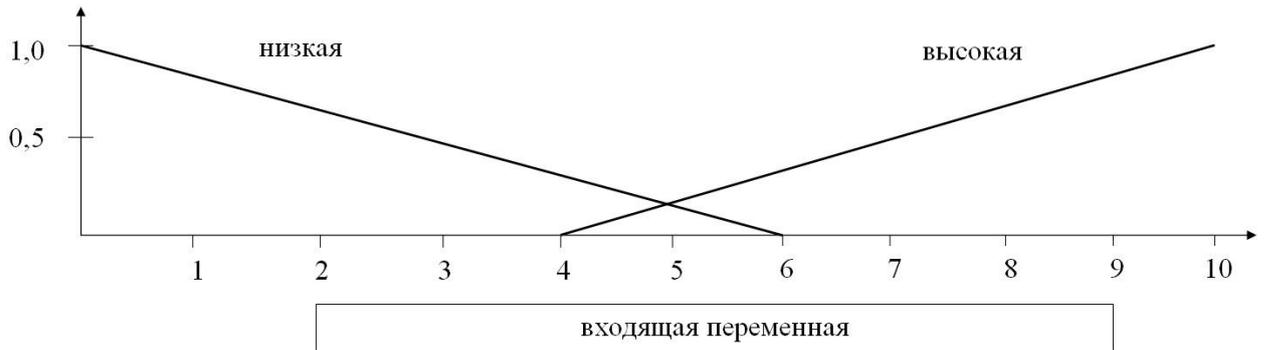


Рисунок 5.2 – Функция принадлежности входного параметра системы нечеткого вывода для расчета общей оценки проекта

Для значения лингвистической переменной «низкий» нечеткое множество задано следующим образом:

$$\bar{A}_{k1} = \left( \frac{1}{0}, \frac{0}{6} \right).$$

Для значения лингвистической переменной «высокий» нечеткое множество задано следующим образом:

$$\bar{A}_{k1} = \left( \frac{0}{4}, \frac{1}{10} \right).$$

Границы диапазона лингвистических переменных получены из расчета средней суммы параметров из паспорта проекта, входящих в соответствующие группы критериев. Таким образом, каждому входному параметру в соответствии с его значением и заданной функцией принадлежности присвоены значения нечеткой лингвистической переменной (таблица 5.6).

Значения лингвистических термов для входных и выходного параметров приведены в таблицах 5.6 и 5.7 соответственно.

Таблица 5.6 – Задание диапазона значений критериев

Наименование критерия	Значение лингвистической переменной			
	Лингвистический терм	Нечеткое множество	Лингвистический терм	Нечеткое множество
Опыт руководителя	низкий	0...6,0	высокий	4,0...10
Признание проекта	низкий	0...6,0	высокий	0...6,0
Наукоемкость	низкий	0...6,0	высокий	0...6,0
Ресурсы	низкий	0...6,0	высокий	0...6,0
Научно-технический уровень	низкий	0...6,0	высокий	0...6,0
Результаты	низкий	0...6,0	высокий	0...6,0
Новизна результатов	низкий	0...6,0	высокий	0...6,0
Опыт коллектива	низкий	0...6,0	высокий	0...6,0
Уровень ТЭО	низкий	0...6,0	высокий	0...6,0
Аналоги	низкий	0...6,0	высокий	0...6,0
Стратегия	низкий	0...6,0	высокий	0...6,0
Риски	низкий	0...6,0	высокий	0...6,0

Таблица 5.7 – Задание диапазона значения общей оценки проекта

Наименование критерия	Значение лингвистической переменной					
	Лингвистический терм	Нечеткое множество	Лингвистический терм	Нечеткое множество	Лингвистический терм	Нечеткое множество
Оценка проекта	низкая	0...4	средняя	2...8	высокая	7...10

Функция принадлежности выходного параметра, отражающего уровень привлекательности наукоемкого проекта, представлена на рисунке 5.3.



Рисунок 5.3 – Функция принадлежности выходного параметра в системе нечеткого логического вывода

База правил разработанной СНЛВ построена на основе формализации системных механизмов изменения состояний наукоемкого проекта в различных ситуациях. Модель функциональных связей проекта представлена в виде

продукционных зависимостей, отражающих специальные эмпирические знания эксперта исследуемой предметной области.

К примеру, правила в среде моделирования MATLAB 2012 с учетом заданного набора критериев и весомости каждого правила задаются в виде следующих продукционных моделей:

1. if (опыт руководителя is высокий) and (признание проекта is низкий) and (наукоемкость is высокий) and (ресурсы is низкий) and (научно-технический уровень is низкий) and (результаты is высокий) and (новизна результатов is низкий) and (опыт коллектива is низкий) and (уровень ТЭО is низкий) and (аналоги is низкий) and (стратегия is высокий) and (риски is низкий) then (оценка проекта is средняя) (1);

2. if (опыт руководителя is высокий) and (признание проекта is низкий) and (наукоемкость is высокий) and (ресурсы is низкий) and (научно-технический уровень is высокий) and (результаты is высокий) and (новизна результатов is низкий) and (опыт коллектива is низкий) and (уровень ТЭО is высокий) and (аналоги is низкий) and (стратегия is высокий) and (риски is низкий) then (оценка проекта is высокая) (1);

3. if (опыт руководителя is низкий) and (признание проекта is низкий) and (наукоемкость is высокий) and (ресурсы is низкий) and (научно-технический уровень is высокий) and (результаты is низкий) and (новизна результатов is низкий) and (опыт коллектива is низкий) and (уровень ТЭО is высокий) and (аналоги is низкий) and (стратегия is высокий) and (риски is высокий) then (оценка проекта is низкая) (1).

Пример рассчитанной оценки проекта представлен на рисунке 5.4.

Таким образом, было формализовано понятие общей оценки проекта и проведена оценка структуры его критериев для выявления потенциала развития проекта. Разработанный алгоритм оценки наукоемкого проекта разработки СТС на основе совокупности данных расчетных характеристик позволяет наиболее точно определить его состояние.

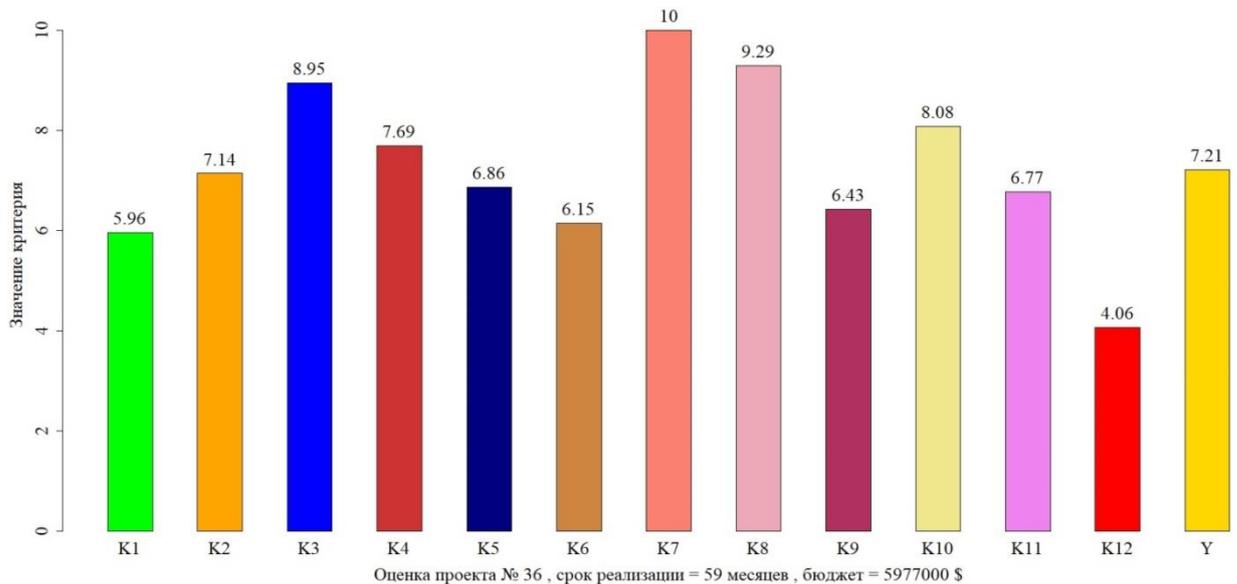


Рисунок 5.4 – Пример оценки проекта

В рамках платформы «ScientificCoin» задача отбора проектов сводится только к выбору наиболее перспективного для инвестирования проекта в определенный момент времени. В данном случае разработанная методика формализации проектов позволяет объединить алгоритм отбора и анализ данных.

Также опустим описание структуры базы данных, поскольку она схожа со структурой БД, разработанной для ИАС «UNIPROJECT», и перейдем к условиям и правилам описанию базы знаний.

## 5.4 Разработка алгоритмов обработки и анализа данных

### 5.4.1 Выбор признаков для формализации условий базы знаний

Прежде чем перейти к описанию правил базы знаний, необходимо провести классификацию проектов и определиться с набором признаков, на основе которых возможно будет отнести проект к тому или иному классу. Если формализовать условия БЗ на основе 12 критериев и общей оценки проекта  $Y$ , получим довольно сложную структуру правил, поэтому проведем анализ значимости признаков с целью сокращения их числа.

Разработанный алгоритм оценки подразумевает расчет нескольких

комплексных признаков («опыт руководителя», «новизна», «уровень ТЭО», «риски» и «общая оценка»), в ходе анализа признаков проверим гипотезу о большей значимости данных критериев на классификацию проектов.

С помощью разработанной ранее онлайн-формы собраны данные 2570 проектов, поданных на регистрацию на онлайн платформе ScientificCoin. Представленные проекты были разделены экспертами на 4 класса в следующей иерархии:

- класс А – привлекательные проекты с низким риском;
- класс В – привлекательные проекты с приемлемым риском;
- класс С – привлекательные проекты с повышенным риском;
- класс D – не привлекательные проекты, имеют высокие риски.

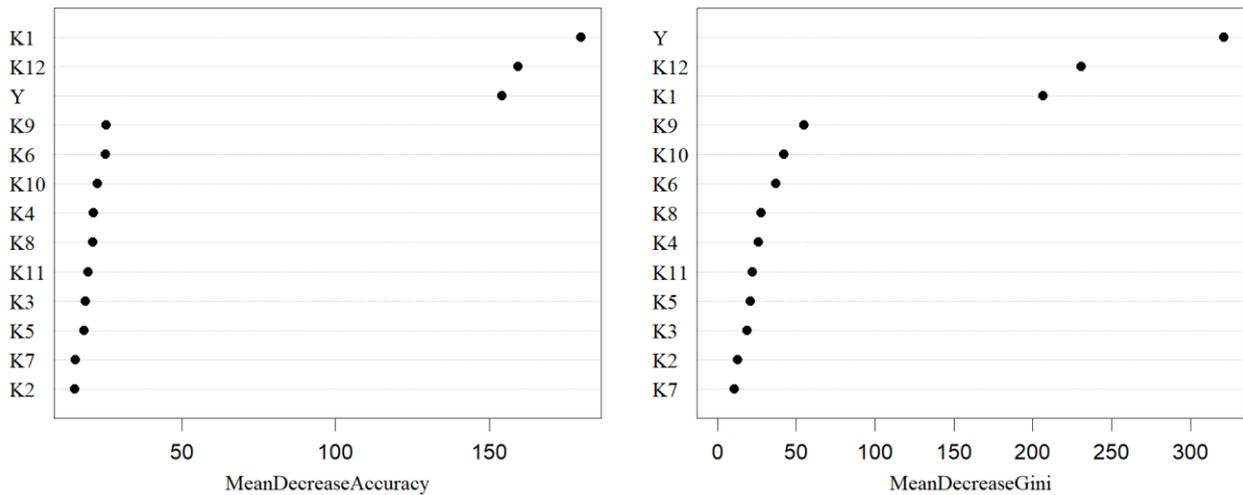
Описание классов и количество объектов каждого класса представлено в таблице 5.8.

Таблица 5.8 – Описание структуры исследуемой выборки проектов

Класс	Описание	Количество наблюдений
А	Имеет высокий потенциал реализации	310
В	Перспективный проект	845
С	Имеет научный/ коммерческий потенциал	759
D	Имеет высокие риски	656
	Итого:	2570

Отметим, что необходимым условием формализации экспертных знаний является возможность описать условия классификации проектов на основе выбранных критериев их оценки, поэтому алгоритмы понижения размерности типа метода главных компонент (РСА) не рассматривались.

Метод бэггинга над алгоритмом CART позволяет оценить важность признаков путем построения множества деревьев и последующего усреднения их результатов. Другим названием данного подхода является *Random forest* (с англ. «случайный лес»). На рисунке 5.5 представленные результаты 1000 независимых итераций перекрестной проверки признаков.



### 5.5 – Уровень значимости признаков классификации проектов

Из рисунка 5.5. видим, что наиболее значимыми можно выделить 3 признака: «Опыт руководителя», «Общая оценка» и «Риски».

В данном алгоритме для оценки важности переменных используются показатели Mean Decrease Accuracy (%IncMSE) и Mean DecreaseGini (IncNodePurity). MeanDecreaseAccuracy измеряет, насколько включение этого признака в модель уменьшает ошибку классификации. MeanDecreaseGini является мерой качества разделения для каждой переменной дерева с помощью индекса Gini и показывает, как каждая переменная способствует однородности узлов и листьев в полученном случайном лесу. Каждый раз, когда для разделения узла используется конкретная переменная, коэффициент Gini для дочерних узлов вычисляется и сравнивается с коэффициентом исходного узла.

Каждый раунд построения модели и прогнозирования генерировал данные о процентном увеличении средней квадратичной ошибки (RMSE). Это разница в среднеквадратичной ошибке прогнозируемого показателя повторения между той итерацией, когда конкретная переменная используется в модели Random Forest, и когда эта переменная произвольно переставляется.

RMSE можно вычислить, используя формулу (5.1):

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{f}(x))^2}{n}}, \quad (5.1)$$

где:

$y_i$  –  $i$ -е наблюдение переменной,

$\hat{f}(x)$  –  $i$ -е предсказание для  $i$ -го наблюдения,

$n_i$  – количество выборок.

Показатель Mean DecreaseGini при каждом расщеплении рассчитывается как разница между суммой квадратов разностей до расщепления ( $RSS_{old}$ ) и после ( $RSS_{new}$ ). Затем подсчитывается сумма по всем расщеплениям и по всем деревьям для конкретной переменной. Здесь RSS рассчитывается как (5.2):

$$\sum_{i \in left} (y_{left} - y_i)^2 + \sum_{i \in right} (y_{right} - y_i)^2, \quad (5.2)$$

где  $y_{left}$  и  $y_{right}$  – ошибка классификации наблюдения при расщеплении соответственно на левую и правую ветвь дерева.

Более высокие значения Mean Decrease Accuracy и Mean DecreaseGini, таким образом, указывает на большее прогностическое значение конкретного признака [154].

Далее опишем влияние различной совокупности признаков на качество классификации проектов, для этого разобьем набор данных на обучающую и тестовую выборку в отношении 80% на 20%. Используя описанные ранее алгоритм дерева решения и метрики его качества, рассчитаем качество обучения модели при различном наборе признаков, представленных критериями оценки наукоемких проектов (таблица 5.9). Здесь  $q$  – это минимальное количество наблюдений в листе дерева, рассчитывается в процентах от общего числа наблюдений.

Таблица 5.9 – Значение метрики качества модели в зависимости от уровня критерия остановки обучения и набора признаков

Метрика	Признаки (Критерии оценки K1-K11 и «Общая оценка» проекта Y)													Итого, %
	K1	Y	K12	K6	K9	K4	K10	K8	K5	K7	K3	K11	K2	
F-мера при $q=1\%$	43,5	29,7	19,5	1,9	1,6	1,0	0,9	0,7	0,5	0,1	0,2	0,1	0,1	99,7
F-мера накопленная	43,5	73,2	92,7	94,6	96,2	97,2	98,0	98,7	99,2	99,3	99,5	99,6	99,7	
F-мера при $q=2\%$	41,7	28,2	18,4	2,2	1,6	0,9	0,8	0,7	0,5	0,2	0,2	0,0	0,0	95,5
F-мера накопленная	41,7	69,9	88,3	90,5	92,1	93,0	93,9	94,6	95,1	95,3	95,5	95,5	95,5	
F-мера при $q=3\%$	37,8	25,5	17,9	2,1	1,8	1,0	0,6	0,4	0,3	0,1	0,0	0,0	0,0	87,6
F-мера накопленная	37,8	63,3	81,2	83,3	85,1	86,1	86,7	87,1	87,4	87,5	87,6	87,6	87,6	
F-мера при $q=4\%$	36,9	24,8	17,0	1,9	1,5	0,8	0,6	0,4	0,2	0,1	0,0	0,0	0,0	84,2
F-мера накопленная	36,9	61,7	78,7	80,6	82,1	82,9	83,5	83,9	84,1	84,2	84,2	84,2	84,2	
F-мера при $q=5\%$	35,7	23,4	14,8	1,8	1,4	0,7	0,7	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	78,8
F-мера накопленная	35,7	59,1	73,9	75,7	77,2	77,9	78,6	78,8	78,8	78,8	78,8	78,8	78,8	

Отразим полученные данные на графике (рисунок 5.6).

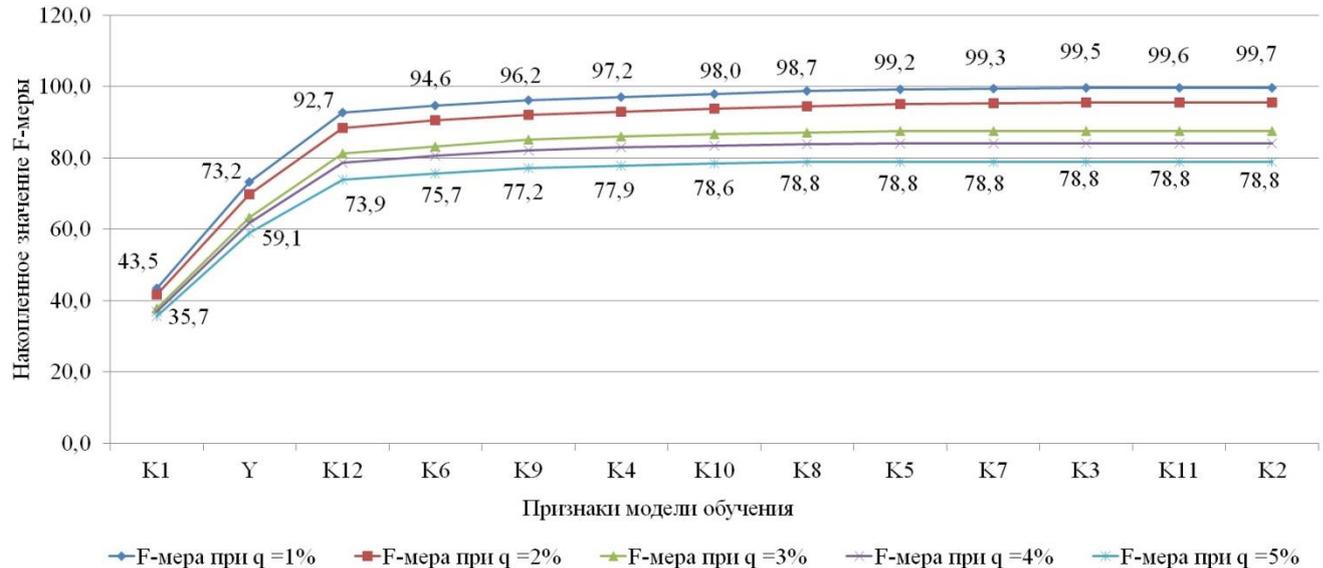


Рисунок 5.6 – Метрика качества модели в зависимости от уровня критерия остановки обучения

Таким образом, критерии «Общая оценка», «Риски» и «Опыт руководителя» в совокупности позволяют на уровне 90-процентной эффективности

классифицировать проекты в терминах предметной области, выберем данные критерии для формализации базы знаний.

#### 5.4.2 Описание процесса поддержки принятия управленческих решений

Таким образом, окончательное решение по выбору проекта зависит от общей оценки состояния проекта и уровня принятия рисков инвестором.

Пусть  $x$  – проект,  $S(x)$  – состояние проекта,  $F(x)$  – мнение эксперта по проекту  $x$  и  $R(x)$  – окончательное решение о финансировании наукоемкого проекта. На основе введенных переменных опишем алгоритмы базы правил и условия их активации.

**Блок «Состояние проекта»** содержит информацию, полученную при обработке рассчитанных критериев и общей оценки проекта на основе алгоритма, описанного в разделе 5.2, тогда состояние проекта будет задано функцией (5.3):

$$S(x) = Y \wedge K1 \wedge K12, \quad (5.3)$$

где:

$S(x)$  – вывод о состоянии проекта  $x$ ,  $\forall x \exists S_x = \{\text{вывод}\}$ ;

$Y$  – общая оценка,  $\forall x \exists Y(x) \in [0;10]$ ;

$K1$  – уровень оценки опыта руководителя,  $\forall x \exists K1(x) \in [0;10]$ ;

$K12$  – уровень оценки рисков проекта,  $\forall x \exists K12(x) \in [0;10]$ .

Итак, вывод о состоянии проекта строится на основе сопоставления общей оценки, уровня оценки опыта руководителя и уровня оценки рисков проекта.

Тогда правило базы знаний для данного блока выглядит так:

«Формирование вывода» = <«Состояние проекта», блок актуализирован,  
 $Y \wedge K1 \wedge K12 \rightarrow$  решение = {вывод}, иначе = «недостаточно данных», описание  
 состояния проекта>/

**Блок «Решение»** формирует вывод итоговой рекомендации исходя из состояния проекта и мнения эксперта. Обозначим ее функцией (5.4):

$$R(x) = \{<S(x), F(x)>\}, \quad (5.4)$$

где  $R(x)$  – решение о финансировании проекта  $x$ ,  $R(x) = \{\text{решение}\}$ .

Алгоритм базы правил для формирования окончательного решения по проекту представлен в следующем виде:

«Формирование решения» = <<Решение», блок актуализирован,  $S(x) \wedge F(x)$   
→ вывод = {решение}, иначе = «недостаточно данных», решение об участии в  
конкурсе».

Таким образом, разработана совокупность алгоритмов БЗ для формирования рекомендаций по принятию управленческих решений, выраженных на естественном языке в терминах предметной области.

### **5.5 Разработка алгоритма оптимизации правил базы экспертных рекомендаций**

Приемлемым уровнем эффективности алгоритма согласно разработанной методике выберем тот, при котором возможно формализовать полный набор правил при незначительном отклонении от приемлемого уровня точности. Из таблицы 5.9 видим, что наиболее критичное падение эффективности алгоритма происходит при уровне критерия остановки обучения, равном 3% объектов каждого класса.

Далее представим полученные деревья решения для критерия остановки равного 1% (рисунок 5.7), 2% (рисунок 5.8) и 3% (рисунок 5.9), затем выберем тот, который соответствует предъявленным требованиям к качеству модели. В данном случае при значении критерия остановки обучения 3% модель обладает слабой объяснительной способностью, поэтому выбор уровня равного наличию не менее 2% объектов в каждом классе при незначительном снижении точности классификации позволяет получить оптимальную структуру дерева решения для его формализации. Таким образом, можно принять данное значение для критерия остановки обучения в рамках модуля принятия решений на платформе «ScientificCoin».

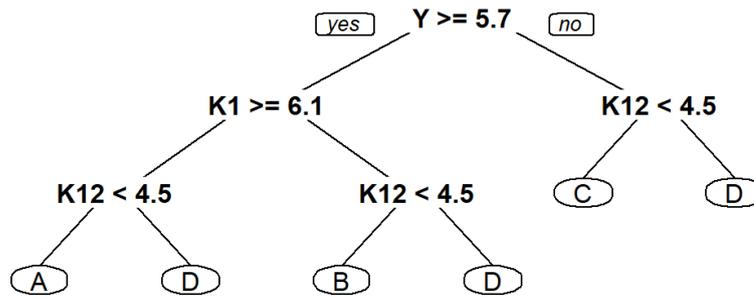


Рисунок 5.7 – Структура дерева решений при уровне критерии остановки обучения равном 1%

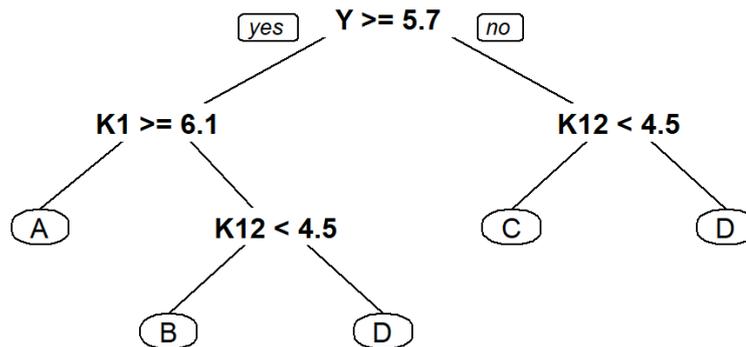


Рисунок 5.8 – Структура дерева решений при уровне критерии остановки обучения равном 2%

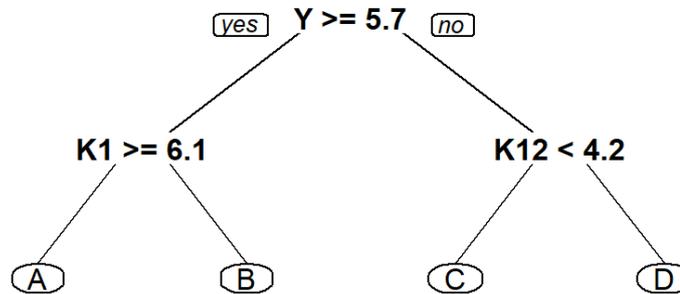


Рисунок 5.9 – Структура дерева решений при уровне критерии остановки обучения равном 3%

В этом случае в базу знаний добавятся правила:

- 1) если  $Y \geq 5,7$  и  $K1 \geq 6,1$ , то проект принадлежит классу А;
- 2) если  $Y \geq 5,7$  и  $K1 < 6,1$  и  $K12 \geq 4,5$ , то проект принадлежит классу В;
- 3) если  $Y < 5,7$  и  $K12 \geq 4,5$ , то проекта принадлежит классу С;
- 4) если  $Y \geq 5,7$  и  $K1 < 6,1$  и  $K12 < 4,5$ , то проект принадлежит классу D;
- 5) если  $Y < 5,7$  и  $K12 < 4,5$ , то проект принадлежит классу D.

Приведем пример формирования атомических рекомендаций по принятию решения с учетом описанных правил базы знаний (таблица 5.10).

Таблица 5.10 – Пример формирования рекомендаций на основе правил БЗ

Условия			Вывод/рекомендация
if	and	and	
$Y \geq 5,7$	$K1 \geq 6,1$	-	Проект имеет высокий потенциал реализации, низкий риск
$Y \geq 5,7$	$K1 < 6,1$	$K12 \geq 4,5$	Перспективный проект, приемлемый риск
$Y < 5,7$	$K12 \geq 4,5$	-	Проект имеет научный/ коммерческий потенциал, средний риск
$Y \geq 5,7$	$K1 < 6,1$	$K12 < 4,5$	Проект имеет высокие риски

Схема обработки данных наукоемкого проекта с учетом разработанных алгоритмов расчета оценки и отбора проектов выглядит следующим образом (рисунок 5.10).

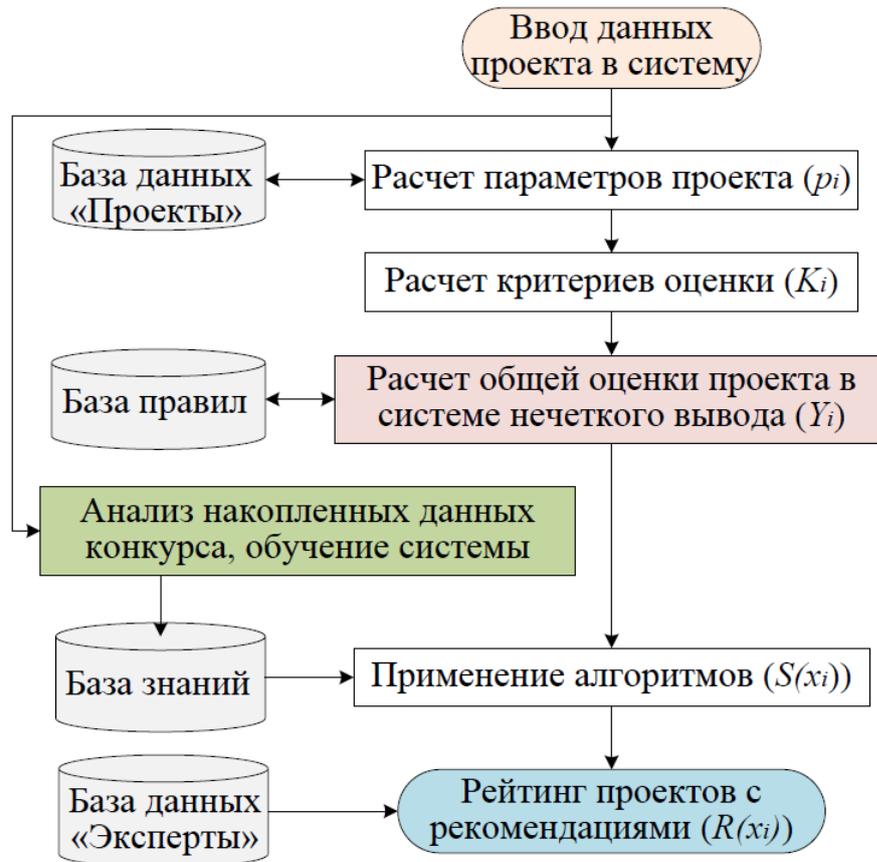


Рисунок 5.10 – Схема обработки запроса на отбор наукоемких проектов на онлайн-платформе «ScientificCoin»



Таблица 5.11 – Научеомкие проекты

№	Проект	Описание
1	Безмасляный двигатель с подвижным цилиндром с удлинительными стержнями	Физические и химические свойства керамического покрытия $TEK_{hO}$ позволяет повысить эффективность двигателя внутреннего сгорания до 60%, удельную мощность 5 кВт / кг с большим ресурсом, а также создать простую и надежную конструкцию. Оценка двигателя, применяемого в качестве силового агрегата для вертолета Ка-26 / Ка-226, показывает увеличение дальности полета примерно в 5 раз, до 2500 км. [157]
2	Тандемный ускоритель с вакуумной изоляцией	Изобретение относится к ускорителям и может быть использовано для создания ускорителя частиц и устройств на их основе. Такие приборы могут быть использованы для исследований в области физики атомных и ядерных столкновений в полупроводниковой промышленности для ионной имплантации, в медицине для нейтронной и нейтронозахватной терапии рака, в системах безопасности для обнаружения взрывчатых веществ и наркотиков. Работа ускорителя включает взаимодействие заряженных частиц с электрическим и магнитным полями. [158].
3	Радиографическая установка	Изобретение относится к рентгеновской технологии, в частности для медицинских диагностических параметров рентгеновских лучей. Для получения полноразмерного цифрового изображения излучатель коллиматора и детектор синхронно перемещаются относительно тела пациента, а данные, описывающие распределение интенсивности излучения в линии, регистрируются построчно линейным детектором. Преимущества этого метода - облучение с низкой дозой (исключает влияние рассеянного излучения), получение изображений практически любого размера и в трансляционном сканировании - отсутствие геометрических искажений в направлении сканирования. [159].

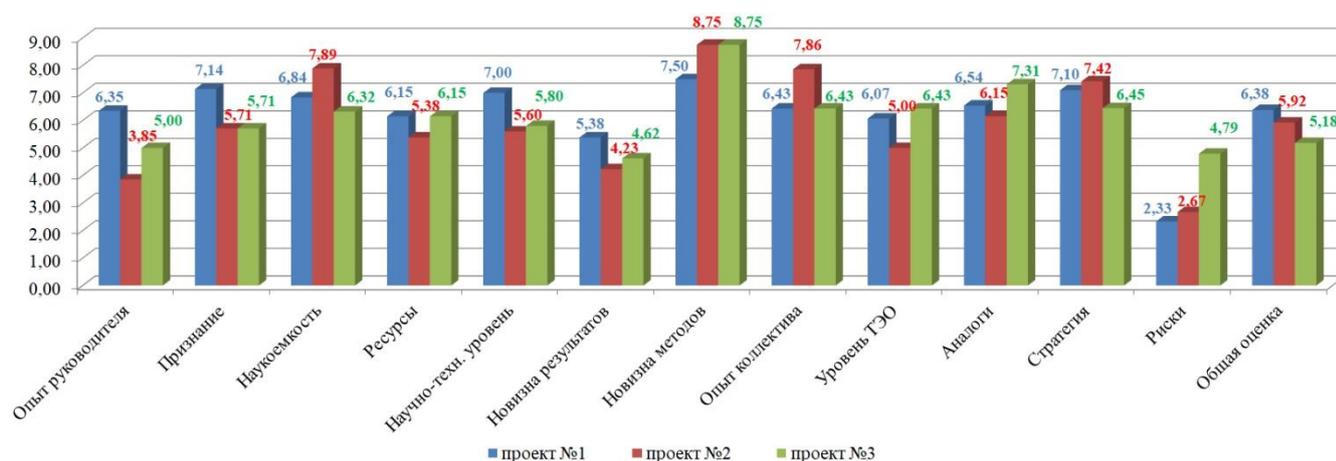


Рисунок 5.12 – Сравнение критериев оценки проектов

Визуальный анализ как значений критериев оценки ( $K$ ), так и общей оценки ( $Y$ ) выбранных проектов не позволяет с большой долей определенности выбрать какой-то один проект, поэтому для принятия решения рассмотрим рекомендации

аналитического модуля согласно описанным ранее правилам базы знаний.

Данные проектов, необходимые для получения автоматической рекомендации, а также дополнительная информация представлены в таблице 5.12.

Таблица 5.12 – Классификация проектов

Проект, №	K1	K12	Y	Класс	Бюджет	Срок реализации, месяцев
1	6,35	2,33	6,38	A	5 000 000	24
2	3,85	2,67	5,92	B	5 487 000	19
3	5,00	4,79	5,18	C	3 663 000	21

Согласно описанным ранее правилам базы знаний из выбранной совокупности проектов наиболее привлекательным на данный момент является проект разработки безмасляного двигателя (проект №1), получивший наивысший класс по соотношению параметров перспективности и рисков реализации.

Рекомендации модуля аналитической поддержки принятия решения на платформе отображаются в форме визуальной подсветки выбранного проекта в списке (рисунок 5.13) [153].

The screenshot shows the ScientificCoin platform interface. At the top, it displays 'SCIENTIFICCOIN BETA', '229 Users online', and a search bar. Below this, a section titled 'Projects that have passed the machine test' contains a table with 13 columns: Name, Evaluation of the project developer, Evaluation of project recognition, Assessment of science intensity, Project Resource Estimation, Evaluation of commerce, Evaluation of project results, Novelty, Assessment of the problem, Profitability, Evaluation of analogues, Evaluation of strategy, Risk assessment, and Overall assessment of the project. The fifth row, 'Transformer of a new type with ceramic insulation of aluminum winding wires for distribution networks', is highlighted in green. The footer shows cryptocurrency prices and copyright information.

Name	Evaluation of the project developer	Evaluation of project recognition	Assessment of science intensity	Project Resource Estimation	Evaluation of commerce	Evaluation of project results	Novelty	Assessment of the problem	Profitability	Evaluation of analogues	Evaluation of strategy	Risk assessment	Overall assessment of the project
Development of a candidate polypeptide T-cell vaccine against African swine fever (ASF)	8.27	7.14	7.89	8.46	5.4	5.77	6.25	7.14	5.71	5.77	6.45	3.33	6.45
Targeted delivery of anti-cancer drugs using peptides and single-domain antibodies	5	6.43	10	8.46	6.2	5.77	6.25	8.57	6.79	6.92	6.77	4.33	6.62
Oil-free compression movable-cylinder engine with extension rods	6.35	7.14	6.84	6.15	7	5.38	7.5	6.43	6.07	6.54	7.1	2.33	6.38
Transformer for contact welding with ceramic wire insulation	5.96	7.14	7.37	7.69	5.4	4.62	7.5	7.14	6.79	6.15	6.77	4.33	6.2
Transformer of a new type with ceramic insulation of aluminum winding wires for distribution networks	7.5	10	7.37	6.15	6	5.38	7.5	9.29	6.79	8.46	6.13	3	7.05
Synchronous motor on permanent magnets for aircrafts	4.04	3.57	7.89	8.46	5.8	5.77	7.5	6.43	6.79	6.54	5.81	3.33	5.93

Рисунок 5.13 – Пример визуального отображения экспертной рекомендации на платформе «ScientificCoin»

Таким образом, представлен пример использования разработанной методики формализации предметной области наукоемких проектов в режиме реального времени. Анализ данных позволил выявить наиболее значимые признаки, влияющие на целевую переменную и построить самообучаемую базу знаний. Эффективность разработанных алгоритмов подтверждается актом их внедрения и использования в бизнес-модели онлайн-платформы (Приложение Ж).

### **Выводы по главе 5**

Представлен пример использования разработанной методики для формализации и автоматизации процессов анализа наукоемких проектов в режиме реального времени. В рамках данного примера:

1. На основе анализа требований, предъявляемых к принятию решений по проектам, проведен экспертный опрос, что позволило построить онтологию предметной области, а далее определить параметры и критерии их оценки.

2. На основе системы нечетного логического вывода формализованы функциональные зависимости параметров проекта, что позволило разработать комплексную методику оценки наукоемких проектов, соответствующую задачам исследования.

3. Согласно потребностям платформы описаны условия и порядок принятия управленческого решения, далее на основе разработанной методики проведена формализация знаний эксперта исследуемой предметной области.

4. Описание знаний эксперта позволило разработать базу знаний для формирования автоматических рекомендаций пользователям системы относительно перспективности конкретного проекта.

5. На основе построенных моделей оценки проведен анализ наукоемких проектов, разработан и описан алгоритм оптимизации базы знаний платформы «ScientificCoin» с использованием алгоритма CART.

Таким образом, показана практическая полезность разработанных в рамках диссертационного исследования моделей и алгоритмов работы с наукоемкими проектами разработки сложных технических систем.

## ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ

Таким образом, решена актуальная проблема разработки методического и алгоритмического обеспечения интеллектуальной поддержки принятия управленческих решений в рамках проектной деятельности по разработке сложных технических систем на основе реализации методов и средств анализа и обработки информации и разработки специального проблемно-ориентированного программного комплекса.

В ходе диссертационного исследования получены следующие результаты:

1. Дано определение наукоемкого проекта разработки сложной технической системы, показана его структура, функциональные связи и механизмы взаимодействия с системами из внешнего окружения. Проведен комплексный анализ процесса принятия решений о способах и методах реализации проектов. Показана множественность аспектов проявления характеристик наукоемких проектов, отражающих многомерность их параметрического пространства. Показана важность интеграции задач управления проектом и собственно процессом его оценки и отбора. Описаны принципы разработки модели онтологии предметной области для определения совокупности понятий, характеризующих наукоемкие проекты, а также показана важность данной модели для проектирования и реализации автоматизированной информационной системы на основе базы знаний.

2. Концептуально-содержательный подход к описанию ключевых понятий предметной области наукоемких проектов позволил выявить структуру параметров проекта и формализовать их взаимосвязи в форме онтологической модели предметной области. На основе модели онтологии описаны структурные особенности наукоемких проектов, а также функциональные связи их параметров, что позволило реализовать методику составления многомерной информационной модели различного типа наукоемких проектов. Разработаны авторские алгоритмы оценки и отбора наукоемких проектов разработки сложных технических систем на основе системы нечеткого логического вывода для получения интегральной

оценки привлекательности проектов и многокритериальной оптимизации параметрического пространства проектов, способствующие решению многокритериальной задачи выбора наиболее приоритетного проекта в соответствии с предпочтениями лица принимающего решения. Приведены примеры реализации алгоритмов при расчете интегрального показателя привлекательности наукоемкого проекта в рамках ИАС «UNIProject» на основе 8 входных параметров и онлайн-платформы «ScientificCoin» на основе 12 входных параметров.

3. В рамках методики формализации наукоемких проектов разработаны модели анализа и управления данными проектов разработки сложных технических систем. На основе модели онтологии предметной области описан подход к разработке структуры базы данных, способной поддерживать функции аккумулирования, хранения, анализа и обработки больших объемов данных. Описаны формы представления экспертных знаний, выявлены направления и содержание анализа данных о проектах. На основе ER-модели представлен подход к разработке многомерной модели данных, что позволяет выявить возможные измерения OLAP-анализа. Разработана методика составления и виды отчетов для статистического и многомерного анализа структуры наукоемких проектов посредством специальной информационно-аналитической системы.

4. Представлены примеры реализации разработанной методики формализации наукоемких проектов в двух различных аналитических системах: ИАС «UNIProject», содержащей 500 проектами в БД и поддерживающей их анализ по 60 параметрам, а также аналитического модуля онлайн-платформы «ScientificCoin», аккумулирующей данные более чем 2500 проектов и поддерживающей их анализ по 75 параметрам.

5. Представлена методика формализации и описания структуры знаний эксперта в виде поля знаний исследуемой предметной области, определены условия и порядок принятия управленческого решения, что позволяет разрабатывать специальные базы знаний для формирования рекомендаций пользователям ИАС по работе с наукоемкими проектами СТС. Описан алгоритм

самообучения и оптимизации база знаний с использованием алгоритма деревьев решений, в качестве критерий качества алгоритма выбрана F-мера, показавшая качество обучения на собранных данных на уровне 90%.

6. В рамках реализации методики сформирован и описан комплекс функциональных модулей СППР для бизнес-инкубатора и онлайн-платформы реального времени. Реализован графический интерфейс доступа ко всему функционалу ИАС «UNIProject», реализуемому особенностями базы данных и входящих в ее структуру функциональных модулей. Роль ИАС в повышении эффективности научно-технической деятельности достигается путем обеспечения доступа менеджера проектов ко всей необходимой информации в специализированных базах данных, автоматизации процедур оценки и отбора проектов, формирования коллектива проекта и типовой заявки на конкурс, а также построения сводных аналитических отчетов. Показано, что разработанная СППР способствует повышению оперативности принимаемых решений за счет увеличения скорости анализа и обработки информации в 12,5 раз. Представлены примеры формирования автоматических рекомендаций СППР для 10 наукоемких проектов СТС в ИАС «UNIProject» и 3 проектов на онлайн-платформе «ScientificCoin».

Научная новизна выводов и результатов диссертации состоит в разработке алгоритмов принятия решений при реализации наукоемких проектов на основе их многомерного анализа, комплексной оценки и разработки соответствующего программного обеспечения, способствующих повышению эффективности проектирования и реализации сложных технических систем.

## СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

ER-модель – модель сущность-связь

MD-модель – (англ. multidimensional model) многомерная модель

OLAP – (англ. online analytical processing) интерактивная аналитическая обработка

UML – (англ. unified Modeling Language) унифицированный язык моделирования

АКС – автоматизированная компьютерная система

БД – база данных

БЗ – база знаний

ЗПР – задача принятия решений

ИАС – информационно-аналитическая система

ИБ – информационная база

ЛПР – лицо принимающее решение

МПО – модель предметной области

НПП – научно-прикладной проект

ПрО – предметная область

СНЛВ – система нечеткого логического вывода

СППР – система поддержки принятия решений

СТС – сложная техническая система

ТЭО – технико-экономическое обоснование

ЭС – экспертная система

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Андрейчиков А.В., Андрейчикова О.Н. Анализ, синтез, планирование решений в экономике. – М.: Финансы и статистика, 2002. – 368 с.: ил.
2. Шишкин Г.Б. Адаптивные механизмы оценки и ранжирования в системе управления предприятием: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.13.10. – Воронеж, 2004. – 20 с.
3. Сидоров В.В. Сравнительная оценка стоимости инновационных проектов в электросвязи: автореф. дис. ... канд. экон. наук: – СПб, 2003. – 20 с.
4. Купряжкин Н.А. Оценка соответствия инновационного проекта потенциалу промышленного предприятия: автореф. дис. ... канд. экон. наук. – Екатеринбург, 2004. – 23с.
5. Новикова О.Н. Разработка эффективных инновационных научных проектов в условиях ограниченного финансирования: автореф. дис. канд. экон. наук. – Москва, 2004. – 31 с.
6. Никитин А.А. Инвестиционно-инновационные стратегии управления крупным промышленным предприятием: автореф. дис. ... докт. экон. наук. – Москва, 2004. – 46 с.
7. Войнилович И.В. Развитие инновационной деятельности предприятий на основе управления интеллектуальной собственностью: автореф. дис. ... канд. экон. наук. – Москва, 2004. – 23 с.
8. Системы автоматического управления объектами с переменными параметрами: Инженерные методы анализа и синтеза/Б. Н. Петров, Н. И. Соколов, А. В. Липатов и др. – М.: Машиностроение, 1986. – 256 е.: ил.
9. Моисеев Н. Н. Численные методы теории оптимального управления. – М.: Б. и., 1968. – 163 с.
10. Журавлев Ю.И., Флеров Ю.А. Дискретный анализ. Ч. 1: Учебное пособие. – М.: МФТИ, 1999. – 176 с.
11. Yemelyanov S.V., Burovoi I.F., Levada F.Yu, Control of Indefinite Nonlinear dynamic systems. Induced internal feedback // Lecture Notes in Control and

- Information Sciences, 231, Springer, 1998. – 196 p.
12. Мелихов А.Н., Кодачигов В.И. Теория алгоритмов и формальных языков: учеб. пособие, – Таганрог : б. и., 1983. – 69 с.
  13. Ulyanov S.V., Ghisi F., Kurawaki I. and Litvintseva L. Simulation of quantum algorithms on classical computers. Universita degli Studi di Milano, Polo Didattico e di Ricerca di Crema Publ., 1999. Vol. 32. – 92 p.
  14. Гамидова Г.Г. Многокритериальное проектное управление инновациями в организационно-технических системах: дис. ... канд. техн. наук. – Махачкала, 2004. – 164с.
  15. Репецкая Н.В. Формирование системы показателей и индикаторов сквозной оценки результативности проектов по управлению знаниями в промышленных организациях: дис. ... канд. экон. наук. – Москва, 2009. – 218 с.
  16. Ермолаев Е.Е. Развитие системы управления проектами в сфере коммунального хозяйства: дис. ... докт. экон. наук. – Самара, 2011. – 302 с.
  17. Зарницына К.В. Моделирование эффективной системы управления проектами развития промышленного предприятия: дис. ... канд. экон. наук. – Пермь, 2009. – 199 с.
  18. Чжан Юйхуа Принципы информационного управления проектами специального назначения: дис. ... докт. экон. наук. – Санкт-Петербург, 2010. – 406 с.
  19. Багрий А.Н. Формирование системы управления инновационными проектами промышленного предприятия: дис. ... канд. экон. наук. – Москва, 2007. – 168 с.
  20. Мочалов А.В. Разработка системы управления инновационными проектами в образовании на основе оптимизационных моделей: дис. ... канд. техн. наук. – Воронеж, 2008. – 149 с.
  21. Соловьев Д.А. Управление инновационными проектами строительного предприятия в области ресурсосбережения: дис. ... канд. экон. наук. – Москва, 2009. – 168 с.
  22. Стрельцин Я.С. Развитие системы управления инновационно-

- инвестиционными проектами: дис. ... канд. экон. наук. – Саратов, 2013. – 200 с.
23. Кирина Л. В., Астанина Л. А. Моделирование инновационных процессов // Вестник НГУ. Серия Социально-экономические науки. Том 8., выпуск 2. – 2008. – С. 103-108
  24. Азизов Ш.М. Модели зрелости организации управления инновационными проектами: дис. ... канд. экон. наук. – Москва, 2011. – 179 с.
  25. Шульпин А.Б. Показатели эффективности в системе управления инновационной и инвестиционной деятельностью предприятия: дис. канд. экон. наук. – Москва, 2010. – 171 с.
  26. Юрковская Г.И. Инструменты оценки исполнения проектов промышленных предприятий: дис. ... канд. экон. наук. – Красноярск, 2008. – 143 с.
  27. Жарков И. С. Развитие теоретико-методических подходов к оценке инвестиционных проектов в российской экономике: дис. ... канд. экон. наук. – Ростов-на-Дону, 2008. – 156 с.
  28. Пащенко Д.С. Интеллектуальные системы управления проектами в аграрном секторе: дис. ... канд. техн. наук. – Москва, 2010. – 212 с.
  29. Гильманова Р.И. Оценка эффективности проектов по внедрению технологических инноваций предприятиями отраслей промышленности: дис. ... канд. экон. наук. – Казань, 2012. – 203 с.
  30. Литке М.Г. Экономическая оценка и управление инновационными проектами малого и среднего бизнеса на мезоуровне: дис. ... канд. экон. наук. – Челябинск, 2012. – 177 с.
  31. Айтимов А.С., Ахмедов Р.Р., Ахметов Н.М., Ахметов С.М., Бахурец А.П., Билашев Б.А., Дегтярь А.С., Засемчук А.В., Икласов Ж.У., Ихсанов К.А., Нефедова В.Н., Переведенцев Д.А., Савинова А.А., Семенченко С.В. «Разработка новых методов, технологии и технических средств в управлении социально-экономическими системами»: научная монография; [под ред. С.М. Ахметова]. – Новосибирск: Изд. «СибАК», 2015. – 152 с.
  32. Переведенцев Д.А., Благодатский Г.А., Романов К. А., Абрамова М. А., Горохов М.М. «Системно-ресурсный аспект в повышении эффективности

- инновационной деятельности вузов» // Вестник Ижевского Государственного Технического Университета. – 2013. – № 1. – С. 130–132.
33. Переведенцев Д.А., Калинкина Г.Е. «Формирование принципов оптимальной методики коммерциализации инноваций» // Вестник Ижевского Государственного Технического Университета. – 2014 г. – № 1 (61). –С. 70-72
  34. Калинкина Г.Е., Д.А. Переведенцев «Коммерциализация инноваций: общее и отличное с понятием «внедрение» // Вестник Ижевского Государственного Технического Университета. – 2014. – № 3 (63). – С. 90-93.
  35. Переведенцев Д.А., Горохов М.М. Информационно-аналитическое обеспечение процесса коммерциализации результатов научной деятельности университета // Вестник ИжГТУ имени М.Т. Калашникова. – 2015. – № 1 (65). – С. 99-102
  36. Переведенцев Д.А. Разработка методики параметрической оценки научных и инновационных проектов // Auditorium: электронный научный журнал Курского государственного университета. – 2015. – № 3 (07). – С. 56-65
  37. Переведенцев Д.А. Разработка UML – модели информационно-аналитической системы перспективных научных проектов // «Вестник ИжГТУ имени М. Т. Калашникова». – 2015. – № 4. – С. 58-60
  38. Горохов М.М., Переведенцев Д.А. Формирование многомерной модели данных для целей OLAP – анализа в информационно-аналитической системе управления научными проектами // Вестник Воронежского университета. – 2016. – №3. – С. 124-130
  39. Горохов М.М., Переведенцев Д.А. Проектирование базы знаний экспертной системы управления научными проектами // Вестник Томского Государственного университета. Управление, вычислительная техника и информатика – 2017. – №1(38). – С 47-51
  40. Горохов М.М., Благодатский Г.А., Переведенцев Д.А. База данных научных проектов «IProjects». Свидетельство о регистрации базы данных № 2016620179, дата государственной регистрации 08.02.2016 г. / правообладатель ФГБОУ ВПО ИжГТУ имени М.Т. Калашникова (RU), - Реестр баз данных. – 1 с.

41. Переведенцев Д.А. Информационно-аналитическая система «UNIProject». Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ №2016615251, дата государственной регистрации 19.05.2016г. / правообладатель ФГБОУ ВПО ИжГТУ имени М.Т. Калашникова (RU), – Реестр программ для ЭВМ. – 1 с.
42. Переведенцев Д.А., Романов К.А., Абрамова М.А., Благодатский Г.А. «Проектирование интегрированной информационной среды организации» // Труды международного форума по проблемам науки, техники и образования «III тысячелетие – новый мир», – М., 2012. – С. 96-97.
43. Переведенцев Д.А., Романов К.А., Переведенцев К.А. «Принципы информационно – аналитического обеспечения процесса коммерциализации научно – технических работ» // Труды XVII Международного форума по проблемам науки, техники и образования. / Под редакцией В.А. Малинникова, В.В. Вишневого – М.: Академия наук о Земле, 2013 г. – С. 122-123.
44. Переведенцев Д.А., Романов К.А., Переведенцев К.А., Сполохова М.А. "Единая интегрированная информационная система управления медицинскими учреждениями уголовно-исполнительной системы России" / материалы за IX международна научна практична конференция «Achievement of high school – 2013», том 41 съвременни технологии на информации – г. София: «Бял ГРАД-БГ» ООД, 17-25 november 2013. – С. 55-57
45. Переведенцев Д.А., Романов К.А., Переведенцев К.А. «Информационно – технические ресурсы инновационной инфраструктуры бюджетного учреждения (на примере университета)» // Сборник по результатам XXVI заочной научной конференции Research Journal of International Studies. Часть 2. – 2014. – №4 (23). – С. 50-51
46. Perevedencev D.A. The capabilities system operational analysis of data for intensification the process of commercialization innovation / Meždunarodnyj naučno-issledovatel'skij žurnal. – 2015. – №2 (33). – p. 63-64
47. Переведенцев Д.А., Горохов М.М., Переведенцев К.А. «Программно-инструментальные средства OLAP-анализа баз данных перспективных научных разработок» // Сборник тезисов докладов XVI Республиканской

- выставки-сессии студенческих инновационных проектов, - Изд-во ФГБОУ ВПО «ИжГТУ имени М.Т. Калашникова», 2013. – С. 47-49
48. Калинкина Г. Е., Переведенцев Д. А., Переведенцев К. А., Романов К. А. «Особенности маркетинга в инновационной деятельности отечественных университетов в современных условиях // Современные научные исследования. Выпуск 2 – Концепт. – 2014. – ART 55069. – URL: <http://e-koncept.ru/2014/55069.htm> – Гос. рег. Эл № ФС 77-49965. – ISSN 2304-120X., 9 стр.
49. Переведенцев Д.А. Горохов М.М., Переведенцев К.А. "Информационно - аналитическая система на основе OLAP - технологии для проектирования тренировочного процесса подготовки биатлонистов" / Сборник тезисов докладов XVI Республиканской выставки-сессии студенческих инновационных проектов. – Изд-во ФГБОУ ВПО «ИжГТУ имени М.Т. Калашникова», 2014. – С. 45-48
50. Переведенцев Д.А., Горохов М.М., «Программно-инструментальные средства поддержки инновационной деятельности на основе технологии OLAP» // электронное научное издание: сборник тезисов докладов XVIII Республиканской выставки-сессии студенческих инновационных проектов, Ижевск, 14 ноября 2014 г. / ФГБОУ ВПО «ИжГТУ имени М.Т. Калашникова». – Ижевск: ИННОВА, 2014. – 43-47 с.
51. Переведенцев Д.А. «Организация информационно - технической поддержки научных проектов в ВУЗе» / Материалы I Всероссийской научно-практической конференции «Современные информационные технологии. Теория и практика»: (Череповец, 20 ноября 2014 г.) / Под ред. Е.А. Смирновой. – Череповец: ЧГУ, 2015. – С. 219-221
52. Переведенцев Д.А. «Программные средства анализа баз данных перспективных научных разработок на основе технологии многомерной обработки данных» / сборник трудов IV Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Актуальные проблемы современной науки: взгляд молодежи»: сборник трудов, 21 апреля 2015 г. / [науч. ред. О.С. Нагорная]. – Челябинск: Центр оперативной

- полиграфии “Violitprint”. – С. 569-572
53. Переведенцев Д.А. «Информационно-аналитическая система поддержки инновационной деятельности научных учреждений и предприятий» // электронное научное издание: сборник тезисов докладов XIX Республиканской выставки-сессии студенческих инновационных проектов / ФГБОУ ВПО «ИжГТУ имени М.Т. Калашникова». – Ижевск: ИННОВА, 2015. – С 121-124
  54. Переведенцев Д.А. Система поддержки принятия решения для организации и управления научными проектами предприятий // Международная научно-практическая конференция «Развитие экономического образования в современном мире» Ижевск: Изд-во ИжГТУ имени М.Т. Калашникова, – 2015. – с.45-51
  55. Переведенцев Д.А., Благодатский Г.А. Информационно-аналитическая система поддержки научной деятельности предприятий и вузов "UNIProject" // «Выставка инноваций – 2015 (осенняя сессия)» [Электронный ресурс]: электронное научное издание: сборник материалов XX Республиканской выставки-сессии студенческих инновационных проектов, Ижевск, 11 ноября 2015 г. / ФГБОУ ВПО «ИжГТУ имени М.Т. Калашникова». – Ижевск: ФГБОУ ВПО «ИжГТУ имени М.Т. Калашникова», изд-во ИННОВА, 2015. – С. 31-37.
  56. Благодатский Г.А., Горохов М.М., Переведенцев Д.А. Моделирование системы нечеткого логического вывода оценки наукоемких проектов // Автоматизация процессов управления. – 2017. – №2(48). – С.84-91
  57. Руководство к Своду знаний по управлению проектами (Руководство РМВОК) Четверное издание. Project Management Institute, Four Campus Boulevard, Newtown Square, PA 19073-3299 USA / США. – 241 с.
  58. Международный стандарт ISO 10006. Системы менеджмента качества. Руководящие указания по управлению качеством в проектах, Второе издание, – Компания «Технорматив» Перевод на русский язык, 2004, – 41 с.
  59. Проектный менеджмент. Требования к управлению проектом. Национальный стандарт РФ ГОСТ Р 54869-2011 // Федеральное агентство по

техническому регулированию и метрологии

60. Коньшунова А. Ю. К вопросу о классификации проектов в проектном управлении / Экономика и современный менеджмент: теория и практика // Сб. ст. по материалам XXXII междунар. науч.-практ. конф. – Новосибирск: Изд. «СибАК», 2013. – № 12 (32) – Режим доступа: <https://sibac.info/conf/econom/xxxii/35373> (дата обращения 19.12.2012)
61. Методологические вопросы управления научными проектами // Информационно-справочный портал поддержки систем управления качеством. – Режим доступа: <http://www.quality.edu.ru/quality/met/493/> (дата обращения 19.01.2015)
62. Вершинина А. В. Системный анализ и алгоритмизация процессов бизнес-планирования инновационных мероприятий: дис. канд. экон. наук. – Москва 2010. – 169 с.
63. Новиков Д.А., Суханов А.Л. Модели и механизмы управления научными проектами в ВУЗах. – М.: Институт управления образованием РАО, 2005. – 80 с.
64. Моисеев Н.Н. Элементы теории оптимальных систем. – М.: «Наука», 1975. – 526 с.
65. Гермейер Ю.Б. Математические основы теории принятия решений // сборник "Вопросы кибернетики". Вып.8. – М., 1975. – С.32-43.
66. Волкович В.Л., Михалевич В.С. Вычислительные методы исследования и проектирования сложных систем. – М.: Наука, 1982. – 286 с.
67. Багриновский К.А., Бендиков М.А., Хрусталева Е.Ю. Современные методы управления технологическим развитием. Монография. М.: Российская политическая энциклопедия, 2001. – 272 с.
68. Баркалов С.А., Воропаев В.И., Секлетова Г.И. Математические основы управления проектами: Учебное пособие / Под ред. В.Н. Буркова. – М.: Высшая школа, 2005. – 423 с.
69. Соловьев В.П. Инновационная деятельность как системный процесс в конкурентной экономике (Синергетические эффекты инноваций). – Киев: Феникс, 2006. – 560 с.

70. Горбунов В.М. Теория принятия решений: Учебное пособие. – Изд: ТПУ. Томск, - 2010. – 67 с.
71. Маханько А.В., Кашапов Н.Ф., Галимов А.М. Управление инновационной деятельностью в ВУЗе: проблемы и перспективы // Образовательные технологии и общество. – 2012. – №4. – С.615-624
72. Хохлов А.Р. Как DFG проводит экспертизу научных проектов // электронный научный журнал «Наука и технологии РФ» (S&T RF). – Режим доступа: <http://www.strf.ru/> (дата обращения: 25.06.2015).
73. Постановление № 62 ОИФН РАН «Об оценке научной деятельности институтов гуманитарного профиля» от 16 октября 2013 г., – г. Москва. – Режим доступа: <http://www.saveras.ru/archives/3691> (дата обращения: 10.07.2015).
74. Петровский А.Б. Многокритериальный подхода к оценке результативности научных проектов / А.Б. Петровский, Г.В. Ройзензон, И.П. Тихонов, А.В. Балышев // Вестник НТУ ХПИ. – 2009. – №43. Режим доступа: <http://cyberleninka.ru/article/n/mnogokriterialnyy-podhod-k-otsenke-rezultativnosti-nauchnyh-proektov> (дата обращения: 16.07.2015).
75. Прокопов Б. И. Инновационные проекты: экспертиза и оценка // Проблемы современной экономики. – 2009, №2(30). – Режим доступа: <http://www.m-economy.ru/art.php?nArtId=2540> (дата обращения: 05.07.2015).
76. Логико-структурный подход в управлении проектами // Материалы сайта Института инноватики. – Режим доступа: <http://ii.spb.ru> (дата обращения 10.05.15 г.)
77. Селиванов Д.Ф. Стратегическое управление научно-инновационным развитием хозяйствующего субъекта: автореф. дис. канд. экон. наук. – СПб, 2004. – 23 с.
78. Гольдштейн Г.Я. Стратегические аспекты управления НИОКР: Монография. – Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2000. – 244 с.
79. Российский Гуманитарный Научный Фонд: [Офиц. сайт]. Режим доступа: <http://www.rfh.ru/>. (Дата обращения: 20.03.15 г.)
80. Российский научный фонд: [Офиц. сайт]. Режим доступа: <http://рнф.рф/>.

(Дата обращения: 20.03.2015)

81. Указ Президента РФ от 07.07.2011 N 899 "Об утверждении приоритетных направлений развития науки, технологий и техники в Российской Федерации и перечня критических технологий Российской Федерации"//"Собрание законодательства РФ", 11.07.2011, N 28, ст. 4168.
82. Барковский С.С., Захаров В.М., Лукашов А.М., Нурутдинова А.Р., Шалагин С.В. Многомерный анализ данных методами прикладной статистики: Учебное пособие – Казань: Изд. КГТУ, 2010. – 126 с.
83. Теория систем и системный анализ: Учебное пособие / Сост. А.Н. Тырсин; УрСЭИ АТиСО. – Челябинск, 2002. – 128 с.
84. Фишберн П. Теория полезности для принятия решений. М.: Наука, 1978. – 352 с.
85. Ногин В.Д. Принятие решений при многих критериях. Учебно-методическое пособие. – СПб. Издательство «ЮТАС», 2007. – 104 с.
86. Волкова В.Н. Моделирование систем и процессов: учебник для академического бакалавриата / В. Н. Волкова, Г. В. Горелова, В. Н. Козлов [и др.]; под ред. В. Н. Волковой, В. Н. Козлова. – М.: Издательство Юрайт, 2016. – 450 с.
87. Рубанов В. Г., Филатов А. Г., Рыбин И. А. Интеллектуальные системы автоматического управления. Нечеткое управление в технических системах // Электронное пособие URL: <http://nrsu.bstu.ru/> (дата обращения 25.08.2016)
88. Sivanandam S.N., Sumathi S., Deepa S.N. Introduction to fuzzy logic using MATLAB. Springer, 2007. – 441 p.
89. Четвериков В. В., Гордиевских В. В., Малышенко А. М., Воронин А. В., Галактионов Е. А., Громаков Е. И. Интегрированная система управления проектами научно-технического центра нефтяной компании «Роснефть» // Известия ТПУ. – 2007. – №5. – С. 40-46.
90. Пегат А. Нечеткое моделирование и управление, пер. с англ. – 2-е изд. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2013. – 798 с.
91. Бельков В.Н., Ланшаков В.Л. Автоматизированное проектирование технических систем: Учебное пособие. – Издательство "Академия

- Естествознания", 2009. – 143 с.
92. Лотов А.В., Поспелова И.И. Конспект лекций по теории и методам многокритериальной оптимизации: учебное пособие. – М.: 2014. – 127 с.
  93. Теория управления. Принципы системного анализа. – Режим доступа: <http://www.refbzd.ru/viewreferat-2577-70.html> (дата обращения 16.08.15)
  94. Попов А. Л. Системы поддержки принятия решений: Учебно-метод. пособие – Екатеринбург: Урал. гос. ун-т, 2008. – 80 с.
  95. Мюллер Р. Дж. Проектирование баз данных и UML / пер. с англ. Е. Молодцова, – Изд.: Лори., 2013. – 432 с.
  96. Соловьев С.В., Цой Р.И., Гринкруг Л.С. Технология разработки прикладного программного обеспечения. – Изд-во: "Академия Естествознания". – 2011 год. – 407 с.
  97. Барсегян А. А., Куприянов М. С., Степаненко В. В., Холод И. И. Методы и модели анализа данных: OLAP и Data Mining. – СПб.: БХВ-Петербург, 2004. – 336 с.
  98. Макарова Е. С., М. В. В. Проектирование концептуальной модели данных для задач web-olap на основе ситуационно-ориентированной базы данных // Вестник УГАТУ. – 2012. – №6 (51). – С. 177-188
  99. Гаврилова Т. А., Хорошевский В. Ф. Базы знаний интеллектуальных систем. – СПб.: Питер, 2000. – 384 с.
  100. Муромцев Д.И. Введение в технологию экспертных систем. – СПб: СПб ГУ ИТМО, 2005. – 93 с.
  101. Официальный сайт Бизнес-инкубатора «ФГБОУ ВПО ИжГТУ имени М.Т. Калашникова». – URL: <http://innobinc.ru/> (дата обращения 13.05.16)
  102. Шавенько Н.К. Основы теории информации и кодирования. Учебное пособие. – М.: Изд-во МИИГАиК, 2012. – 125 с.
  103. Балашов, А. И. Управление проектами: учебник для бакалавров / А. И. Балашов, Е. М. Рогова, М. В. Тихонова, Е. А. Ткаченко; под ред. Е. М. Роговой. – М.: Издательство Юрайт, 2013. – 383 с.
  104. Крюков В.В., Шахгельдян К.И. Корпоративная информационная среда ВУЗа: методология, модели, решения: Монография. – Владивосток: Дальнаука,

2007. – 308 с.
105. Елисеева И.И., Юзбашев М.М. Общая теория статистики: Учебник / Под ред. И.И. Елисеевой. – 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Финансы и статистика, 2004. – 656 с
106. Информационная система управления научными проектами / сайт компании ИНФОКОМ-С. – Режим доступа: <http://infocom-s.ru/is-management-science>
107. Осипова И.М. Методические подходы к формированию внутрипроизводственной системы управления инновационной деятельностью предприятия: дис. ... канд. экон. наук. – Иркутск, 2010. – 166 с.
108. Алябушев Д.Б. Управление инновационным проектом на промышленном предприятии на стадиях его разработки и реализации: дис. ... канд. экон. наук. – Челябинск, 2011. – 159 с.
109. Бобровских С.С. Особенности организации управления крупными проектами: дис. канд. экон. наук. – Москва, 2010. – 210 с.
110. Кобзарь А. И. Прикладная математическая статистика. – М.: Физматлит, 2006. – 816 с.
111. Моренин А.В. Один из подходов к созданию систем поддержки принятия решений нового поколения // сайт OLAP.RU, URL: <http://www.olap.ru/best/alter.asp> (дата обращения 25.08.2015)
112. Исаев Д.В. Аналитические информационные системы / Государственный университет – М.: Высшая школа экономики, 2008. – 60 с.
113. Полковникова Н. А. Курейчик В. М. Разработка модели экспертной системы на основе нечёткой логики // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2014. – №1 (150). – С. 83-92.
114. Андреев И.М. Описание алгоритма CART // Exponenta Pro. Математика в приложениях. – 2004. – № 3–4. – С. 48–53.
115. Джарратано Д., Райли Г. «Экспертные системы: принципы разработки и программирование», 4-е издание.: Пер. с англ. – М.: ООО “И.Д. Вильямс”, 2007. – 1152 с.
116. Долотина Е. А. Особенности применения экспертных систем в

- интеллектуальных компьютерных обучающих системах // НиКа. 2013. №. С.276-278
117. Уткин Л.В. Машинное обучение (Machine Learning) Деревья решений (Decision trees), URL: [http://www.levvu.narod.ru/Machine\\_Learning\\_LTU\\_4.pdf](http://www.levvu.narod.ru/Machine_Learning_LTU_4.pdf) (дата обращения 20.04.2017 г.)
118. Бурый, А. С., Полоус, А. И.. Качество информации в организационно-технических системах управления // Транспортное дело России. – 2012. – №6-2. – С. 82-87.
119. Пестов В. Ю. Этапы проектирования организации производственных процессов изготовления наукоемкой продукции // Вестник ВГТУ. – 2012. – №8. – С. 60-64
120. Квеско Р.Б., Квеско С.Б. Инновационный менеджмент // Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2016. – 160 с.
121. Мамрыкин О.В. Разработка автоматизированной системы управления проектами освоения новых изделий машиностроения: дис. ... канд. техн. наук. – Ижевск 2002. – 229 с.
122. Антонов И. В. Модель онтологии предметной области для систем семантически-ориентированного доступа // Труды Псковского политехнического института. Электротехника. Машиностроение. – 2011. – № 14/3. – С. 339-343.
123. Антонов И.В. Метод автоматизированного построения онтологии предметной области: дис. ... канд. техн. наук. – Псков, 2011. – 156 с.
124. Буьарева О.А., Попов Ф.А., Ануфриева Н.Ю. Использование онтологии с целью интеграции данных в рамках автоматизированных информационных систем вузов // Фундаментальные исследования. Номер: 12(1), – 2011. – С. 85-88
125. Верхотурова Юлия Сергеевна Модель предметной области на языке описания онтологий // Вестник БГУ. Математика, информатика. – 2013. – №9. – С. 63-68
126. Кох А. В. Разработка и создание экспертных систем // Молодой ученый. – 2017. – №3. – С. 246-249.

127. Курносое Ю.В., Конотопов П.Ю. Аналитика: методология, технология и организация информационно-аналитической работы. – Москва: Издательство «Русаки», 2004 г. – 550 с.
128. Майданович О.В. Интеллектуальные технологии автоматизированного мониторинга сложных технических объектов // Труды СПИИРАН. – 2013. – № 6(29). – С. 201-216
129. Маслеников К.Ю., Сатова М.В. Онтология модели предметной области // «Политехнический молодежный журнал» МГТУ им. Н.Э. Баумана 12(17)/2017 DOI: 10.18698/2541-8009-2017-12-212 URL: <http://ptsj.ru/catalog/hum/phil/212.html> (дата обращения 13.05.2018)
130. Маслов А. М. Методика формализации междисциплинарных факторов и критериев оптимизации региональных систем экономики // Региональная экономика и управление: электронный научный журнал // Номер журнала: №2 (54), 2018. URL: <https://eee-region.ru/article/5405/> (дата обращения 19.06.2018)
131. Митрофанова О.А., Константинова Н.С. Онтологии как системы хранения знаний / Всероссийский конкурсный отбор обзорно-аналитических статей по приоритетному направлению "Информационно-телекоммуникационные системы", 2008. – 54 с. URL: <http://www.ict.edu.ru/ft/005706/68352e2-st08.pdf> (дата обращения 19.12.2017)
132. Мкртычев Сергей Вазгенович Объектно-структурный подход к моделированию проблемно-ориентированных систем сбора и обработки учетно-аналитической информации // Известия ТПУ. – 2014. – №5. – С. 66-71
133. Орехов А.М.. Формализация и математизация как методы развития научного знания: Учеб. пособие. – М.: ИНФРА-М, 2009. – 392 с.
134. Охтилев М.Ю., Соколов Б.В., Юсупов Р.М. Интеллектуальные технологии мониторинга состояния и управления структурной динамикой сложных технических объектов. М.: Наука, 2006. – 410 с.
135. Палагин А.В., Петренко Н.Г., Малахов К.С. Методика проектирования онтологии предметной области // Компьютерные средства, сети и системы. – 2011. – № 10. – С. 5-12.

136. Распределенные информационные системы, GRID-технологии, сервисы, информационно-вычислительные технологии, тезаурусы, онтологии // Проект разработки информационного портала СО РАН. URL: <http://www-sbras.nsc.ru/Report2006/Report321/node14.html> (дата обращения 25.04.2018 г.)
137. Черняховская Л. Р., Шкундина Р. А., Нугаева К. Онтологический подход к разработке систем поддержки принятия решений // Вестник УГАТУ. – 2006. №4. – С. 68-77
138. Соколов Б.В., Майданович О.В., Охтилев М.Ю. Новый подход к созданию интеллектуальных информационных технологий проектирования систем мониторинга состояния сложных объектов // XI Международная научно-техн. конф. 12–14 мая 2010 г. «Кибернетика и высокие технологии XXI века»: сб. докл. в 2 т. Воронеж: НПФ «Саквое», – 2010. – Т.2. С. 601-608.
139. Поспелов Д.А. Представление знаний. Опыт системного анализа // Системные исследования. Методологические проблемы. Ежегодник / Под ред. Д. М. Гвишиани, В. Н. Садовского. №17, М.: Наука, 1985, с.83–102 (pdf)
140. Gruber T.R. A Translation Approach to Portable Ontology Specifications. // Knowledge Acquisition, № 5/2, 1993. – P. 199-220.
141. Guarino N. Understanding, Building, and Using Ontologies. A Commentary to «Using Explicit Ontologies in KBS Development» (by van Heijst, Schreiber, and Wielinga) // International Journal of Human and Computer Studies, № 2/3. 1997. - P. 93-310.
142. Nirenburg S., Raskin V. Ontological Semantics. Cambridge, MA, 2004. – 256 p.
143. Finin T., Mayfield J., Grosz B. DARPA Agent Markup Language (DAML) Tools for Supporting Intelligent Annotation, Sharing and Retrieval. 2007 University of Maryland, Baltimore. –109 p.
144. Staab S., Studer R. (eds). Handbook on Ontologies. // Springer – Verlag, 2004.
145. Поспелов Д.А. Ситуационное управление: теория и практика. – М.: Наука. – Гл. ред. физ.-мат. лит., 1986. – 288 с.
146. Shi L., Newnes L., Culley S., Allen B. Learning to predict characteristics for engineering service projects // AI EDAM. 2017. Vol. 31, No. 3. P. 313\_326. DOI: 10.1017/S0890060417000129.

147. Quaglio M., Fraga E. S., Cao E., Gavriilidis A., Galvanin F. A model-based data mining approach for determining the domain of validity of approximated models // *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*. 2018. Vol. 172. P. 58-67. DOI: 10.1016/j.chemolab.2017.11.010.
148. Xing H., Huang S.H., Shi J. Rapid development of knowledge-based systems via integrated knowledge acquisition // *AI EDAM*. 2003. Vol. 17, No. 3. P. 221-234. DOI: 10.1017/S0890060403173052.
149. Sakama C., Inoue K. An abductive framework for computing knowledge base updates // *Theory and Practice of Logic Programming*. 003. Vol. 31, No. 3. P. 671-715. DOI: 10.1017/S1471068403001716.
150. Goussies N.A., Ubalde S., Mejail M. Transfer Learning Decision Forests for Gesture Recognition // *The Journal of Machine Learning Research*. – 2014. – No. 15. – P. 3848-3870.
151. Gohari F.S., Aliee F.S., Haghghi H. A new confidence-based recommendation approach: Combining trust and certainty // *Information Sciences*. 2018. Vol.422. P. 21-50. DOI: 10.1016/j.ins.2017.09.001.
152. Herlocker J.L., Konstan J.A., Terveen L.G., Riedl J.T. Evaluating collaborative filtering recommender systems // *Journal ACM Transactions on Information System*. 2004. Vol. 22, No. 1. P.5-53. DOI: 10.1145/963770.963772.
153. Blockchain platform for scientific projects with decentralized evaluation // URL: <https://scientificcoin.com> (Дата обращения: 03.06.2018 г.)
154. Han, H., Guo, X., Yu, H., 2016, August. Variable selection using mean decrease accuracy and mean decrease Gini based on random forest. In: *Software Engineering and Service Science (ICSESS), 2016 7th IEEE International Conference on*. IEEE. – P. 219–224.
155. Zyubin V. Automatic Verification of Control Algorithms for Complex Technological Plants Using Software Imitators // Сайт платформы [scientificcoin.io](https://scientificcoin.io), URL: <https://scientificcoin.io/project/lk/12> (дата обращения 03.06.2018 г.).
156. Благодатский Г.А., Горохов М.М., Переведенцев Д.А. Методы и инструменты многомерного анализа баз данных перспективных научных

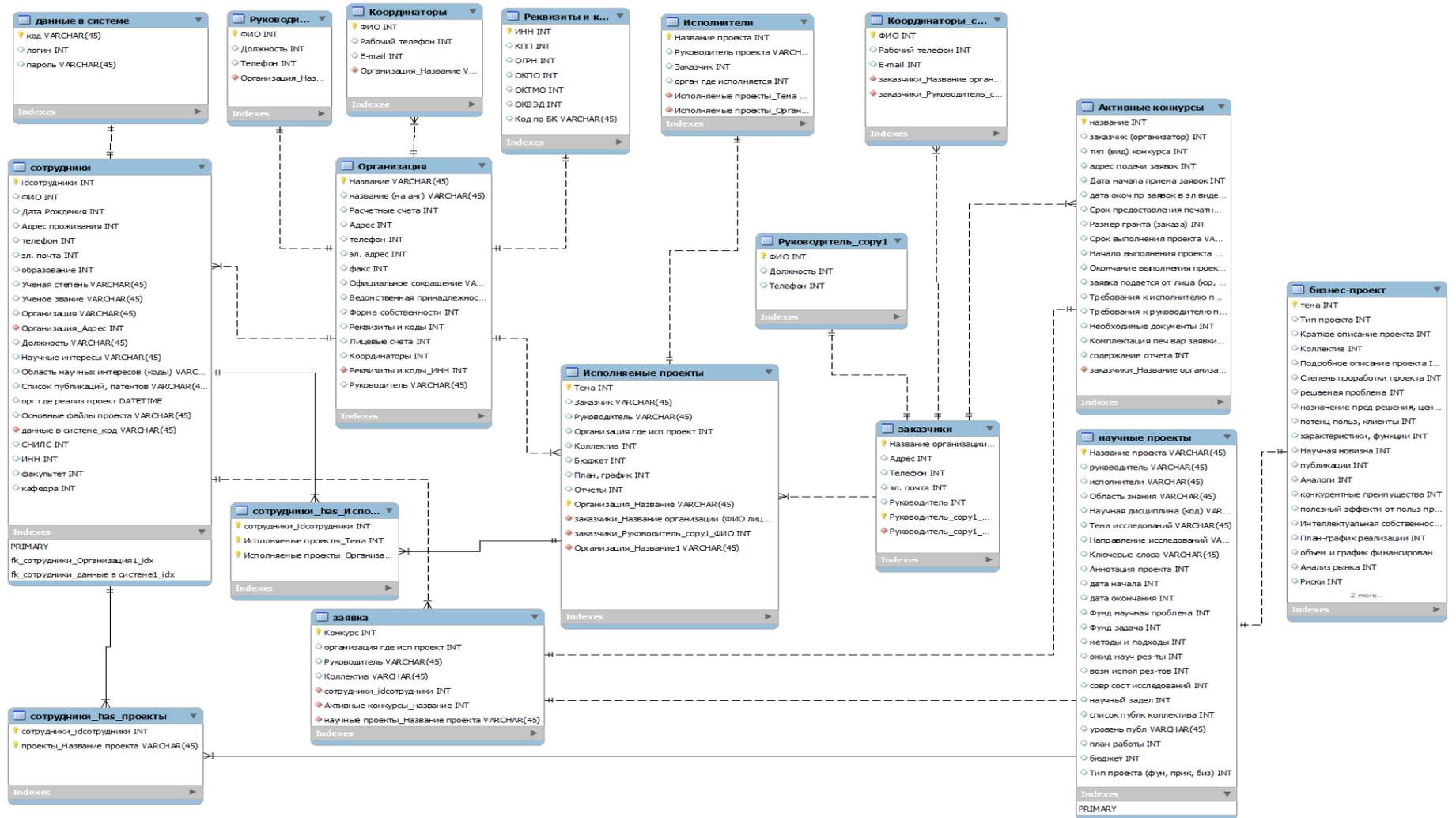
- разработок: монография. – Ижевск: Изд-во ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, 2018. – 180 с.
157. Nikiforov A. A. Oil-free compression movable-cylinder engine with extension rods // Blockchain platform for scientific projects with decentralized evaluation // URL: <https://scientificcoin.io/project/lk/3> (Дата обращения: 04.06.2018 г.)
158. Belchenko Yu. I. Vacuum-insulated tandem accelerator // Blockchain platform for scientific projects with decentralized evaluation // URL: <https://scientificcoin.io/project/lk/17> (Дата обращения: 04.06.2018 г.)
159. Babichev E.A. Radiographic installation // Blockchain platform for scientific projects with decentralized evaluation // URL: <https://scientificcoin.io/project/lk/34> (Дата обращения: 04.06.2018 г.)
160. Чухланцев Е.С., Щенятский А.В. Эксцентриковый механизм перекося для колонн направленного бурения по нефти и газу // Сборник тезисов докладов XVI Республиканской выставки-сессии студенческих инновационных проектов, Ижевск. – 2013. – С. 14-16
161. Голованов Е.А. Разработка интегрированной технологической системы связи предприятия с применением технологии RoIP // Сборник тезисов докладов XVI Республиканской выставки-сессии студенческих инновационных проектов, Ижевск. – 2013. – С. 18-19
162. Мерзляков К.Г., Зыков А.М., Тюрин А.П. Разработка программно-аппаратного комплекса для снижения шума установок вентиляции // Сборник тезисов докладов XIX Республиканской выставки-сессии студенческих инновационных проектов, изд-во ИННОВА. – 2015. – С. 45-46
163. Столбов К.Л., Никитин Ю.Р. Автоматизированный диагностический комплекс для контроля электрических двигателей самолета // Сборник тезисов докладов XIX Республиканской выставки-сессии студенческих инновационных проектов, изд-во ИННОВА. – 2015. – С. 65-66
164. Витковский К.С., Чухланцев Е.С. Автоматизированная система проектирования локально-вычислительных сетей в жилых и офисных помещениях // Сборник тезисов докладов XIX Республиканской выставки-сессии студенческих инновационных проектов, изд-во ИННОВА. – 2015. – С.

69-70

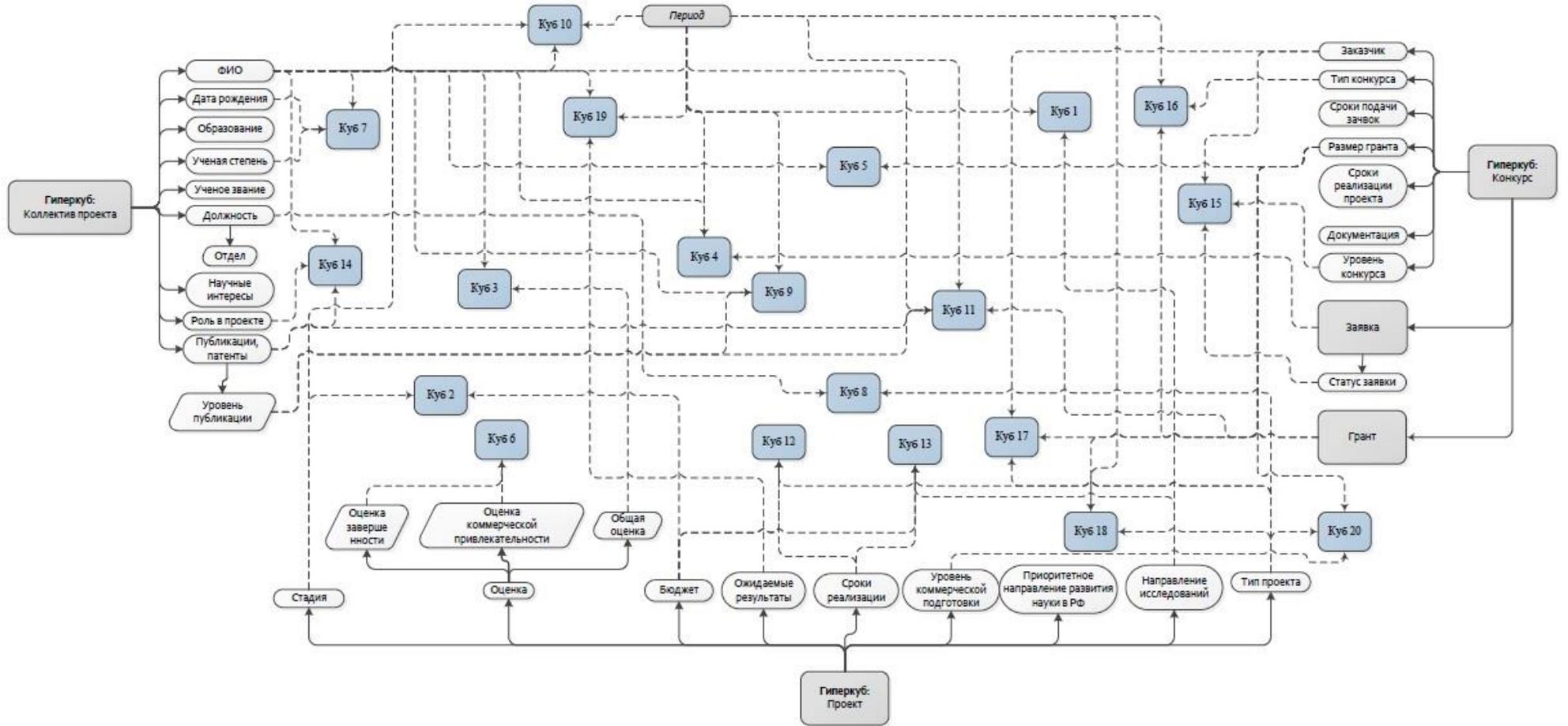
165. Низаев Э.Н. Двигатель внутреннего сгорания, работающий от газогенератора с принудительным воспламенением // Сборник тезисов докладов XVIII Республиканской выставки-сессии студенческих инновационных проектов, изд-во ИННОВА. – 2014. – С. 40-42
166. Вдовин А.Ю. Информационно-измерительная система для определения параметров движения механизмов автоматики стрелкового оружия бесконтактным способом // Сборник тезисов докладов XIX Республиканской выставки-сессии студенческих инновационных проектов, изд-во ИННОВА. – 2015. – С. 46-48
167. Лаптев М.А. Устройство для вибрационного сверления // Сборник тезисов докладов XIX Республиканской выставки-сессии студенческих инновационных проектов, изд-во ИННОВА. – 2015. – С. 89-91
168. Морозов А.В. Разработка частотного преобразователя для основного привода лифта // Сборник тезисов докладов XIX Республиканской выставки-сессии студенческих инновационных проектов, изд-во ИННОВА. – 2015. – С. 99-101
169. Никитин М.Л., Копысов А.Н. Широкополосный коротковолновый SDR модем // Сборник тезисов докладов XIX Республиканской выставки-сессии студенческих инновационных проектов, изд-во ИННОВА. – 2015. – С. 101-113
170. Благодатский Г.А., Вологдин С.В., Горохов М.М., Переведенцев Д.А. Методика автоматизированной оптимизации базы знаний экспертной системы на основе алгоритма решающих деревьев (CART) / Актуальные проблемы прикладной математики, информатики и механики: сборник трудов Международной научной конференции, Воронеж, 17–19 декабря 2018 г. – Воронеж: Издательство «Научно-исследовательские публикации», 2019. – С. 1541-1547.

# ПРИЛОЖЕНИЯ

## Приложение А – ER-модель



## Приложение Б – Схема формирования OLAP-кубов



## Приложение В – Структура базы данных

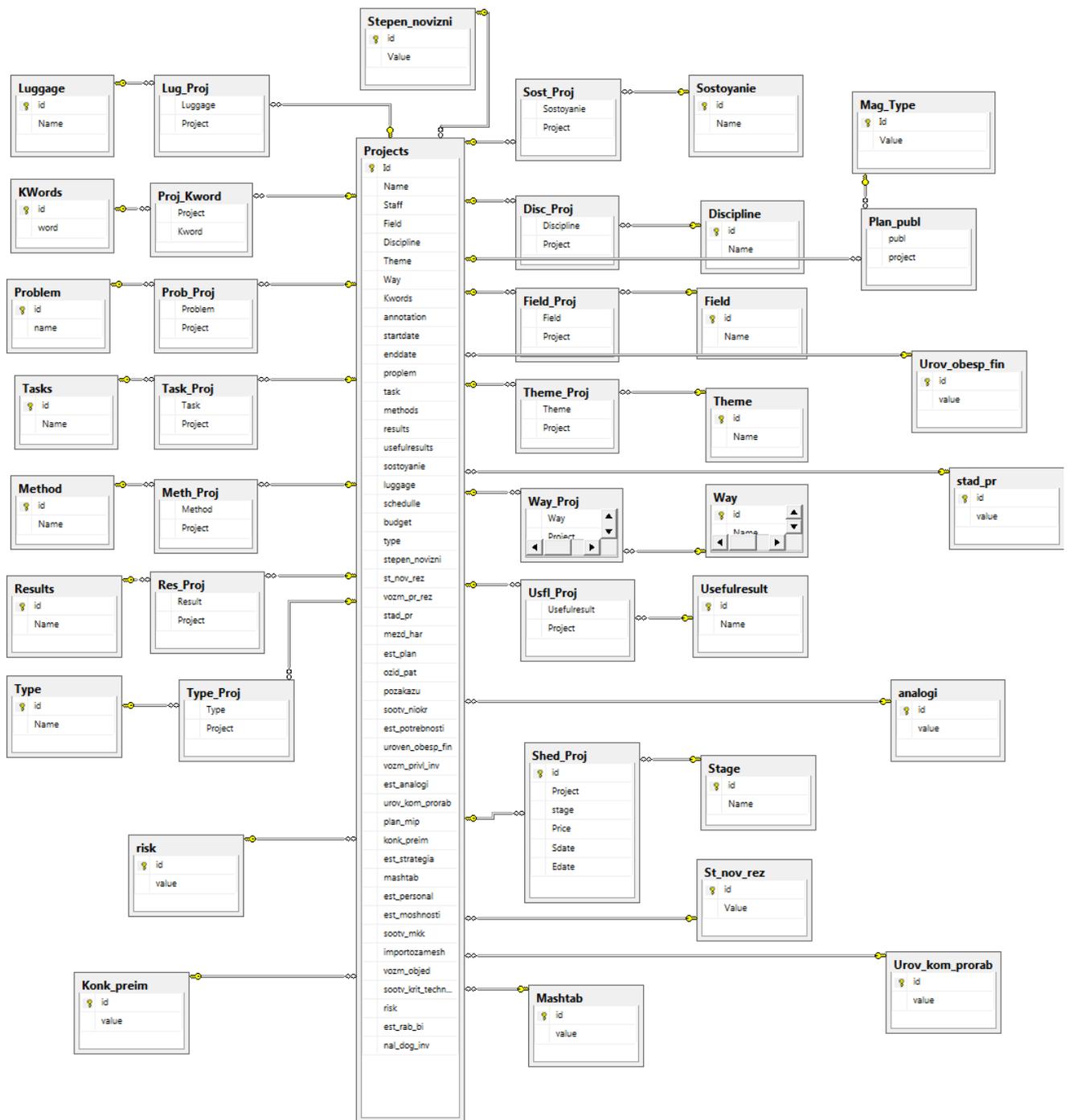


Рисунок В.1 – Структура раздела «Проекты» базы данных наукоемких проектов «IProjects»

Таблица В.1 – Таблица «Projects»

№	Поле	Тип данных	Назначение
1.	[Id]	[int]	Уникальный идентификатор записи
2.	[Name]	[varchar]	Название проекта
3.	[Staff]	[int]	Штат проекта
4.	[Field]	[int]	Область исследований
5.	[Discipline]	[int]	Научная дисциплина
6.	[Theme]	[int]	Тема исследований
7.	[Way]	[int]	Направление исследований
8.	[Kwords]	[int]	Ключевые слова
9.	[annotation]	[text]	Аннотация проекта
10.	[startdate]	[smalldatetime]	Начало проекта
11.	[enddate]	[smalldatetime]	Окончание проекта
12.	[proplem]	[int]	Проблема, решаемая проектом
13.	[task]	[int]	Задачи проекта
14.	[methods]	[int]	Методы проекта
15.	[results]	[int]	Результаты проекта
16.	[usefulresults]	[int]	Практическая значимость проекта
17.	[sostoyanie]	[int]	Состояние вопроса
18.	[luggage]	[int]	Задел проекта
19.	[schedulle]	[int]	План работы
20.	[budget]	[float]	Бюджет проекта
21.	[type]	[int]	Тип проекта
22.	[stepen_novizni]	[int]	Степень новизны
23.	[st_nov_rez]	[int]	Степень новизны результатов
24.	[vozm_pr_rez]	[bit]	Возможность применения результатов на практике
25.	[stad_pr]	[int]	Стадия проекта
26.	[mezd_har]	[bit]	Имеет ли проект международный характер
27.	[est_plan]	[bit]	Наличие бизнес-плана
28.	[ozid_pat]	[bit]	Планы по патентованию
29.	[pozakazu]	[bit]	По заказу
30.	[sootv_niokr]	[bit]	Соответствие направлениям НИОКР
31.	[est_potrebности]	[bit]	Нужно финансирование
32.	[uroven_obesp_fin]	[int]	Уровень обеспеченности финансами
33.	[vozm_privl_inv]	[bit]	Возможность привлечения инвестиций
34.	[est_analogi]	[int]	Имеются ли аналоги
35.	[urov_kom_prorab]	[int]	Уровень технико-экономического обоснования
36.	[plan_mip]	[bit]	Создается МИП
37.	[konk_preim]	[int]	Конкурентные преимущества
38.	[est_strategia]	[bit]	Есть ли стратегия
39.	[mashtab]	[int]	Масштаб проекта
40.	[est_personal]	[bit]	Есть ли необходимый персонал
41.	[sootv_mkk]	[bit]	Соответствие МКК
42.	[importozamesh]	[bit]	Возможность импортозамещения
43.	[vozm_objed]	[bit]	Возможность объединения
44.	[sootv_krit_techn_rf]	[bit]	Соответствие критическим технологиям
45.	[risk]	[int]	Риски проекта
46.	[est_rab_bi]	[bit]	Работа с бизнес-инкубатором
47.	[nal_dog_inv]	[bit]	Наличие договоров с инвесторами

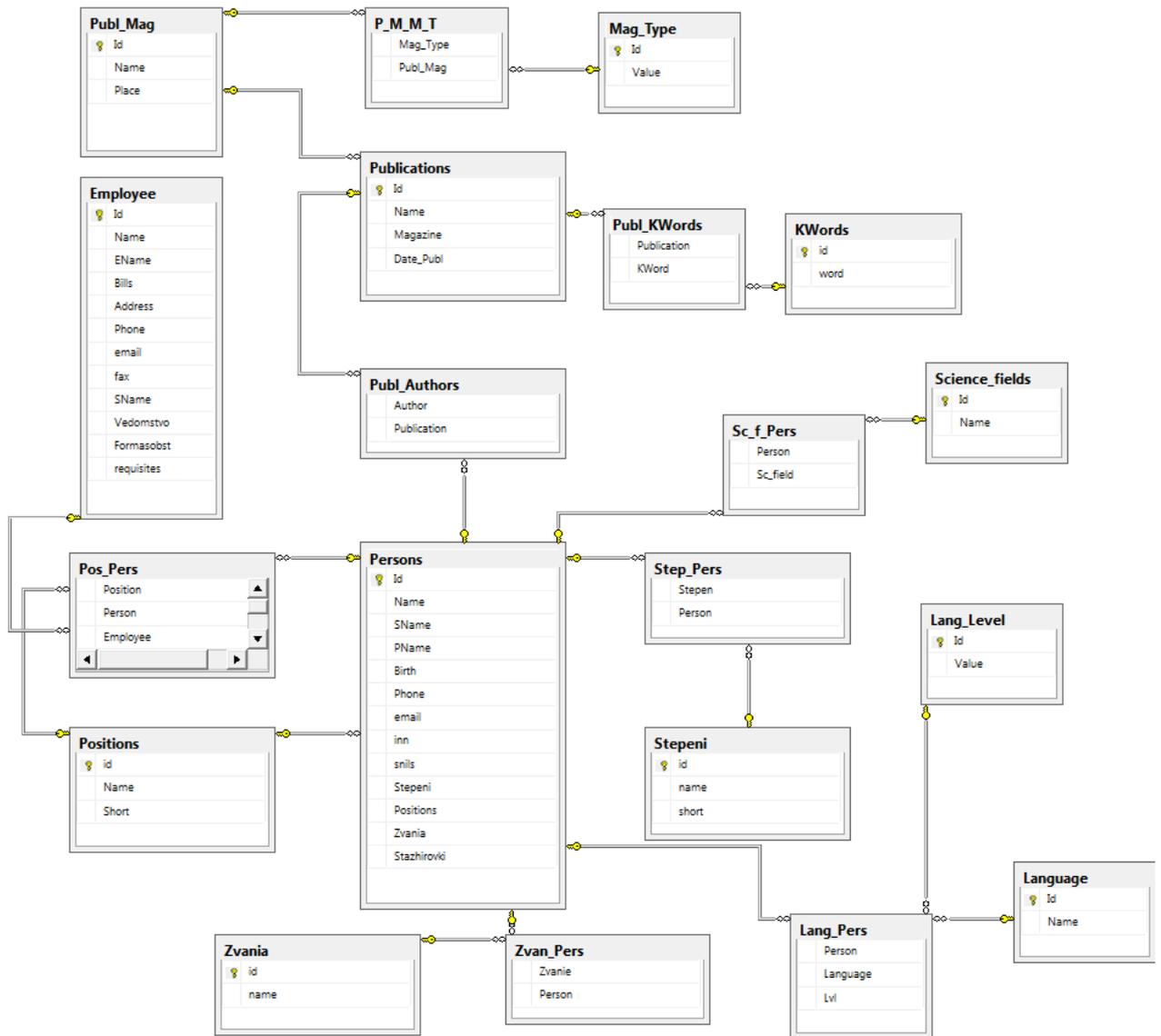


Рисунок В.2 – Структура раздела «Физические лица» базы данных наукоемких проектов «IProjects»

Таблица В.2 – Таблица «Persons»

№	Поле	Тип данных	Назначение
1.	[Id]	[int]	Уникальный идентификатор записи
2.	[Name]	[varchar]	Имя
3.	[SName]	[varchar]	Фамилия
4.	[PName]	[varchar]	Отчество
5.	[Birth]	[smalldatetime]	Дата рождения
6.	[Phone]	[varchar]	Телефон
7.	[Email]	[varchar]	Электронная почта
8.	[INN]	[varchar]	ИНН
9.	[Snils]	[varchar]	СНИЛС
10.	[Stepeni]	[int]	Ученые степени
11.	[Positions]	[int]	Занимаемые должности
12.	[Zvania]	[int]	Ученые звания
13.	[Stazhirovki]	[bit]	Возможность стажировок

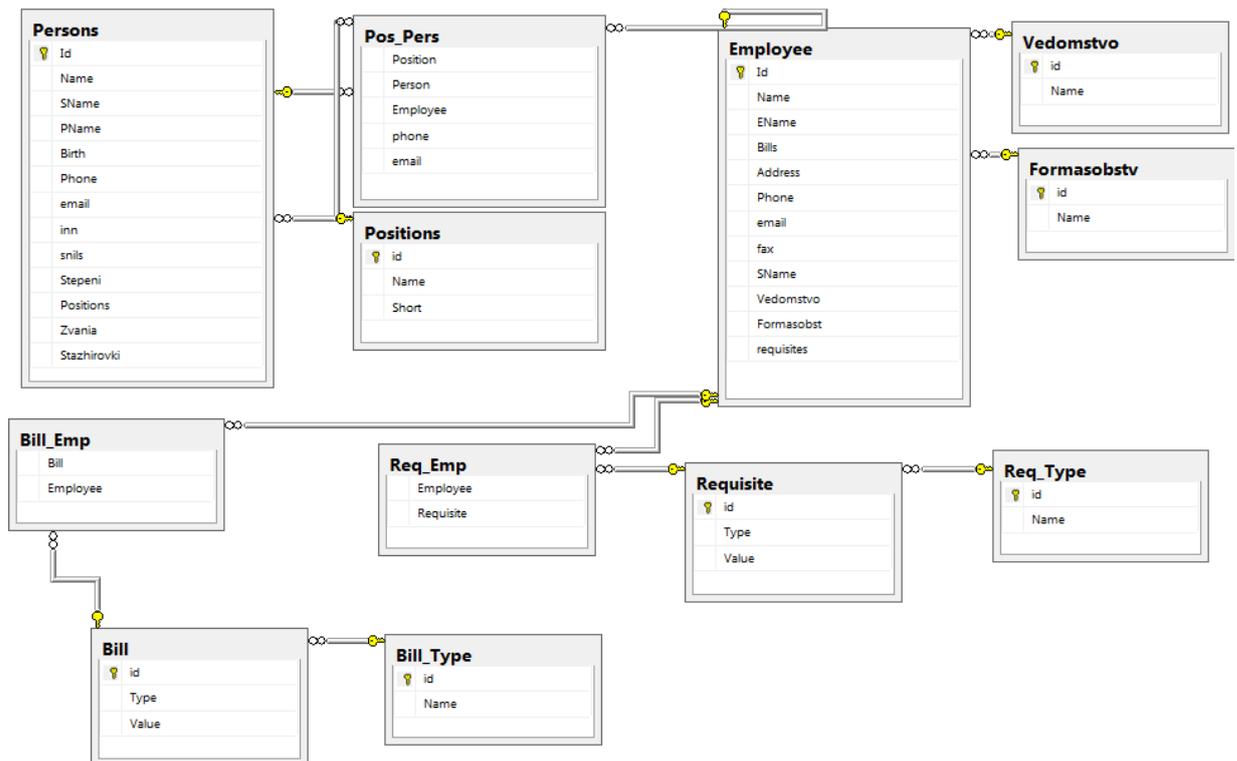


Рисунок В.3 – Структура раздела «Организация» базы данных наукоемких проектов «IProjects»

Таблица В.3 – Таблица «Employee»

№	Поле	Тип данных	Назначение
1.	[Id]	[int]	Уникальный идентификатор записи
2.	[Name]	[varchar]	Название
3.	[EName]	[varchar]	Название на английском
4.	[Bills]	[int]	Счета
5.	[Address]	[varchar]	Адрес
6.	[Phone]	[varchar]	Телефон
7.	[Email]	[varchar]	Электронная почта
8.	[Fax]	[varchar]	Факс
9.	[Sname]	[varchar]	Официальное сокращение
10.	[Vedomstvo]	[int]	Ведомственная принадлежность
11.	[Formasobstv]	[int]	Форма собственности
12.	[Requisites]	[int]	Реквизиты

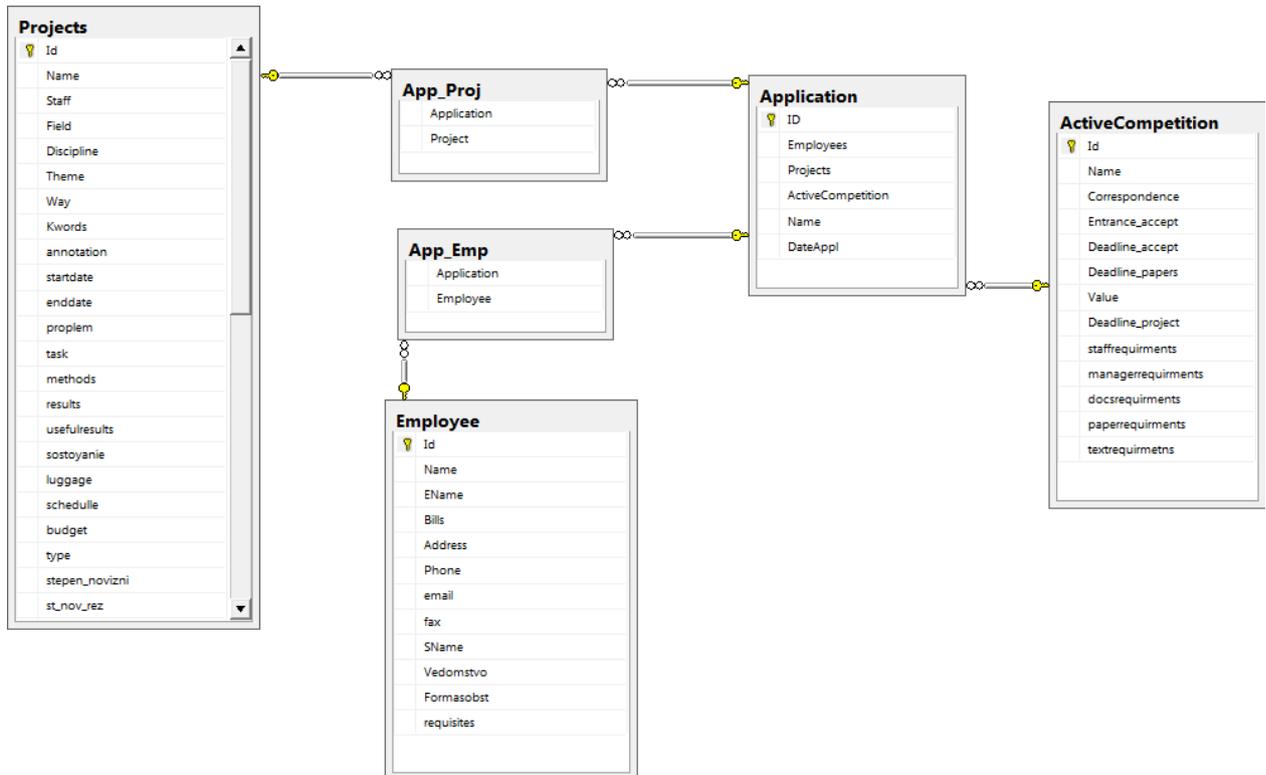


Рисунок В.4 – Структура раздела «Заявки» базы данных наукоемких проектов «IProjects»

Таблица В.4 – Таблица «Application»

№	Поле	Тип данных	Назначение
1.	[Id]	[int]	Уникальный идентификатор записи
2.	[Name]	[varchar]	Название
3.	[Employees]	[varchar]	Организация
4.	[Projects]	[int]	Проект
5.	[ActiveCompetitions]	[int]	Конкурс
6.	[DateAppl]	[smalldatetime]	Дата подачи заявки

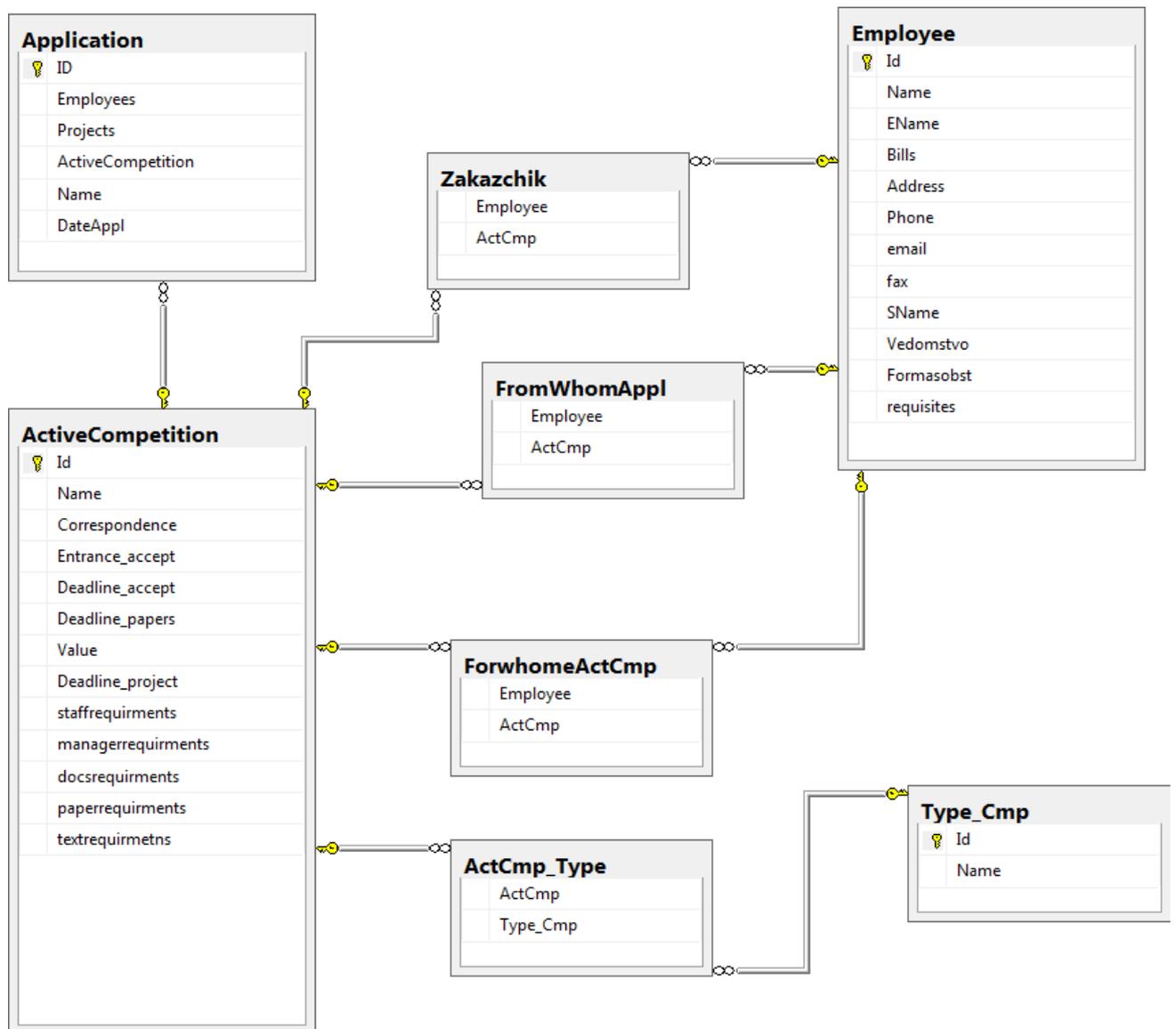


Рисунок В.5 – Структура раздела «Конкурсы» базы данных наукоемких проектов «IProjects»

Таблица В.5 – Таблица «ActiveCompetition»

№	Поле	Тип данных	Назначение
1.	[Id]	[int]	Уникальный идентификатор записи
2.	[Name]	[varchar]	Название
3.	[Correspondence]	[varchar]	Адрес для подачи заявки
4.	[Entrance_accept]	[smalldatetime]	Проект
5.	[Deadline_accept]	[smalldatetime]	Конкурс
6.	[Deadline_papers]	[smalldatetime]	Дата подачи заявки
7.	[Value]	[float]	Объем
8.	[Deadline_project]	[smalldatetime]	Срок
9.	[Staffrequirements]	[int]	Требования к штату
10.	[Managerrequirements]	[int]	Требования к руководителю
11.	[Docsrequirements]	[int]	Требования к документации
12.	[Paperrequirements]	[int]	Требования к отчету
13.	[Textrequirements]	[int]	Требования к содержанию отчета

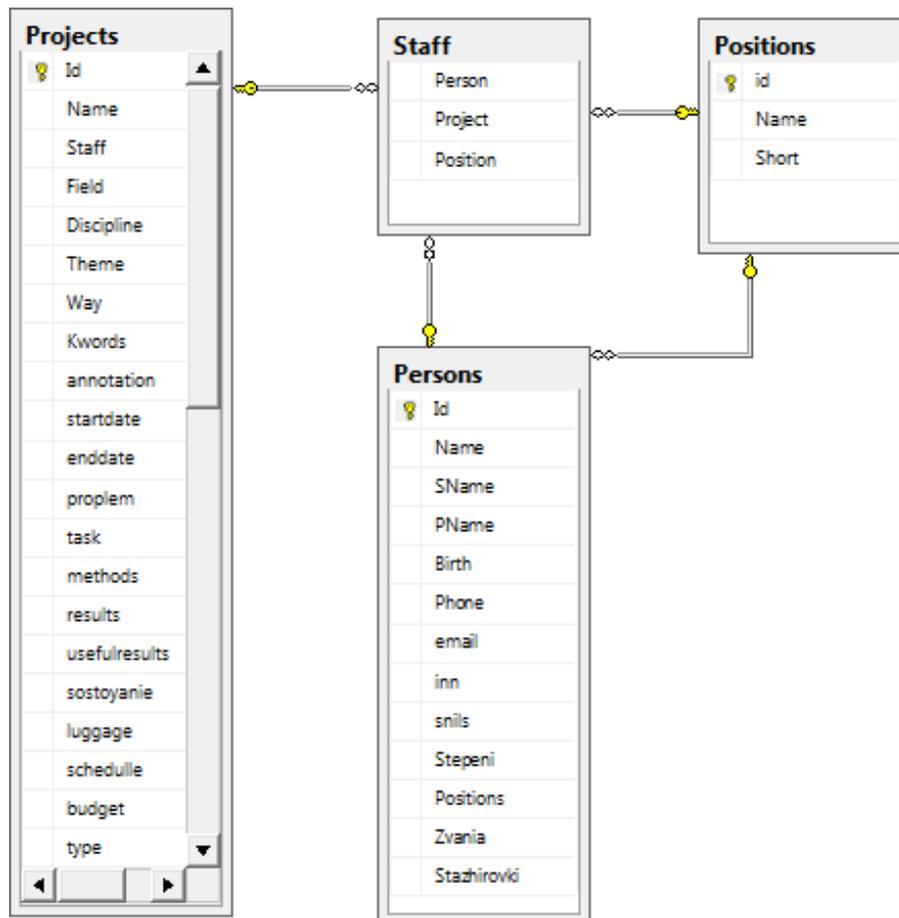


Рисунок В.6 – Структура раздела «Штат» базы данных наукоемких проектов «IProjects»

Приложение Г – Свидетельство о государственной регистрации  
базы данных

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



**СВИДЕТЕЛЬСТВО**

о государственной регистрации базы данных

**№ 2016620179**

**База данных научных проектов «IProjects»**

Правообладатель: *федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова» (RU)*

Авторы: *Горохов Максим Михайлович (RU), Переведенцев Денис Алексеевич (RU), Благодатский Григорий Александрович (RU)*

Заявка № **2015621611**

Дата поступления **15 декабря 2015 г.**

Дата государственной регистрации

в Реестре баз данных **08 февраля 2016 г.**

Руководитель Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности

 **Г.П. Ивлиев**



Приложение Д – Свидетельство о государственной регистрации  
программы для ЭВМ

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО  
о государственной регистрации программы для ЭВМ  
№ 2016615251

**Информационно-аналитическая система «UNIProject»**

Правообладатель: *федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова» (RU)*

Автор: *Переведенцев Денис Алексеевич (RU)*

Заявка № 2016612422  
Дата поступления 21 марта 2016 г.  
Дата государственной регистрации  
в Реестре программ для ЭВМ 19 мая 2016 г.

Руководитель Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности



*Г.П. Ивлиев* Г.П. Ивлиев



## Приложение Ж – Акт об использовании результатов диссертационной работы

УТВЕРЖДАЮ

Директор

**АО "УК" НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ  
ПАРК В СФЕРЕ БИОТЕХНОЛОГИЙ":**

630559, Новосибирская область, Новосибирский район, рабочий поселок Кольцово, ул.

Технопарковая, здание 8, этаж 1, ОГРН

1115476109352, ИНН/КПП 5433185985/543301001

Р/с № 40702810009750000885 в Сибирском филиале

ОАО КБ «Восточный», г. Красноярск,

К/с № 30101810100000000699 БИК 040407699

Кожевников Владимир

Николаевич/\_\_\_\_\_

«07» \_\_\_\_\_ 2018 г.

### Акт

#### об использовании результатов диссертационной работы Переведенцева Дениса Алексеевича

Настоящим подтверждаем, что результаты диссертационного исследования Переведенцева Д.А. на тему: «Разработка программно-инструментальных средств многомерного анализа баз данных перспективных научных разработок» использованы при проектировании и разработке краудфандинговой blockchain платформы с децентрализованной экспертной оценкой «ScientificCoin» с целью оптимизации процессов анализа, оценки и отбора научных и инновационных проектов.

Эффективность полученных результатов позволяет говорить об адекватности и универсальной применимости системы параметров и теоретического аппарата, заложенных в основу разработанных моделей оценки, реальным условиям расчета оценки и выбора наукоемких проектов в различных предметных областях.

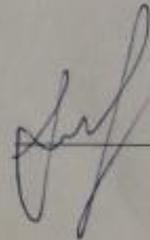
Использование указанных результатов и алгоритмов поддержки принятия решений позволило повысить эффективность комплексного анализа проектов, а также значительно сократить время на оценку и отбор перспективных проектов для финансирования.

Предполагается дальнейшее сотрудничество и использование результатов кандидатской диссертации Переведенцева Д.А. для развития алгоритмического обеспечения указанной платформы.

Директор

**АО "УК" НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ  
ПАРК В СФЕРЕ БИОТЕХНОЛОГИЙ"**



 Кожевников В.В.