

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Брянский государственный технический университет»

На правах рукописи

МИХАЛЕВА ОКСАНА АЛЕКСЕЕВНА

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ОБРАБОТКИ
РЕЗУЛЬТАТОВ ГРУППОВОГО ОЦЕНИВАНИЯ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ
СЕТЕВОЙ ЭКСПЕРТИЗОЙ В РАСПРЕДЕЛЕННОЙ СРЕДЕ

Специальность 05.13.10 – Управление в социальных и экономических системах

ДИССЕРТАЦИЯ
на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель
кандидат технических наук,
доцент Подвесовский А.Г.

Брянск 2020

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ.....	5
ГЛАВА 1. ОБЗОР И АНАЛИЗ ПРОБЛЕМ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В РАСПРЕДЕЛЕННОЙ СРЕДЕ	13
1.1. Современные тенденции поддержки принятия решений в управлении социально-экономическими системами	13
1.2. Экспертные технологии для задач принятия решений	19
1.3. Обзор математических методов процесса поддержки групповой экспертизы	24
1.4. Тенденции и направления развития информационных технологий и программных средств поддержки сетевой экспертной деятельности...	34
1.5. Обоснование необходимости создания и совершенствования математического и программного обеспечения обработки результатов оценивания для управления сетевой экспертизой	38
1.6. Выводы по главе.....	42
ГЛАВА 2. МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ И МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРТНОГО ОЦЕНИВАНИЯ В РАМКАХ ИНФОРМАЦИОННОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПОДДЕРЖКИ ГРУППОВОЙ ЭКСПЕРТИЗЫ В РАСПРЕДЕЛЕННОЙ СРЕДЕ	45
2.1. Формализация и анализ особенностей задачи группового экспертного оценивания.....	45
2.2. Информационная технология поддержки групповой экспертизы в распределенной среде.....	48
2.3. Методы оценки и повышения согласованности экспертных суждений для различных шкал оценивания с учетом компетентности экспертов	56
2.3.1. Оценка согласованности экспертных суждений	57

2.3.2. Оценка достаточности степени согласованности экспертных суждений	61
2.3.3. Алгоритм повышения согласованности экспертных суждений ..	63
2.4. Модель агрегирования экспертных суждений	66
2.4.1. Модель агрегирования для случая кардинального оценивания...	67
2.4.2. Модель агрегирования для случая ординального оценивания	68
2.5. Модель апостериорной оценки компетентности экспертов на основе фактической эффективности их работы	72
2.6. Выводы по главе.....	76
ГЛАВА 3. БИБЛИОТЕКА МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ И МЕТОДОВ ОБРАБОТКИ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРТНОГО ОЦЕНИВАНИЯ В СОСТАВЕ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В РАСПРЕДЕЛЕННОЙ СРЕДЕ	77
3.1. Описание программного комплекса поддержки принятия решений	77
3.2. Обзор функциональных требований	81
3.3. Выбор средств разработки	83
3.4. Ключевые этапы программной реализации	85
3.5. Выводы по главе.....	89
ГЛАВА 4. ТЕСТИРОВАНИЕ И АПРОБАЦИЯ БИБЛИОТЕКИ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ И МЕТОДОВ ОБРАБОТКИ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРТНОГО ОЦЕНИВАНИЯ В СОСТАВЕ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В РАСПРЕДЕЛЕННОЙ СРЕДЕ	91
4.1. Экспериментальная проверка разработанных математических моделей и методов обработки результатов групповой экспертизы	91

4.2. Исследование апостериорной динамической оценки компетентности экспертов по результатам мониторинга эффективности работы.....	96
4.3. Задача экспертного оценивания творческих и исследовательских работ в конкурсе «Взгляд в будущее 2018»	99
4.4. Выводы по главе.....	110
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	111
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	113
ПРИЛОЖЕНИЕ А. Диаграммы вариантов использования для программного комплекса поддержки принятия решений в распределенной среде....	131
ПРИЛОЖЕНИЕ В. Интерфейсы личных кабинетов пользователей для программного комплекса поддержки принятия решений в распределенной среде.....	133
ПРИЛОЖЕНИЕ С. Фрагменты исходного кода библиотеки математических моделей и методов обработки результатов экспертного оценивания .	136
ПРИЛОЖЕНИЕ D. Экспертные оценки по критериям для задачи выбора архитектуры.....	142
ПРИЛОЖЕНИЕ Е. Таблицы с результатами оценивания для задачи выбора архитектуры.....	143
ПРИЛОЖЕНИЕ F. Оценки компетентности экспертов в конкурсе «Взгляд в будущее 2018»	150
ПРИЛОЖЕНИЕ G. Документы о внедрении результатов работы.....	151

ВВЕДЕНИЕ

Современный этап развития информационного общества создает основу для возникновения и развития новых интеллектуальных информационных технологий поддержки управленческой деятельности в социальных и экономических системах. Важнейшим механизмом, реализующим одну из главных и актуальных функций управления, является принятие решений, поскольку именно решение представляет собой результат деятельности системы управления и определяет эффективность процесса управления в социальных и экономических системах.

Вместе с тем, возрастающий уровень сложности и информационной неопределенности практических задач принятия решений, принципиальная новизна таких задач и, одновременно с этим, высокая степень ответственности за результат и высокая цена неверно принятых решений – все это вынуждает лиц, принимающих решение (ЛПР), использовать в процессе подготовки и принятия решений коллективное мнение экспертов в соответствующих предметных областях. Экспертиза является важным и востребованным инструментом в подготовке и принятии решений во многих областях деятельности, включая области образования, инноваций в сферах органов государственной власти, бизнеса и населения. В создании и развитии теории и методов групповой экспертной деятельности и коллективных решений внесли большой вклад отечественные и зарубежные ученые: С.Д. Бешелев, Ф.Г. Гурвич, Б.Г. Миркин, Б.Г. Литвак, А.И. Орлов, В.Г. Тоценко, О.И. Ларичев, С.В. Микони, К.Д. Арроу, Ж.С. Борда, Ж.А. Кондорсет, А. Глор Петер, Ж. Суrowiecki.

Современный уровень развития информационно-коммуникационных технологий дает возможность организации распределенного взаимодействия экспертов между собой, а также с ЛПР и организаторами экспертиз, используя современные информационно-телекоммуникационные сети связи и, в первую очередь, Интернет. Поэтому происходит становление нового явления, называемого сетевой экспертизой, в рамках которого возникают и активно развиваются экспертные сети и сетевые экспертные сообщества. ЛПР является

внешним «заказчиком» проблемы, который использует решение в управлении всей социально-экономической системы, а эксперт выступает источником информации для принятия решения. Этот аспект определяет социальную составляющую процесса принятия решений, связанную с присутствием человеческого фактора. Таким образом, в рамках исследования с одной стороны, экспертная сеть выступает в роли организационной системы как части социально-экономической, а с другой стороны, является инструментом для поддержки принятия решений в распределенной среде с целью повышения эффективности функционирования социальных и экономических систем.

Перенесение процесса принятия решений в распределенную среду затрудняет процесс обеспечения согласованности суждений экспертов и сходимости их мнений к некоторой общей агрегированной оценке, поэтому эффективность применения традиционных методов организации экспертной деятельности и поддержки принятия решений снижается.

Также при оценивании объектов присутствует субъективная неопределенность, связанная с присутствием человеческого фактора (эксперта), и возникает необходимость ее устранения с целью повышения эффективности сетевой экспертной деятельности, что соответственно способствует повышению точности и достоверности результатов оценивания, и эффективности принимаемых решений на их основе для функционирования социально-экономических систем. Данная задача решается путем управления процессом принятия решений, в частности, управление согласованностью экспертных суждений на основе обратной связи с экспертами. Критериями эффективности при оценивании объектов, на основании работ А.Н. Райкова, Ю.В. Сидельникова, выступают: время работы экспертной группы, достоверность получаемых результатов экспертизы, требования к мобильности экспертов. Таким образом, актуальной задачей является разработка математического обеспечения, которое позволяет снизить субъективность результатов экспертного оценивания и повысить эффективность процесса принятия решений.

Вопросы, относящиеся к исследованиям в области научных основ сетевой экспертизы и информационных технологий ее поддержки, освещаются в работах отечественных и зарубежных ученых: Д.А. Новиков, А.Н. Райков, Д.А. Губанов, Н.А. Коргин, А.Н. Павлов, В.В. Вишневский, В.Г. Тоценко, В.В. Цыганок, R. C. Lacher, L. Ma, G. Miao, X. Yan, S. Tao, Y. Chen, N. Anerousis, J Zhang.

Также в настоящее время наблюдается интерес к проблемам программной поддержки экспертной деятельности в распределенной среде. Это подтверждается исследованиями ряда ведущих научных коллективов России и стран СНГ, а также появлением коммерческих программных проектов поддержки распределенной экспертизы. Вместе с тем, объем прикладных разработок в рассматриваемой области значительно отстает от объема теоретических исследований, а существующие программные решения большей частью находятся на ранних стадиях своего жизненного цикла и еще не получили широкого распространения.

Таким образом, выявлено противоречие между возможностями организации экспертной деятельности в распределенной среде и недостаточным уровнем развития существующего математического и программного обеспечения поддержки такой деятельности. Разрешение данного противоречия представляет собой актуальную научную задачу.

Объектом исследования является управление сетевой экспертизой в распределенной среде.

Предметом исследования является математическое и программное обеспечение обработки результатов группового оценивания в распределенной среде с поддержкой управления согласованностью экспертных суждений и динамической оценки компетентности экспертов.

Целью диссертационной работы является повышение эффективности управления сетевой экспертизой за счет совершенствования математического и программного обеспечения обработки результатов оценивания в рамках информационной технологии поддержки групповой экспертизы в распределенной среде.

Для достижения заданной цели необходимо решить следующие **задачи**.

1. Предложить информационную технологию поддержки групповой экспертизы в распределенной среде, с возможностью управления согласованностью экспертных суждений и динамической оценки компетентности экспертов.
2. Разработать метод повышения согласованности экспертных суждений для произвольных типов оценочных систем с учетом компетентности экспертов.
3. Предложить способ агрегирования групповых ординальных экспертных оценок с учетом компетентности экспертов.
4. Разработать модель апостериорной оценки компетентности экспертов на основе фактической эффективности его работы в группе.
5. Выполнить программную реализацию моделей и методов обработки результатов групповой экспертизы в составе программного комплекса поддержки принятия решений в распределенной среде.

Методы исследования. При выполнении работы использовались положения теории управления организационными системами, методы принятия решений, в том числе групповых, методы получения и обработки экспертной информации, методы организации сетевого взаимодействия экспертов.

Соответствие диссертации паспорту специальности. Работа соответствует следующим пунктам паспорта специальности 05.13.10 «Управление в социальных и экономических системах»:

п. 4. Разработка методов и алгоритмов решения задач управления и принятия решений в социальных и экономических системах;

п. 5. Разработка специального математического и программного обеспечения систем управления и механизмов принятия решений в социальных и экономических системах;

п. 6. Разработка и совершенствование методов получения и обработки информации для задач управления социальными и экономическими системами;

п. 12. Разработка новых информационных технологий в решении задач управления и принятия решений в социальных и экономических системах.

Научная новизна. В работе получены следующие результаты, характеризующиеся научной новизной.

1. Предложена информационная технология поддержки групповой экспертизы в распределенной среде, основанная на совместном использовании методологических основ сетевой экспертной деятельности, математического обеспечения обработки экспертной информации, и отличающаяся наличием механизмов управления согласованностью экспертных суждений и апостериорной динамической оценки компетентности экспертов (п. 12).
2. Разработан метод повышения согласованности экспертных суждений для произвольных типов оценочных систем, использующий процедуру обратной связи с экспертами и учитывающий различия в компетентности экспертов (п. 4, 5).
3. Предложен новый способ агрегирования групповых ординальных экспертных оценок с использованием модифицированной медианы Кемени, основанный на сведении оптимизационной задачи к задаче о назначениях (п. 4).
4. Разработана новая модель апостериорной оценки компетентности экспертов, особенностью которой является механизм динамического уточнения значений показателя компетентности каждого эксперта в предметной области на основе фактических данных о его работе в группе (п. 5, 6).

Теоретическая значимость состоит в развитии методов принятия решений в организационных системах за счет разработки и совершенствовании существующего математического обеспечения обработки результатов экспертного оценивания в рамках информационной технологии поддержки групповой экспертизы в распределенной среде.

Практическая значимость состоит в развитии программного обеспечения поддержки принятия решений в распределенной среде и применении предложенной информационной технологии поддержки распределенной

групповой экспертизы, а также математического обеспечения обработки ее результатов для решения практических задач. Получено 1 свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ и 1 справка о внедрении. Также результаты работы нашли применение в учебном процессе Брянского государственного технического университета при подготовке магистров по направлениям «Информатика и вычислительная техника» и «Программная инженерия» (дисциплина «Теория принятия решений»).

Основные положения, выносимые на защиту.

1. Предложенная информационная технология поддержки групповой экспертизы обеспечивает эффективную форму распределенного взаимодействия участников данного процесса и позволяет сократить общую его продолжительность.
2. Разработанный метод повышения согласованности экспертных суждений позволяют повысить среднюю согласованность результатов оценивания и уменьшить влияние случайной экспертной ошибки на итоговую согласованность.
3. Предложенный способ агрегирования групповых ординальных экспертных оценок позволяет перейти к оптимизационной задаче о назначениях, для решения которой известны эффективные алгоритмы.
4. Разработанная модель апостериорной динамической оценки компетентности экспертов обеспечивает возможность корректировки значений показателя компетентности каждого эксперта по результатам мониторинга эффективности его оценочной деятельности.

Обоснованность и достоверность результатов диссертационного исследования обеспечивается за счет корректности применения используемых в работе методов и положений, согласованности теоретических выводов с результатами их экспериментальной проверки.

Апробация работы. Основные положения и результаты диссертационного исследования докладывались и обсуждались на следующих конференциях: 2-ой международной молодежной научной конференции «Поколения будущего:

Взгляд молодых ученых» (Курск, 2013); V международной научно-практической конференции «Достижения молодых ученых в развитии инновационных процессов в экономике, науке и образовании» (Брянск, 2013); II международной конференции «Информационные технологии интеллектуальной поддержки принятия решений» (Уфа, 2014); VII международной научно-практической конференции «Менеджмент в социальных и экономических системах» (Пенза, 2015); XX международной научно-технической конференции «Информационно-вычислительные технологии и их приложения» (Пенза, 2016); I Международной научной конференции «Конвергентные когнитивно-информационные технологии» (Москва, МГУ им. М.В. Ломоносова, 2016); 2-й Международной конференции “Creativity in Intelligent Technologies & Data Science” (Волгоград, 2017).

Публикации по теме работы. Основные результаты исследований отражены в 9 научных работах, в том числе 3 опубликованы в рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК РФ, 1 – в издании, индексируемом в международных библиографических базах Scopus и Web of Science.

Личный вклад автора. Основные представленные в диссертационной работе научные результаты получены лично автором: разработан метод повышения согласованности экспертных суждений для произвольных типов оценочных систем с учетом компетентности экспертов; предложен способ агрегирования ординальных экспертных оценок; разработана модель апостериорной динамической оценки компетентности экспертов. Постановка задач, корректировка материалов, формулировка положений научной новизны, а также разработка информационной технологии поддержки групповой экспертизы в распределенной среде осуществлялись совместно с научным руководителем. Проектирование и разработка библиотеки математических методов в составе программного комплекса поддержки принятия решений в распределенной среде выполнялись совместно с Е.А. Козловым и А.А. Вершининым.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованных источников, включающего 170 наименований, и 7 приложений. Основная часть работы изложена на 130 страницах, содержит 22 рисунка и 16 таблиц.

ГЛАВА 1. ОБЗОР И АНАЛИЗ ПРОБЛЕМ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В РАСПРЕДЕЛЕННОЙ СРЕДЕ

1.1. Современные тенденции поддержки принятия решений в управлении социально-экономическими системами

Современный этап развития России характеризуется динамическими изменениями в социально-экономических системах, порожденными увеличением роли интеллектуальных технологий, сетевым взаимодействием субъектов и инновационной направленностью деятельности.

Предпосылками таких изменений послужило, с одной стороны, активно развивающиеся новые информационные технологии поддержки управленческой деятельности – сетевой тип организации власти, управления и планирования [60], с другой стороны, переход информационного общества в стадию SMART¹ («умный», «интеллектуальный») на основе развития трех направлений SMART-образование, SMART-управление и SMART-окружение [84]. Как отмечает М. Кастельс, современные информационные технологии формируют новые сетевые системы [30].

Международный конгресс SMART RUSSIA проходит ежегодно, в ноябре 2016 года при финансовом университете Правительства России прошел Третий международный конгресс SMART RUSSIA 2016, в рамках которого обсуждались вопросы развития «умной» страны («умное правительство», «умный город», «умное образование») за счет создания «умных» сред в масштабе городских агломераций.

Б.Б. Славин в работе [99] отмечает необходимость в существенном инновационном преобразовании бизнеса, образования, здравоохранения и прочих видов деятельности в государстве, в основе которого должна лежать коллективная интеллектуальная деятельность профессионалов, направленная на реализацию

¹ Specific (конкретный), Measurable (измеримый), Attainable (достижимый), Relevant (актуальный), Time-bound (ограниченный во времени) [140].

оптимального управления обществом.

Интеграция интеллектуальных возможностей человека и сетевых информационных технологий с возрастающим потенциалом экспертных сообществ становится основой модернизации современного общества. Таким перспективным сетевым информационным механизмом социально-экономического развития является технология ноосорсинг, которая обеспечивает новые пути повышения эффективности и обоснованности принятия решений путем привлечения группы (коллектива) профессионалов в распределенной среде с обязательной оценкой их компетентности. Инициаторами научно-исследовательских работ в области коллективного интеллекта является фонд Бортника [117].

Вместе с тем, проблемы управления процессами в социально-экономических системах и определение перспектив развития страны обусловили появление Указов Президента РФ № 537 от 12.05.2009 года «О Стратегии национальной безопасности Российской Федерации до 2020 года» и Указа Президента РФ № 1753 от 24 июля 2013 г. «Основы государственной политики Российской Федерации в области международной информационной безопасности на период до 2020 года». В частности, стратегия государственной политики, обозначенная в Указах Президента РФ [115], предусматривает создание системы распределенных ситуационных центров для решения задач управления, планирования и прогнозирования, а также интенсивное развитие и интернационализацию информационных и коммуникационных технологий во всех сферах человеческой деятельности. Имеющиеся тенденции современного общества изменяют приоритетность направлений развития в области управления социально-экономическими системами страны [1; 7; 26; 77; 84; 89; 100].

В работах Д.А. Новикова, В.Н. Буркова, Н.А. Коргина [6; 55] отражена главная функция управления социальными, экономическими и организационными системами - принятие решений. Центральным системообразующим элементом теории управления системами (социальной, организационной и др.) является понятие организации [55]. Именно качество принятых решений определяет

эффективность функционирования организации, в общем, и организационной структуры, в частности, [6]. Также эффективность функционирования организации зависит от механизмов управления, в частности управляющих воздействий на систему. По классификации систем междисциплинарной природы, предложенной Д.А. Новиковым, организационная система является частью социально-экономической системы, связанная с присутствием и учетом субъективного фактора, что выражается в активном влиянии человека на процесс управления. Описание технологий и процессов разработки управленческих решений можно найти в работах [3; 6: 13; 41; 42; 45; 55; 116].

При этом в настоящее время возрастает сложность и информационная неопределенность практических задач управления социально-экономическими системами, в то же время возникают принципиально новые задачи и ЛПР несет повышенную ответственность за результат принятых решений, и, как следствие, все это принуждает его, использовать в процессе подготовки управленческих решений новые подходы и технологии поддержки принятия решений.

В качестве основных факторов, обуславливающих необходимость трансформации сложившихся подходов к поддержке принятия решений в процессе управления, можно выделить следующие [20; 36; 86; 89; 90; 99; 168; 170]:

- сложность и динамичность объектов управления в социально-экономических системах;
- развитие сетевых информационных технологий (в первую очередь Интернет-технологий);
- возрастающая роль профессиональной групповой оценки в задачах принятия решений как эффективного средства управления;
- увеличение объема информации и непрерывный обмен информацией;
- гибридизация группового подхода с сетевой экспертизой;
- ускорение подготовки решений;
- рост гражданского участия в управлении;

- изменение уровня интеллектуальной составляющей процесса принятия решений;
- развитие методологии стратегического управления;
- деятельность «фабрик мыслей» и ситуационных центров.

Частными задачами принятия решений могут выступать проекты социальной, политической, экономической направленности:

- в энергетической отрасли проект Сахалин Энерджи по оценке программ социальных инвестиций модернизации острова [91];
- в управлении ЖКХ решается задача планирования капитального ремонта для удовлетворения потребностей людей и сохранения жилищного фонда региона в нормальном техническом состоянии [66;82];
- формирования стратегий управления инновационной деятельностью предприятия с применением когнитивного моделирования [25; 26];
- задача улучшения экологической ситуации на водных объектах реки Волга [83];
- прогнозирование процесса динамики научного персонала высшей квалификации как основного носителя инновационного потенциала и стратегического источника роста конкурентоспособности России на международных рынках [1];
- выбор стратегических направлений движения государства «Международная позиция России: экономические ориентиры» [2];
- формирование новых подходов к выявлению формальных метрик при проведении патентной экспертизы [39];
- квалиметрическая оценка электронных образовательных ресурсов ВУЗа [127].

В России политика государства направлена на реализацию модели инновационного развития: инновационный центр «Сколково»[145], поддержка «стартапов», Фонды развития РВК, РОСНАНО, РФТР, грантовая и инвестиционная политика, программы развития экосистемы.

Основная сложность, возникающая при построении моделей задач при управлении социально-экономическими системами, связана с тем, что преобладает в основном качественная неопределенная информация, не подлежащая формализации и структуризации [43; 93; 113], т. е. для них невозможно или весьма сложно разработать адекватную математическую модель.

В соответствии с классификацией проблем, предложенной Г. Саймоном в работе [162] задачи, связанные со сложностью, неопределённостью и многокритериальностью относятся к классу слабоструктурированных и трудноформализуемых. Следовательно, в процессе подготовки и принятия решений приходится прибегать к субъективным моделям, в основе которых лежит использование коллективного мнения экспертов в соответствующих предметных областях. Одним из наиболее эффективных подходов к решению задач управления слабоструктурированными социально-экономическими системами является методология экспертного оценивания [47; 50; 59; 95; 106; 135]. Инструментом в подготовке принятия решений выступает экспертиза, являясь предметом научных исследований и областью практической деятельности [5; 46; 63; 67; 109].

Направления дальнейшего развития экспертизы в настоящее время широко обсуждаются [11; 56; 61; 62; 80; 97; 147]. Авторы подчеркивают важность экспертного мнения для поддержки и развития инновационных проектов крупного бизнеса, при заключении масштабных контрактов в госсекторе, стратегического планирования социальных программ. Примером успешной реализации экспертизы инновационных проектов в ИТ-отрасли является экспертный совет фонда Сколково [145].

Б.Г. Миркин в работе [51] выделяет главную отличительную особенность экспертизы как процедуры измерения: «в качестве приборов выступают люди, либо потому, что сами объекты или их характеристики субъективны, либо потому, что пока просто не существует объективных приборов». Для объективизации решения применяют групповую экспертизу, обеспечивающую принятие групповых решений [44; 51; 69; 107].

Одними из первых классических работ в области теории групповых решений являются работы Б.Г. Миркина [51], В.Г. Тоценко [107]. Они заложили фундаментальные представления этой теории, которые получили развитие в других работах [4; 48; 58; 111].

При этом развитие информационно-коммуникационных технологий способствует развитию методов организации распределенного взаимодействия экспертов между собой, а также с ЛПР и организатором экспертизы, используя современные сети связи и, в первую очередь, Интернет.

Перспективным сетевым источником информации являются экспертные сети [98; 128; 133; 149]. Рассматривая предметную составляющую деятельности экспертной сети, можно сказать, что она выступает технологической основой для формирования и развития сетевых экспертных сообществ [88]. Благодаря перечисленным обстоятельствам стремительно развиваются экспертные сети и сетевые экспертные сообщества, и организуются новые формы распределенного взаимодействия участников процесса принятия решений [23; 36; 57; 64; 96; 104; 146].

Значительная роль в распределенном взаимодействии принадлежит сетевым экспертным процедурам, которые подключаются к этапам принятия решений, и, как следствие, возникла новая технология экспертного оценивания в распределенной среде – сетевая экспертиза [14], в рамках которой эксперт выступает источником информации, а ЛПР является внешним «заказчиком» проблемы. Этот аспект определяет социальную составляющую процесса принятия решений.

Таким образом, в рамках исследования, с одной стороны, экспертная сеть выступает в роли организационной системы, как части социально-экономической, в которой механизмом управления выступает сетевая экспертиза, а с другой стороны, она является инструментом для поддержки принятия решений в распределенной среде с целью повышения эффективности функционирования социальных и экономических систем. Эффективность достигается за счет повышения точности и достоверности результатов экспертного оценивания

(механизмы управления обработкой экспертной информации), и, следовательно, повышение обоснованности принимаемых решений.

Пример реализации технологии сетевой экспертизы продемонстрирован в Единой системе учета НИОКР для решения задач оценки качества и составления прогнозов успеха работ по проекту на глобальном рынке и оценке экспортного потенциала проекта НИОКР с привлечением зарубежных экспертов [81].

Как отмечает Д.О. Полетаев [77], именно в рамках экспертных сетей целесообразно оценивать инновационные идеи и сложные наукоемкие проекты по различным социально-экономическим направлениям. Фактически «моделью» группового разума выступает экспертная сеть. «Заказчик проблемы» обращается за проведением экспертизы, реализация которой его не интересует, к экспертной сети как к мега компетентному эксперту [128].

В SMART-обществе экспертная деятельность должна базироваться на применении сетевой ноосорсинговой технологии в контексте задач принятия решений, направленной на объединение компетентных экспертов и аналитиков в экспертные сети.

1.2. Экспертные технологии для задач принятия решений

Как отмечалось ранее, неотъемлемой частью процесса принятия решений являются экспертные технологии, предназначенные для получения, обработки и анализа экспертной информации [36; 48; 51; 95]. Можно говорить, что сегодня экспертные технологии является предметом научных исследований и эффективным интеллектуальным инструментом для задач принятия решений в управлении социально-экономическими системами.

Исследования авторов в работе «Доклад пяти» Ю.Н. Тюрина, Б.Г. Литвака, А.И. Орлова, Г.А. Сатарова, Д.С. Шмерлинга показали, что с развитием экспертных технологий произошел качественный скачок от отдельных механизмов интеллектуальной деятельности к целостным технологиям

интеллектуальной деятельности [59]. В частности, развитие экспертных технологий в России с научной точки зрения проанализировано в работе [59], прикладное направление технологий обсуждается в работе Б.Г. Литвака [46], который является одним из ведущих отечественных исследователей в этой области.

В силу сложности и динамичности проблем в социально-экономических системах принятие решения превращается в процесс, предполагающий предварительное выделение цели, поиск методов решения, разработку прогноза развития различных вариантов. Любой процесс принятия решения включает следующие элементы: ЛПР, цель, альтернативы, система предпочтений ЛПР, внешняя среда [13; 42]. Решение принимается с целью разрешения проблемной ситуации. Процесс разрешения проблемной ситуации состоит из следующих стадий: подготовки к принятию решения, разработки решения, принятия решения и реализации решения [45].

Наибольший эффект при принятии сложных решений на каждой из стадий процесса дает сочетание опыта, интуиции ЛПР и экспертных технологий с участием экспертов. Незаменимым, а иногда и единственным источником информации, позволяющим принять достоверное решение, является экспертная оценка [56; 58].

Центром исследований проблем экспертного оценивания в Институте проблем управления РАН является Всероссийский научно-исследовательский семинар «Экспертные оценки и анализ данных». Разработке и исследованию теории и практики экспертных оценок посвящены фундаментальные работы, Б.Г. Литвака [48], А.И. Орлова [58], Д.А. Новикова [56], Ю.В. Сидельникова [95], которые в разное время осуществляли руководство семинаром. Многочисленные исследования в теории экспертного оценивания проводились научной школой Института проблем регистрации информации НАН Украины [109; 111].

Потребности обращения к экспертной информации обширны: генерирование объектов (альтернатив, критериев, исходов), формирование долгосрочных прогнозов, выбор лучшего объекта и др.

Нельзя не отметить роль экспертных технологий в развитии инновационной фортсайт-технологии, которая раскрывает новые возможности применения экспертных технологий для улучшения качества стратегического прогнозирования социально-экономического развития регионов страны [100; 130].

Основной для развития технологии служат знания экспертов для создания «образа будущего» в долгосрочной перспективе [100]. В связи с этим целесообразно раскрыть роль экспертных технологий в процессе принятия решений [5; 12; 48; 63; 95; 112]. Описание приведено в таблице 1.

По результатам моделирования целей, предпочтений ЛПР и предварительно сгенерированных объектов формируется модель группового экспертного оценивания, которая реализует на множестве объектов получение, обработку и анализ экспертных оценок. Коллектив под руководством В.Г. Тоценко выполнил классификацию типов задач, решаемых с помощью единой технологии и единым алгоритмам обработки экспертных оценок.

Следует отметить, что на выбор алгоритма обработки экспертных оценок влияет характер получаемой информации: методы обработки количественной информации отличаются от методов обработки качественной информации [43; 47]. По содержанию информация может быть представлена в двух видах: концептуально-понятийная и оценочная [109]. В рамках процесса принятия решений используется информация второго вида.

Ко второму виду относится информация об экспертных оценках степени предпочтительности целей, критериев и альтернатив, разделённая на группы:

- экспертная оценка имеющихся объектов;
- экспертная оценка ожидаемого развития ситуации (прогноз);
- экспертная оценка определение степени сходства.

Таким образом, в основе классификации задач принятия групповых решений лежат экспертные оценки, характеризующиеся классификационными признаками: количество экспертов; количество критериев; тип оценки.

Таблица 1. Экспертные технологии на этапах процесса принятия решений

Название этапа	Задание на участие эксперта	Результат реализации этапа
Формирование целей	Определение приоритетности целей	Четкая иерархическая структура системы целей
Разработка оценочной системы	Формирование: – критериев для отбора вариантов решения; – шкалы оценки объекта; – принципов выбора для определения общей оценке объектов	Сформированная модель оценочной системы: – подсчет рейтингов; – выделения приоритетов; – для сравнительной оценки объектов
Постановка задачи	Задание: – выработка ограничений для задачи; – определение вариантов направлений управленческих воздействий; – определение множества альтернативных объектов	Конечное число направлений для решения поставленной задачи с учетом выделенных ограничений
Разработка прогноза развития проблемной ситуации	Оценка: – ожидаемого развития анализируемой ситуации; – внешних действующих условий, определяющих развитие объекта; – прогнозирование; – качества прогноза	Выявленные слабые и сильные стороны развития каждого направления
Генерирование объектов	Участие в генерации новых идей с учетом введенных ограничений, результатов анализа ситуации и прогнозирование развития ситуации для разных альтернативных ситуаций	Откорректированные списки объектов задачи
Отбор основных объектов	Отбор реальных альтернативных объектов с целью удаления неконкурентоспособных или заведомо уступающих другим	Суженное множество объектов для дальнейшей сравнительной оценки
Моделирование сценариев развития проблемной ситуации	Согласование критериев для факторов, которые используются при моделировании ситуации и их динамика	Набор приоритетов для каждого объекта задачи, с целью применения их в будущем
Экспертная оценка объектов	Кардинальное или ранговое распределение объектов	Наиболее предпочтительный вариант управленческого решения

Классификация типов задач экспертного оценивания (рисунок 1). Каждой стрелке соответствует задача определенного вида экспертного оценивания. Конкретный вид оценки определяется в ходе диалога с экспертами и ЛПР.

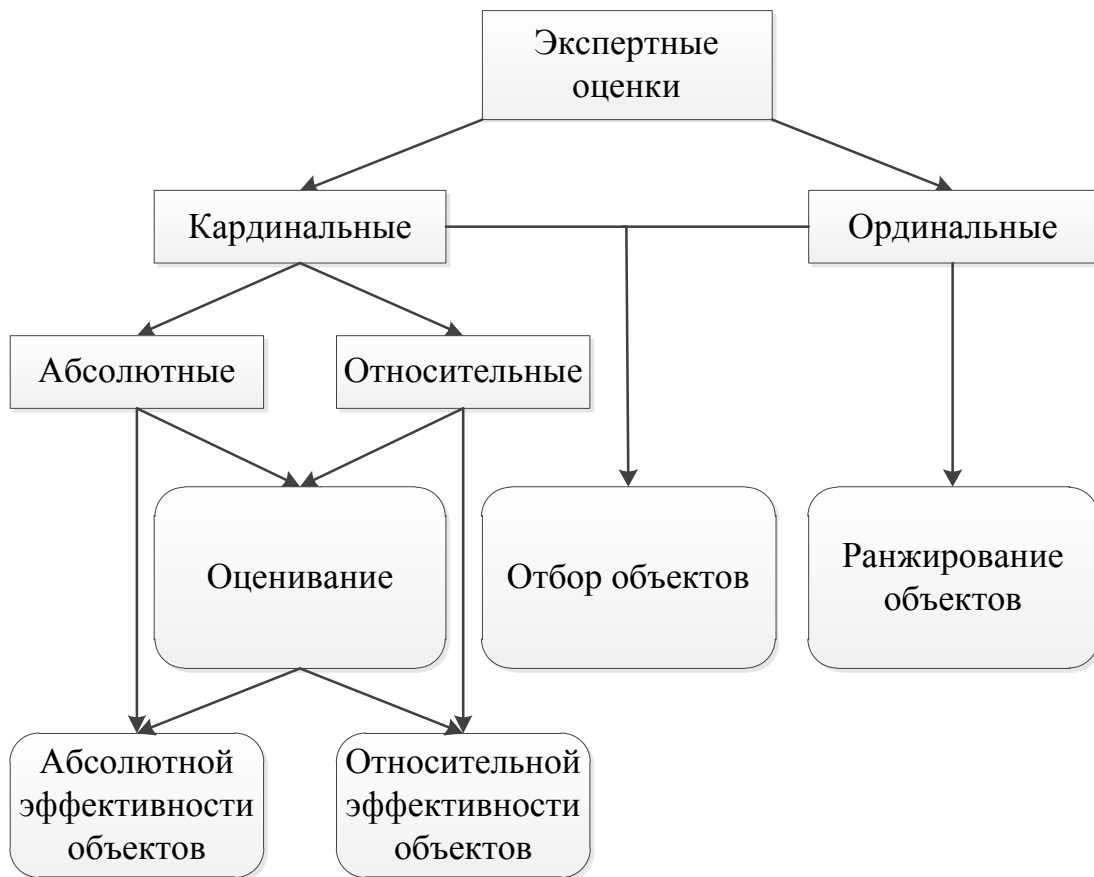


Рисунок 1. Типы задач поддержки групповой экспертизы (источник: [109])

Таким образом, для решения актуальных задач управления социально-экономическими системами, которые вкладываются в классификацию типов задач экспертного оценивания, требуется разработка новых методов организации экспертной деятельности, учитывающих особенности получения и обработки информации в условиях распределенного взаимодействия участников процесса принятия решений.

1.3. Обзор математических методов процесса поддержки групповой экспертизы

Задача многокритериального экспертного оценивания может быть сведена к однокритериальной задаче оценивания по каждому из критериев с учетом их приоритетности [108]. Для получения группового решения задачи на заданном множестве критериев используется дополнительная информация об относительной приоритетности (важности) независимых критериев, и задача решается в два этапа.

1. Получение группового решения по каждому из критериев.
2. Получение итогового группового решения с учетом относительной важности критериев с применением некоторого решающего правила [108].

Технологии группового экспертного оценивания объединяют достаточно широкий класс математических моделей и методов, отличающихся типом экспертных оценок, видом зависимости между оценками экспертов, способом агрегирования оценок.

Опираясь на работы [4; 50; 58; 85; 95; 107], можно выделить задачи, решение которых должна обеспечивать технология групповой экспертизы. Задачи предлагается представить схематически в виде типового алгоритма процесса поддержки групповой экспертизы (рисунок 2).

Этап 1. Формирование экспертной группы, формализация данных о компетентности экспертов.

Задача отбора экспертов является одной из наиболее сложных в процессе принятия решений. В работе [95] отмечается, что проблемы формирования экспертных групп назрели давно, но их решение еще до сих пор не найдено.

В качестве перспективного исследования в задаче поиска экспертов стало использование алгоритмов семантического поиска (разработка АйТи и ВШЭ) по компетенциям в экспертной сети [54; 151]. Поиск экспертов с 2005 года становится официальным заданием в исследовании корпоративного поиска

Enterprise track, представленного в серии международных конференций TREC [164; 169].

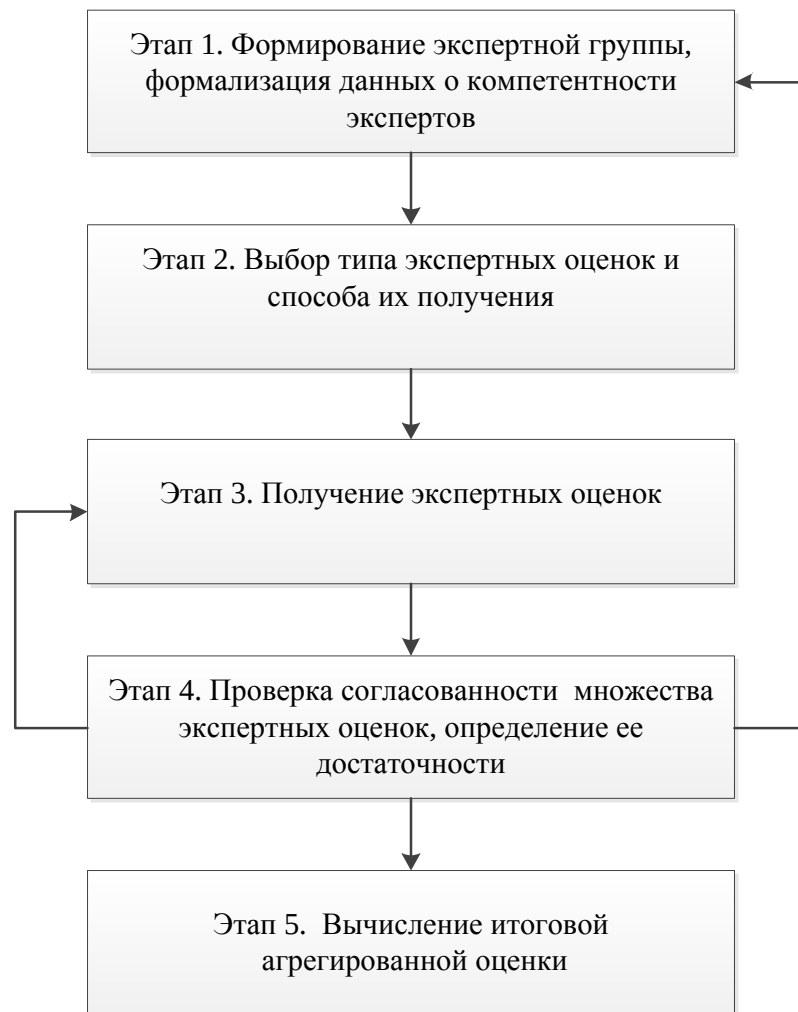


Рисунок 2. Типовой алгоритм поддержки групповой экспертизы

Для решения задачи отбора экспертов в группу могут быть использованы методы «снежного кома» [58], назначения и последовательных рекомендаций [95], информационного поиска [54], поиска в экспертных сетях [150], тестирования [38].

Стоит отдельно выделить проблему определения количественного состава экспертной группы [5]. Увеличение количества экспертов в группе усложняет процесс достижения согласованности экспертных суждений, в то время как уменьшение влечет за собой недостоверность принимаемого группового решения. Численный состав экспертной группы можно определить с помощью

модифицированного варианта вероятностного подхода, предложенным В.М. Постниковым [78]. Рекомендуемое количество экспертов в экспертной группе должно быть не меньше числа оцениваемых объектов (7 ± 2 [120]), но не больше 10-15 [85].

Задачу подбора кандидатов в эксперты для решения задачи оценивания в конкретной предметной области помогают решить реестры экспертов. В реестрах хранятся апостериорные оценки компетентности экспертов, которые привлекались раньше для подобной работы. Способам формирования группы и отбора экспертов в группу посвящены работы [4; 14; 59; 80].

При этом следует различать группы двух типов. К первому типу относятся группы, создаваемые для решения одной проблемы. Различие компетентности членов таких групп обусловлено уровнем профессиональной подготовки в данной проблеме и опытом членов группы по ее решению.

Ко второму типу относятся группы, действующие на постоянной основе, например, сетевые экспертные сообщества. Характерной особенностью деятельности подобных групп является обширный диапазон задач, по которым принимаются групповые решения. При этом эксперт может быть компетентным специалистом в разных предметных областях, и оценка его компетентности будет отличаться по предметным областям.

Для получения оценок компетентности экспертов разработаны методы, которые по характеру используемой информации можно разделить на три группы [48], выделив, таким образом, три различных подхода: априорный, тестовый, апостериорный. В работах [78; 124; 125; 148], авторы дополнили выделенные подходы применением интегрального показателя оценки компетентности (рисунок 3).

Основным недостатком априорных методов оценки компетентности является их невысокая достоверность, что можно рассматривать как следствие неточности, противоречивости и субъективности обрабатываемой информации.

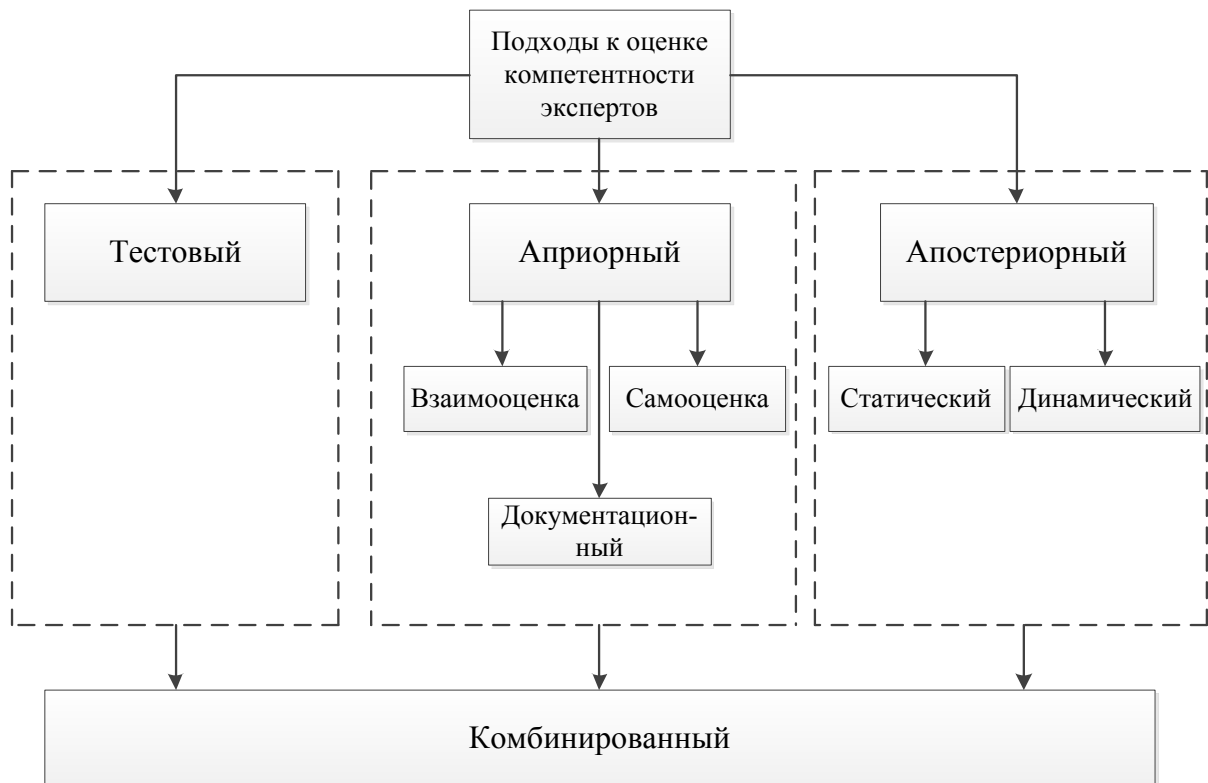


Рисунок 3. Подходы к оценке компетентности экспертов

Вместе с тем, априорная информация о компетентности экспертов часто бывает единственно доступной, и, кроме того, полученные на ее основе оценки часто выступают в качестве начального приближения для апостериорных методов. Отличительной особенностью методов апостериорного подхода по сравнению с методами априорного и тестового подходов является их применение уже в процессе принятия групповых решений, основываясь на результатах обработки экспертной информации в предшествовавших экспертизах.

Но, несмотря на существенные преимущества методов данного подхода, его недостатком является не учет изменений оценки компетентности экспертов со временем, в результате чего она может устареть.

В работах [22; 70] представлен метод динамической оценки компетентности экспертов, основанный на сигмоидальной функции. В рамках этого метода исследуется эффективность оценочной деятельности эксперта в данной предметной области через анализ согласованности множества экспертных оценок, оказывающая непосредственное влияние на его коэффициент относительной

компетентности.

Этап 2. Выбор типа экспертных оценок и способа их получения.

Рассмотренная в разделе 1.2 классификация экспертных оценок позволяет выделить два подхода к групповому экспертному оцениванию:

- ординальный подход обеспечивает ранжирование объектов;
- кардинальный подход обеспечивает определения количественных показателей абсолютной либо относительной значимости объектов.

При кардинальном подходе к экспертному оцениванию индивидуальные оценки объектов могут быть получены одним из двух способов:

- при оценке объектов по количественному критерию (в этом случае получаем абсолютные оценки);
- при сравнении объектов по качественному критерию с получением относительных оценок степени выраженности соответствующего свойства.

В последнем случае широко применяются методы парных сравнений.

При ординальном подходе к экспертному оцениванию индивидуальные оценки объектов могут быть получены при ранжировании объектов каждым экспертом.

Этап 3. Получение экспертных оценок.

Необходимым условием возможности оценивания объектов и получения для каждого имеющегося объекта вектора его индивидуальных экспертных оценок является процедура формализации экспертных оценок, которая состоит в представлении оценок: 1) множеством непосредственных численных оценок; 2) множеством индивидуальных ранжирований; 3) индивидуальными матрицами парных сравнений.

Этап 4. Проверка согласованности множества экспертных оценок, определение ее достаточности.

На основе анализа работ [4; 5; 33; 50; 79; 107] предложена классификация подходов к оценке согласованности экспертных суждений (рисунок 4).

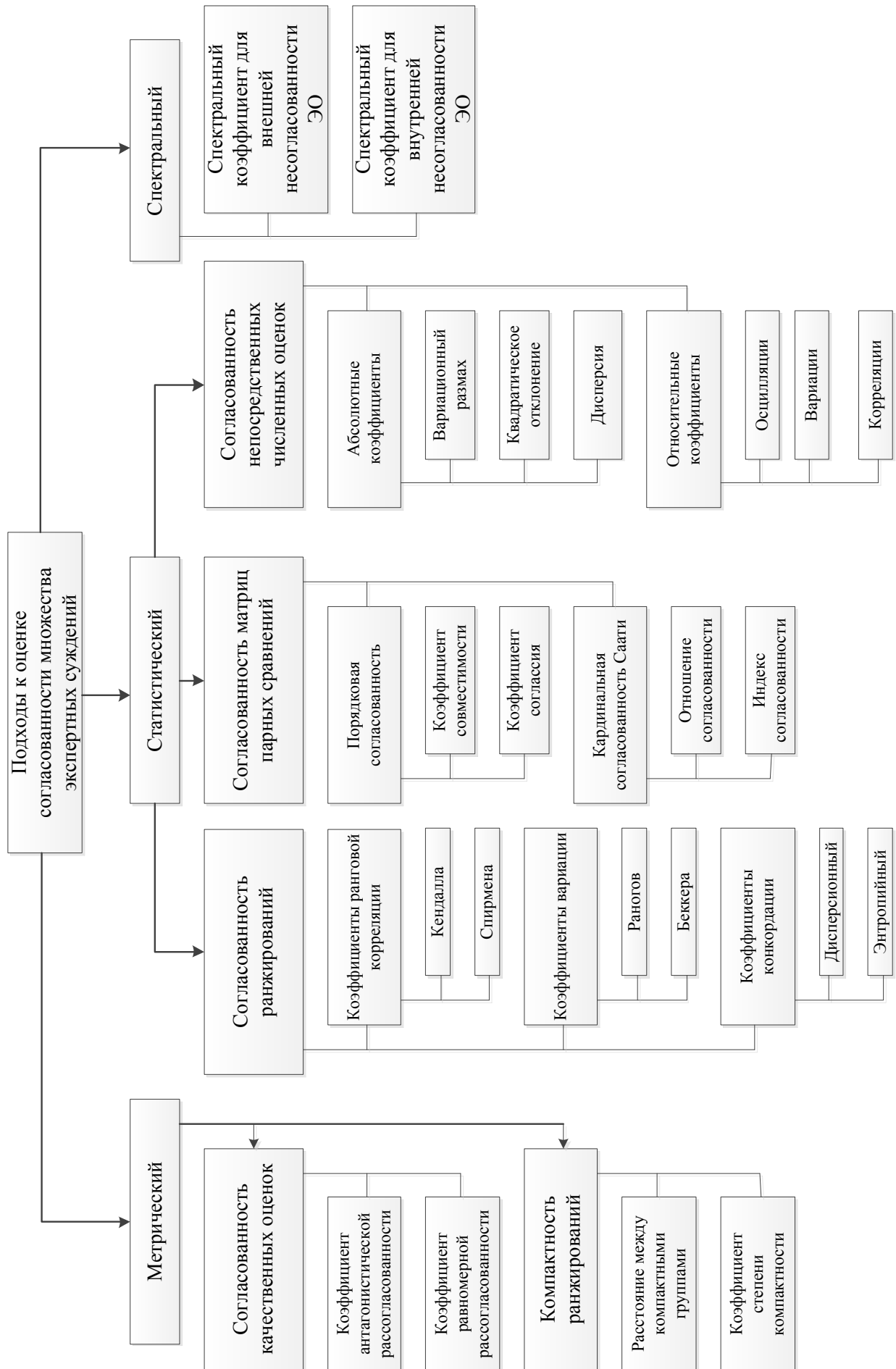


Рисунок 4. Классификация подходов к оценке согласованности экспертных суждений

Статистический подход основан на представлении экспертных оценок как реализации случайной величины и допускает применение к ним методов математической статистики [4; 107; 119]. Наиболее проработанными и известными методами выделенного подхода является согласованность ранжирований объектов. Для определения согласованности ординальных оценок объектов используются следующие показатели: коэффициент ранговой корреляции Кендалла [33], коэффициент конкордации [33], коэффициент вариации рангов [4].

Важное требование, предъявляемое к методам оценки согласованности экспертных суждений – это учет компетентности экспертов. Именно невыполнение данного требования является существенным недостатком коэффициентов вариации, ранговой корреляции и конкордации.

Модификация коэффициентов ранговой корреляции и конкордации, предложенная В.Г. Тоценко, позволяет учитывать компетентность экспертов [105] и использовать обратную связь с ними [103; 122].

Для анализа согласованности непосредственных численных оценок объектов принято использовать абсолютные и относительные статистические показатели [4]. Одним из недостатков статистического подхода к оценке согласованности является то, что гипотеза о равномерности распределения экспертных оценок не подтверждается [107]. Это обусловлено влиянием психофизиологических факторов, таких как опыт, интуиция, настроение и т.п. Другой недостаток связан с заданием пороговых значений меры степени согласованности экспертных оценок, что делает некорректным его использование.

Среди работ, посвященных этим вопросам, можно выделить работы В. Г. Тоценко [103; 105], С.В. Каденко [27; 28], В.В. Цыганка [122; 123], В.М. Постникова [79]. В работе [105] разработаны алгоритмы вычисления пороговых значений коэффициентов согласованности: порогов обнаружения и применения. В основе подхода, предложенного в работе [103], лежит применение процедуры повышения согласованности путем повторного обращения к экспертам. В общем случае оба метода дополняют друг друга.

Спектральный подход ориентирован на работу с кардинальными абсолютными и относительными оценками. В последнем случае широко применяются методы парных сравнений, общая идея которых описана в работах [21; 33; 34; 37; 50; 65; 87; 121]. На основе спектрального подхода разработаны методы количественной оценки степени внутренней согласованности матриц парных сравнений с учетом относительной компетентности экспертов, а также механизм повышения согласованности данного множества на основе организации обратной связи с экспертами: «линия», «треугольник» и «квадрат» [165; 166].

Следует отметить, что отсутствие согласованности экспертных суждений может быть связано с разделением экспертной группы на коалиции, внутри каждой из которых полная согласованность мнений экспертов. Подобную связь поможет выявить использование метрических методов оценки согласованности [5; 50]. Метрический подход к оценке согласованности основывается на понятии степени компактности экспертных оценок и предполагает в качестве меры близости между оценками использовать расстояние в пространстве экспертных оценок.

Этап 5. Вычисление итоговой агрегированной оценки.

Целью данного этапа является получение итоговой агрегированной экспертной оценки значимости объектов. Среди методов агрегирования экспертных оценок, в работе [50] автор выделил два подхода по принципам, положенным в их основу, мажоритарный и усредняющий. Классификация методов выделенных подходов предложена на рисунке 5.

Мажоритарный подход предполагает реализацию принципа «да» – «нет» и является основой методов агрегирования предпочтений ординальных оценок, при которых ранжирование объектов происходит в соответствии с числом поданных за них голосов.

Проблема определения итоговых ранжирований рассматривалась еще в XVIII веке французскими математиками Кондорсе [136] и Борда [134]. Каждый из них предложил свой собственный метод агрегирования индивидуальных ранжирований.

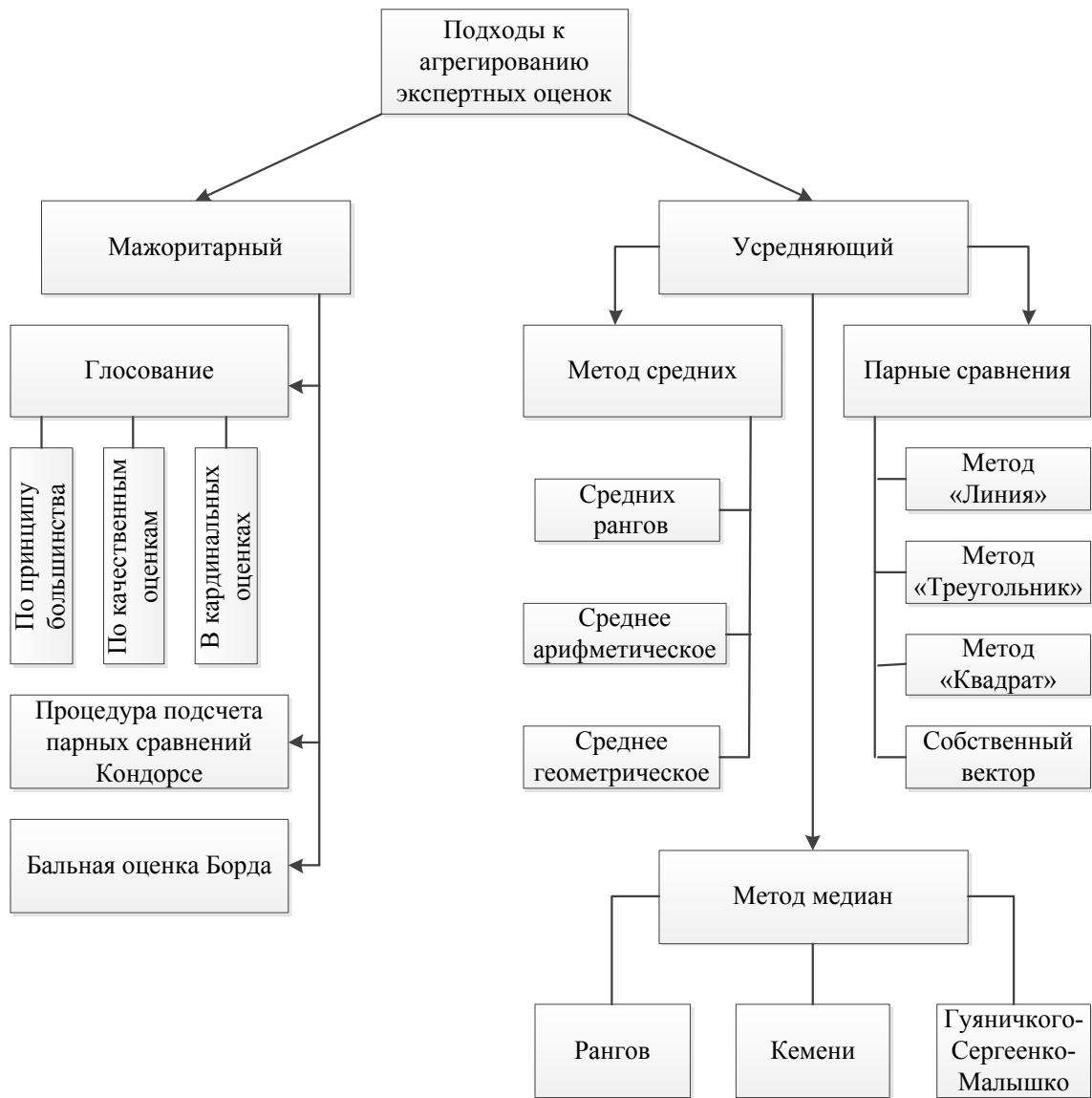


Рисунок 5. Классификация методов агрегирования экспертных оценок

Усредняющий подход основан на обработке множества экспертных оценок с использованием мер близости – аналога расстояния между оценками разных экспертов. Корректность вычисления среднего определяется соответствием операции вычисления средней оценки и шкалы, в которой получены экспертные оценки. Допустимой операцией над экспертными оценками, полученными в шкалах: абсолютной, отношений и интервалов, является среднее арифметическое или среднее геометрическое [48; 58].

Для повышения достоверности принимаемых решений итоговую групповую экспертную оценку определяют как среднее взвешенное, причем взвешивание

осуществляется за счет учета коэффициентов относительной компетентности экспертов [17; 108; 120].

Анализ результатов эксперимента в работе [49] показал, что среднее арифметическое слабее реагирует на взвешивание, чем среднее геометрическое. Таким образом, для принятия решения на основе вычисления групповой оценки типа среднее арифметическое привлекается меньшее количество экспертов.

Для представления ординальных оценок, отражающих лишь порядок объектов в ряду предпочтений по некоторому критерию, используется порядковая шкала. Разрешенными в этой шкале являются монотонные преобразования, не допускающие арифметической операции сложения. По этой причине для ординальных и бальных оценок оказывается некорректным вычисление среднего арифметического и среднего геометрического, и используется другой математический инструментарий, в основе которого лежит понятие расстояния как меры близости между ранжированиями. При таком подходе корректными операциями для определения результирующих экспертных оценок в порядковой шкале являются операции, основанные на использовании медиан.

Метод определения итогового ранжирования, предложенный Дж. Кемени [32], является одним из наиболее корректных для получения итогового группового ранжирования, удовлетворяющий принципу выбора Кондорсе, не приводя к парадоксу, и условиям корректного группового выбора 2-5, сформулированным Эрроу [132]. Альтернативой медиане Кемени является метрика Гуляницкого-Малышко-Сергиенко. Метрика основана на использовании расстояния в пространстве нестрогих ранжирований и позволяет учесть компетентность экспертов [16; 17].

Таким образом, этап заканчивается получением итоговой агрегированной оценки, являющейся решением задачи. Сформированное решение передается ЛПР для дальнейшего анализа.

1.4. Тенденции и направления развития информационных технологий и программных средств поддержки сетевой экспертной деятельности

Теория экспертных оценок в условиях территориально-распределенной работы участников процесса принятия решений начала свое развитие в XXI веке. На основе работ в этой области формируется и активно развивается технология сетевой экспертизы, связанная с работой экспертов в распределенной среде. Работы А.Н. Райкова, Д.А. Новикова [14; 80], А.Н. Павлова [62; 63] стали фундаментальными в этой области.

Однако, 2011 год стал переломной точкой в развитии зарубежных экспертных сетей. В это время произошел инсайдерский скандал с участием члена экспертной сети Guidepoint Global [92; 98]. Скандал, согласно статистическим данным, спровоцировал падение рынка экспертных услуг на 30%, и доверие к экспертным сетям упало. Несмотря на кризис доверия к экспертным сетям, после 2011 года, по данным Integrity Research Association, активно стали проходить процессы возрождения сетей. Б.Б. Славин, занимающийся исследованием экспертных сетей, выделил типы экспертных сетей (таблица 2).

Таблица 2. Классификация зарубежных экспертных сетей

Тип экспертной сети	Общего профиля	Сеть судебных экспертов	Отраслевые
Пример экспертной сети	GLGResearch	Technical Advisory Service for Attorneys	Aristotle Circle
	Guidepoint Global		
	Askvisory	Thomson Reuters Expert Witness Services	VeriMed
	Maven		
	CognoLink	Round Table Group,	
Сфера экспертизы	Все направления деятельности (коммуникационная площадка)	Судебные экспертизы в области финансов, коммерческой деятельности, медицине, образовании и др.	Отрасль деятельности (образование, медицина и др.)
География экспертов	Транснациональная	Пределы одной страны	Пределы одной страны

Например, сервисная платформа Experfy [138] является альянсом консалтинговой и обучающей платформы Experfy с сетью аудиторских компаний Deloitte. Это сотрудничество позволяет накапливать аналитические и интеллектуальные возможности Deloitte с помощью пула экспертов Experfy и обеспечивать принятие решений, как для предприятий, так и для индивидуальных клиентов.

П.И. Гугунова и А.М. Кашевник в работе [15] по обзору исследований в области экспертных сетей, провели сравнительный анализ технологий экспертных сетей различных типов и на основании результатов анализа представили сценарии взаимодействия ЛПР и экспертов посредством экспертных сетей.

Как можно видеть, экспертная сеть выступает технологической площадкой для организации профессиональных сообществ в решении слабоформализуемых интеллектуальных задач в бизнесе и государстве [99; 133; 149]. Таким образом, экспертная сеть является организацией, аккумулирующей потенциал экспертов в работе органов власти, управления и образования, инвестиционных фондов, коммерческих предприятий с целью повышения эффективности функционирования социально-экономических систем.

Формирование экспертных сетей в России в настоящее время представляет собой актуальную задачу для инновационного рынка. Еще в 2014 г. на семинаре, прошедшем в офисе РВК, обсуждались проблемы государственного регулирования деятельности экспертов, имеющиеся практические основы для создания сетевых экспертных сообществ [88] и положения о правилах проведения и организации экспертизы [57]. Примером развития института сетевой экспертизы в России служит Экспертный совет при Правительстве РФ. Важно отметить, что сегодня российские ученые активно занимаются исследованиями в области распределенного взаимодействия участников процесса принятия решений, и в частности сетевой экспертизы.

Отметим, что с точки зрения управления, экспертная сеть является организационной системой междисциплинарной природы, в которой

управляемыми субъектами выступают эксперты [6]. По мнению ряда авторов работ [97; 128; 167; 170] экспертные сети используют технологию посткраудсорсинга без потери возможностей современных технологий массовых коммуникаций.

Сравнивая социальные и экспертные сети между собой, можно выделить, отличительные особенности экспертных сетей: использование возможностей краудсорсинга для принятия решений; оценка компетентности экспертов и их рейтингование; наличие взаимных обязательств; оплата труда экспертов; мотивированность экспертов; прозрачность деятельности.

Стоит также отдельно выделить проблему развития программного обеспечения поддержки принятия групповых решений в распределенной среде. Выделенная проблема входит в число приоритетных направлений исследований как ведущих научных коллективов России, так и стран СНГ, среди которых следует отметить в первую очередь научную школу Института проблем управления РАН под руководством А.Н. Райкова и Д.А. Новикова (например, [24; 36]), научную школу Российской академии народного хозяйства и государственной службы при президенте РФ (в частности, работы А.Н. Павлова, например, [63]), научную школу Института проблем регистрации информации НАН Украины (например, [104]) и ряд других. Исследования направлены на развитие как математического аппарата поддержки принятия решений, в том числе сетевой экспертизы [104], так и программного обеспечения поддержки данных видов деятельности [14; 57; 64; 81; 101; 129; 144]. Со стороны органов государственной власти в настоящее время поддерживается много и коммерческих решений в области поддержки сетевой экспертной деятельности, к примеру, универсальная сервисная платформа UniSample, программные решения группы компаний «Ай- Ти» и др.

Обзор отечественных разработок в области экспертных сетей позволил выделить следующие экспертные сети для поддержки принятия решений.

1. Федеральная экспертная сеть «Клуб Регионов» [35] была разработана как дискуссионная площадка по вопросам политического управления страной

в режиме «post factum». В роли эксперта может выступать специалист любой предметной области.

2. «Кремль.орг» [68] – интерактивная коммуникационная площадка по вопросам государственного управления. Экспертное сообщество является интеллектуальным ресурсом, обеспечивающим «новое качество профессиональной экспертизы в России» по актуальным вопросам в подготовке государственных решений, политических и социально-экономических программ. Тем самым интегрируя в себе функций Task-менеджера и социальной интерактивной сети. Проект «Кремль.орг» получил государственную поддержку на самом высоком уровне.

3. «Экспертно-аналитическая система «Архидока» [81; 101] Данная система обеспечивает поддержку экспертного присутствия в принятии государственных, муниципальных и корпоративных управленческих решений, стратегий, программ. Поддерживает репутацию экспертов, участвующих в решении. В системе используется технологию “Just-in-Time” и “Just-in-Place”.

4. Экспертная платформа EXPINET.ru, созданная при совместном участии компании АйТи и финансировании фонда Бортника создана [141].

Платформа является экспериментальной в области использования технологии коллективного интеллекта и построена на принципах посткраудсорсинга. Отличительной особенностью этой платформы является групповая деятельность экспертов, определяющая суммарный IQ сообщества [140]. Экспертное участие в сети ограничено степенью компетентности экспертов и предусматривает взаимные обязательства.

Платформа EXPINET.ru позволяет проводить:

- поиск экспертов алгоритмами семантического анализа;
- рейтинг экспертов по предметным компетенциям;
- экспертизы, с применением метода анализа иерархий.

Б.Б. Славин отмечает, что «технология организации деятельности экспертного сообщества в рамках сетевых коллективных коммуникаций получила

название посткраудсорсинговой технологии, которую мы и стремимся реализовать, запуская инновационный проект – экспертную сеть EXPINET» [140]. EXPINET.ru связывает сообщества ИТ-экспертов.

5. Универсальная сервисная платформа UniSampel [94] – «конструктор» для моделирования экспертиз. Автор Д.Б. Киселев. Платформа обеспечивает автоматизированное проведения экспертизы в предметных областях профессиональной деятельности (маркетинг, инновации, телекоммуникации, и др.) и имеет интерфейс в виде веб-страниц в произвольном браузере с архитектурой «клиент-сервер». Сервис использует процедуру анкетирования экспертов в соответствии с выбранной оценочной шкалой, поддерживая автоматизацию процесса.

6. СППР «Солон-3» [40]. Система реализует оценку проектов по критерию распределения ограниченных ресурсов с использованием индивидуальных матриц парных сравнение. Предусмотрено распределенное взаимодействие экспертов и администратора в сети Интернет.

Проведенный анализ рынка программных продуктов поддержки экспертной деятельности в распределенной среде позволяет сделать вывод о том, что информационные технологии для сетей еще не имеет стандартов, а архитектурные решения находится в стадии обсуждения. Вследствие чего возникает необходимость в развитии программных средств автоматической обработки информации, реализуемых через сервер [57; 64; 110].

1.5. Обоснование необходимости создания и совершенствования математического и программного обеспечения обработки результатов оценивания для управления сетевой экспертизой

В контексте управления сетевой экспертизой важно различать внешнее и внутреннее управление. Для внешнего управления сетевая экспертиза является инструментом для поддержки принятия решений в распределенной среде с целью повышения эффективности функционирования социально-экономических систем.

В контур управления входят ЛПР, как внешний «заказчик» проблемы, экспертный ресурс, сетевые экспертные процедуры, обратная связь между управляемой системой и управляемыми субъектами. ЛПР принимает решение в рамках всей социально-экономической системой. Другой не менее важной задачей управления является контролируемость всего процесса принятия решений через протокол работы с экспертами.

Внутреннее управление заключается в том, что с помощью созданного инструментария (математического и программного обеспечения обработки результатов экспертизы) происходит управление сетевой экспертизой на основе работы с экспертами с целью повышения согласованности экспертных суждений и сходимости их мнений к общей оценке. Другая задача управления связана с определением апостериорной динамической оценки компетентности экспертов и заключается в повышении достоверности информации о компетентности экспертов, именно учитывая опыт работы в экспертной сети. На рисунке 6 представлена структура управления экспертной сетью. Пунктирными линиями показаны потоки управления. Экспертная сеть и выделяемые из нее экспертные группы, для решения задач в социально-экономических системах, является организационной системой.

Важнейшим механизмом, реализующим одну из главных функций управления, является принятие решений, поскольку именно решение является результатом деятельности системы управления и определяет эффективность процесса управления в социальных и экономических системах.

Традиционная форма организации экспертного оценивания и обработки экспертных суждений заключается в аккумуляции информации в «одной комнате».



Рисунок 6. Управление экспертной сетью как организационной системой

Однако в распределенной среде возникают определенные ограничения и связанные с ними проблемы: обособленность экспертов друг от друга затрудняет процесс согласованности экспертных суждений и сходимости их мнений к общей итоговой оценке; не совпадение рабочих графиков экспертов требует распределения времени проведения экспертного оценивания; полная автоматизация процесса принятия решений требует разработки математического аппарата поддержки групповой экспертизы в распределенной среде. Поэтому классические методы организации групповой экспертизы становятся не результативными, и возникает необходимость в разработке новых подходов, учитывающих особенности получения и обработки информации в распределенной среде.

В частности, требуют развития и совершенствования подходы для решения следующих задач:

- организации экспертизы в условиях распределенного взаимодействия участников процесса принятия решений;
- повышения согласованности экспертных суждений;
- учета компетентности экспертов в процессе оценивания.

При этом особое внимание уделяется повышению согласованности экспертных суждений, в основе которого лежит процедура обратной связи с экспертами с помощью сетевых запросов. Вместе с тем, обязательным условием является учет компетентности экспертов. Как можно видеть, постоянная работа эксперта в сети позволяет проводить мониторинг эффективности его деятельности при решении задач.

Вместе с тем, сравнительный анализ программных платформ поддержки сетевой экспертизы позволяет сделать вывод, что, несмотря на достаточно большой спектр выполняемых функций, большинство из них ориентированы на коммуникационную и дискуссионную составляющую сетевой экспертной деятельности и практически не уделяется внимание поддержке оценочной и аналитической составляющих данного вида деятельности (таблица 3).

Несмотря на активные исследования и большое число публикаций, в настоящее время программные решения в области сетевой групповой экспертизы все еще находятся в начальной стадии своего жизненного цикла и не получили широкого распространения.

Выявленные недостатки обуславливают наличие противоречия между возможностями организации экспертной деятельности в распределенной среде и недостаточным уровнем развития и совершенствования существующих математических моделей и методов поддержки групповой экспертизы.

Таким образом, в рамках данной диссертационной работы необходимо развитие математического и программного обеспечения поддержки сетевой экспертизы в распределенной среде.

Таблица 3. Сравнительный анализ программных платформ сетевой экспертизы

Критерии для платформ	Клуб Регионов	Кремль. орг	EXPINET	Архидока	UniSample	Солон-3
Методическая подготовка организаторов экспертизы	✗	✓	✓	✓	✓	✓
Взаимные обязательства	✗	✗	✓	✓	✗	✓
Технология ноосорсинг	✗	✗	✓	✓	✓	✓
Алгоритмы поиска экспертов по предметным областям	✗	✗	✓	✓	✗	✓
Методы оценки согласованности экспертов	✗	✗	✗	✓	✗	✓
Рейтингование экспертов	✗	✗	✓	✓	✗	✗
Метод динамической оценки компетентности экспертов	✗	✗	✗	✗	✗	✗

1.6. Выводы по главе

Результаты, описанные в данной главе, показали, что современные тенденции развития информационных технологий оказывают существенное

влияние на управление социально-экономическими системами. Все большую актуальность приобретает территориально-распределенная деятельность участников процесса принятия решений, в рамках которой возникают и активно развиваются экспертные сети и сетевые экспертные сообщества.

Интерес для поддержки экспертной деятельности в распределенной среде представляет совершенствование математического аппарата принятия групповых решений, который развивает методы теории управления.

При этом требуют рассмотрения следующие задачи: формирование экспертной группы, выбор способа получения оценок, оценка компетентности экспертов и ее учет в модели оценивания, оценка согласованности экспертных суждений, определение результирующей согласованной оценки. Отдельно стоит выделить задачи оценки компетентности экспертов и согласованности экспертных суждений. Показано, что подходы, имеющиеся к решению выделенных задач, не учитывают распределенный характер взаимодействия экспертов, ЛПР и прочих участников процесса принятия решений.

Математический аппарат принятия групповых решений недостаточно приспособлен к использованию в условиях распределенной среды и требуется разработка нового математического обеспечения обработки результатов экспертного оценивания.

Анализ рынка программных продуктов позволяет сделать вывод о том, информационные технологии и программные средства поддержки принятия решений неразвиты для их использования в распределенной среде.

С учетом сказанного, в качестве объекта исследования выступает управление сетевой экспертизой в распределенной среде, а предметом исследования является математическое и программное обеспечение обработки результатов группового оценивания в распределенной среде с поддержкой управления согласованностью экспертных суждений и динамической оценки компетентности экспертов.

Целью данной диссертационной работы является повышение эффективности управления сетевой экспертизой за счет совершенствования

математического и программного обеспечения обработки результатов оценивания в рамках информационной технологии поддержки групповой экспертизы в распределенной среде.

Для достижения заданной цели необходимо решить следующие задачи:

- предложить информационную технологию поддержки групповой экспертизы в распределенной среде, с возможностью управления согласованностью экспертных суждений и динамической оценки компетентности экспертов;
- разработать метод повышения согласованности экспертных оценок для произвольных типов оценочных систем с учетом компетентности экспертов;
- предложить способ агрегирования ординальных экспертных оценок с учетом компетентности экспертов;
- разработать модель апостериорной оценки компетентности экспертов на основе фактической эффективности его работы в группе;
- выполнить программную реализацию моделей и методов обработки результатов групповой экспертизы в составе программного комплекса поддержки принятия решений в распределенной среде.

ГЛАВА 2. МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ И МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРТНОГО ОЦЕНИВАНИЯ В РАМКАХ ИНФОРМАЦИОННОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПОДДЕРЖКИ ГРУППОВОЙ ЭКСПЕРТИЗЫ В РАСПРЕДЕЛЕННОЙ СРЕДЕ

Материалы главы опубликованы в работах [52; 71; 72; 73].

2.1. Формализация и анализ особенностей задачи группового экспертного оценивания

В разделе 1.2 было выделено несколько типов задач экспертного оценивания. Рассматривая задачу группового экспертного оценивания объектов, необходимо обратить внимание на следующие свойства данной задачи.

- Участниками процесса принятия решений являются ЛПР, эксперты, аналитик, координатор, главный менеджер и администратор. Важно отметить, что под распределенным взаимодействием участников понимается как территориальное, так временное распределение.
- Задачи принятия решений, относящиеся к разным предметным областям, могут быть решены в рамках одной экспертной сети.
- Учет компетентности экспертов является важным и необходимым требованием в задаче оценивания. Компетентность эксперта должна соответствовать предметной области решаемой задачи.
- Для представления экспертных суждений может быть использован произвольный тип оценочной шкалы.
- Объектами экспертного оценивания могут выступать: альтернативы, исходы, критерии, риски и др.
- Результатом решения задачи может быть ранжирование объектов с учетом предпочтений ЛПР, выделение лучшего объекта или распределение объектов по классам решений в соответствии с условием.

Обобщив выделенные свойства и закономерности, построим концептуальную модель задачи группового экспертного оценивания в распределенной среде. Пусть $U = \{U_1, U_2, \dots, U_p\}$ – множество предметных областей, $E = \{E_1, E_2, \dots, E_q\}$ – множество (пул) экспертов. Каждый эксперт E_s характеризуется показателем w_{sk} компетентности в предметной области U_k ($s = 1, 2, \dots, q; k = 1, 2, \dots, p$). Таким образом, формируется матрица компетентности экспертов $W = \|w_{sk}\|$, каждая строка которой $W_s = (w_{s1}, w_{s2}, \dots, w_{sk})$ определяет профиль компетентности эксперта E_s , а каждый столбец $W^k = (w_{1k}, w_{2k}, \dots, w_{qk})^T$ определяет профиль «покрытия» предметной области U_k знаниями экспертов [52].

В соответствии с формальным представлением, концептуальная модель задачи имеет вид [73]:

$$\langle T, P, X, K, F, H, C; X^* \rangle, \quad (1)$$

где T – тип задачи (отбор, ранжирование или оценка); $P \subset U$ – подмножество предметных областей задачи; $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ – множество объектов экспертного оценивания (в роли которых могут выступать альтернативы, исходы, сценарии развития, риски и др.); K – критерий, на основании которого осуществляется отбор, ранжирование или оценка объектов; F – дополнительная информация, зависящая от типа задачи (задается в форме ограничений, связанных с параметрами процедуры оценивания); $H = \{H_1, H_2, \dots, H_m\} \subset E$ – множество экспертов, отобранных для решения задачи; C – формализованная информация, представленная в виде набора степеней относительной компетентности экспертов в контексте решаемой задачи X^* – итоговое решение задачи.

Стоит заметить, что формализованная информация C может иметь более сложную форму представления, отличающуюся от приведенной выше.

В задаче отбора дополнительная информация F задается в форме ограничений $F = \langle l_{\min}, l_{\max} \rangle$, где $l_{\min}$ – нижняя граница числа отбираемых

объектов, $l_{\max}$ – верхняя граница числа отбираемых объектов. При этом справедливо следующее условие $0 < l_{\min} < l_{\max} < n$.

Задача количественного оценивания допускает следующую форму записи ограничений: $F = \langle v, v_{\min}, v_{\max} \rangle$, где v – числовой показатель, значения которого оцениваются, $v_{\min}$ – нижняя граница области значений, $v_{\max}$ – верхняя граница области значений.

В разделе 1.3 был представлен типовой алгоритм экспертного оценивания и выделены задачи, решение которых должна обеспечить технология групповой экспертизы. Следует отметить, что при разработке информационной технологии поддержки принятия групповых решений важное значение имеет учет условий работы группы, ее состава, а также компетентности ее членов. Если не учитывать различия в компетентности экспертов, то это может привести к тому, что принимаемое решение не будет отвечать требованиям непротиворечивости и состоятельности. Поэтому возникла необходимость добавить задачу оценки компетентности экспертов.

Принимая во внимания, что экспертную сеть можно представить как сообщество экспертов, длительно работающих вместе, то появляется возможность динамической оценки компетентности экспертов. Помимо этого, важно иметь в виду, что согласованность суждений, полученных от экспертов, играет ключевую роль при решении вопроса о том, достаточна ли она, чтобы использовать множество экспертных суждений для вычисления общей итоговой оценки. В этом контексте необходимо предусмотреть меры, направленные на повышение согласности.

С учетом вышесказанного, концептуальная модель (1) является базовой моделью для построения информационных моделей задачи группового экспертного оценивания. Здесь актуальным направлением является разработка информационной технологии поддержки групповой экспертизы в распределенной среде.

2.2. Информационная технология поддержки групповой экспертизы в распределенной среде

Процесс принятия решения включает не только процедуры оценивания объектов экспертами. Процесс начинается с постановки задачи, которую делает ЛПР на основе имеющейся проблемы и своих предпочтений, и определения предметной области задачи.

Определив предметную область задачи и ее компоненты, необходимо выбрать формализованную информацию об экспертах, зарегистрированных в экспертной сети. Полученную информацию о компетентности экспертов следует упорядочить и выделить подмножество наиболее компетентных экспертов в данной предметной области, из которого будет сформирована рабочая экспертная группа.

В рамках представленного на рисунке 2 типового алгоритма поддержки групповой экспертизы, отражающего основные ее этапы, важно предусмотреть специфику распределенной работы ЛПР и экспертов. Учитывая тот факт, что при распределенном взаимодействии экспертов затрудняется процесс достижения согласованности, следует к этапам принятия групповых решений подключать сетевые экспертные процедуры.

Одним из важных аспектов работы экспертов в экспертной сети является широкий спектр проблем принятия решений и сотрудничество на постоянной основе. Благодаря этому имеется возможность мониторинга эффективности работы экспертов при решении множества задач в соответствующих предметных областях и использование результатов мониторинга для корректировки оценок компетентности. Ввиду представленной возможности, следует отдельно выделить этап формирования апостериорных данных о задаче и работе экспертов.

В основу организации процесса группового экспертного оценивания с подключением сетевых экспертных процедур положен системный подход [31; 102]. Суть подхода заключается в представлении экспертного оценивания как процесса, состоящего из последовательности этапов и сетевых экспертных

процедур, имеющих между собой прямые и обратные связи. Прямая связь – это процесс передачи информации между этапами, и обмен информацией с экспертами. Обратная связь необходима для уточнения и изменения информации. Таким образом, процесс группового экспертного оценивания можно представить в виде алгоритма с информационными связями в условиях распределенной среды и моделями его этапов.

С учетом свойств объекта исследования, выделенных в разделе 2.1, опираясь на результаты анализа задач экспертного оценивания (раздел 1.2), и применяя принципы системного подхода, процесс поддержки групповой экспертизы в распределенной среде предлагается представить в виде технологии, схема которой приведена на рисунке 7. На схеме используются два типа линий. Так, сплошные линии отображают последовательность реализации этапов и подключаемых к ним сетевых экспертных процедур, а также необходимые итерации. Штриховые линии отражают направление передачи информации от экспертов. Подробно опишем этапы информационной технологии поддержки групповой экспертизы в распределенной среде.

Этап 1. Формирование экспертной группы.

Выполнение данного этапа начинается с целевого обращения к экспертному сообществу для отбора экспертов, обладающих требуемой компетентностью в данной предметной области. При выборе состава экспертной группы требуется решить следующие подзадачи:

- выбор количества участников для решения задачи конкретной предметной области;
- формирование списка кандидатов в эксперты;
- сужение списка кандидатов и формирование итогового состава экспертной группы относительно их компетентности;
- оценка относительной компетентности экспертов.

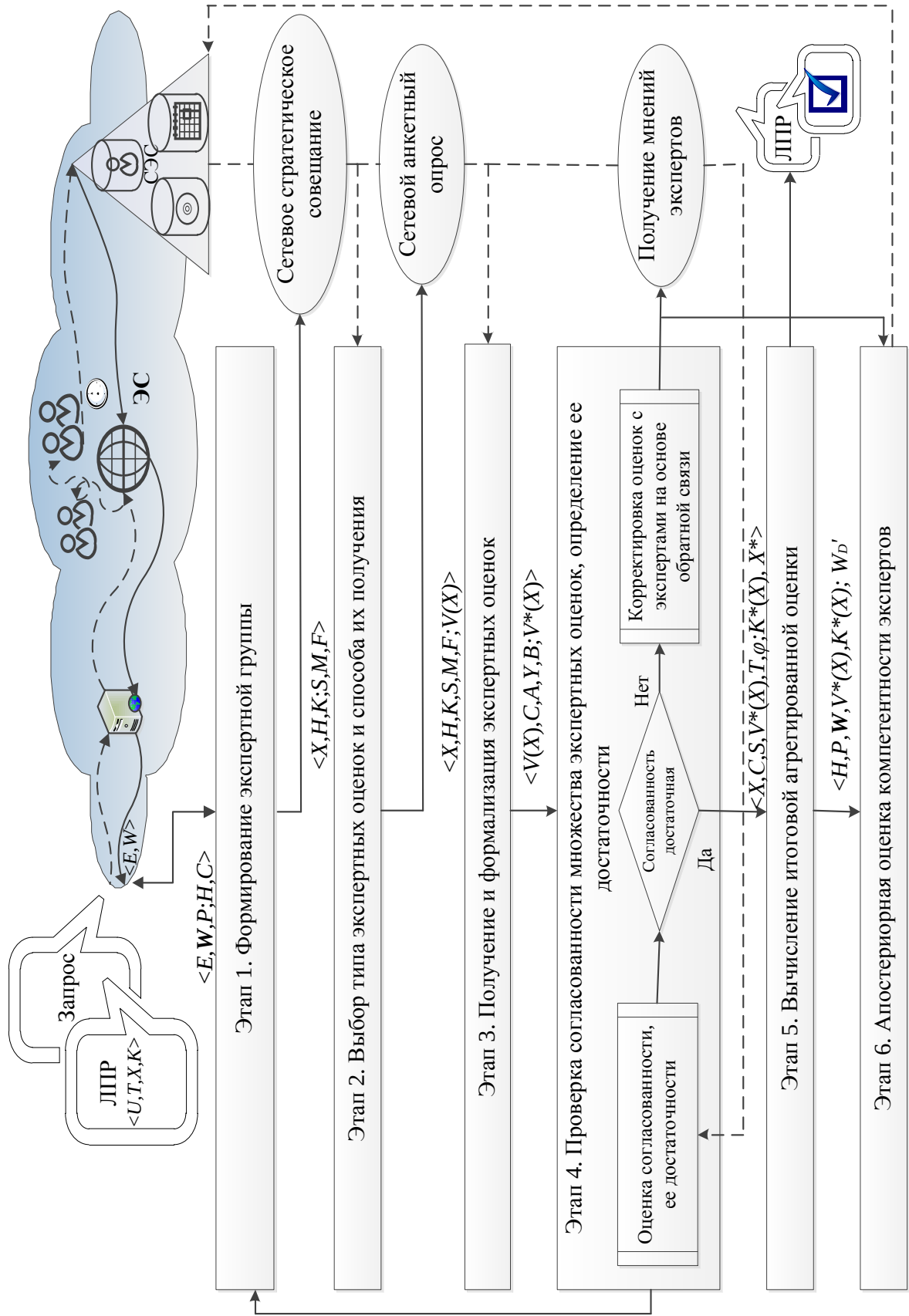


Рисунок 7. Информационная технология поддержки групповой экспертизы в распределенной среде

Любая из подзадач имеет существенное влияние на результат работы группы. Так, снижение численности экспертов допускает некорректность получения итоговой агрегированной оценки, а повышение – затрудняет сходимость экспертных суждений к общей оценке.

Экспертная сеть является ресурсом в формировании группы экспертов. Начальные оценки компетентности экспертов в заданной предметной области P определяются априорными или тестовыми методами путем целевого запроса к экспертной сети. Если существует информация о работе экспертов в базах данных, то применяются апостериорные методы оценки их компетентности. Данные об экспертах анализируются, и в соответствии с этим присваивается ранг каждому эксперту. Временной аспект может накладывать ограничения на возможное участие эксперта в решении задачи, поэтому необходима организация сетевого анкетного опроса.

Информационная модель этапа имеет вид:

$$\langle E, W, P; H, C \rangle. \quad (2)$$

В общей концептуальной модели (1) имеется описание компонент E, W, P, H, C . Введем формальное представление информации C , заданной в виде набора степеней относительной компетентности экспертов:

$$C = \{c_1, c_2, \dots, c_m\}; c_i > 0; \sum_{i=1}^m c_i = 1; c_i = w_i / \sum_{i=1}^m w_i,$$

где w_i – показатель компетентности экспертов H_i в предметной области P ($i = 1, 2, \dots, m$); m – численность экспертной группы.

Этап заканчивается проведением сетевого стратегического совещания, цель которого – информационное обеспечение последующих этапов.

Этап 2. Выбор типа экспертных оценок и способа их получения.

Результатом проведения сетевого совещания является выбор типа экспертной оценки и разработка оценочной системы. Данный этап является информационной основой этапа 3. Информационная модель этапа с учетом (1), представлена в виде:

$$\langle X, H, K; S, M, F \rangle, \quad (3)$$

где S - шкала для представления оценок по критерию; M – алгоритм получения и формализации экспертных оценок.

Этап 3. Получение и формализация экспертных оценок.

Задача этапа заключается в переходе от описания множества объектов и критериев их оценки к множеству наборов формализованных индивидуальных оценок объектов $V(X) = \{V_i(X) \mid i = 1, 2, \dots, m\}$ по критерию K .

Информационная модель этапа с учетом (3), представлена следующим образом:

$$\langle X, H, K, S, M, F; V(X) \rangle. \quad (4)$$

Различимы наборы экспертных оценок в зависимости от типа используемых оценок. Соответственно, при ординальном типе оценивания набор $V_i(X)$ представлен множеством индивидуальных ранжирований:

$$V_i(X) = R_1, R_2, \dots, R_m = \{r_{ij}\} (i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n), \quad (5)$$

где r_{ij} – ранг, присвоенный i -м экспертом объекту x_j ;

при кардинальном абсолютном оценивании – множеством числовых оценок:

$$V_i(X) = W_1, W_2, \dots, W_m = \{w_{ij}\} (i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n), \quad (6)$$

где w_{ij} – числовая оценка, присвоенная i -м экспертом объекту x_j ;

при кардинальном относительном оценивании – индивидуальными матрицами парных сравнений:

$$V_i(X) = D_1, D_2, \dots, D_m = \{d_{jk}^i\}, \quad (7)$$

где d_{jk}^i – оценка степени превосходства объекта x_j над x_k по критерию K , присвоенная i -м экспертом.

Расширение множества объектов X каждый раз предполагает выполнение процедура оценивания объектов.

Этап 4. Проверка согласованности множества экспертных оценок, определение ее достаточности.

Данный этап предполагает решение следующих подзадач:

- выбор и применение метода оценки согласованности множества экспертных оценок $V(X)$;
- применение критерия оценки достаточности согласованности;
- выполнение процедуры обратной связи с экспертами с целью повышения согласованности множества $V(X)$.

Методы оценки и повышения согласованности экспертных суждений должны учитывать информацию о компетентности экспертов. В процессе повышения согласованности множества экспертных оценок $V(X)$ может быть получен один из следующих результатов [52]:

- 1) множество не удалось согласовать, и группа экспертов подлежит замене;
- 2) изначально множество было не согласованным, но его удалось согласовать за счет пересмотра некоторыми экспертами своих оценок;
- 3) множество было согласовано изначально.

Подключенная сетевая экспертная процедура реализует механизм обратной связи с экспертами.

Информационная модель этапа представлена следующим образом:

$$\langle V(X), C, A, Y, B; V^*(X) \rangle, \quad (8)$$

где A – алгоритм определения оценки согласованности множества $V(X)$ с учетом информации C о компетентности экспертов; Y – критерий оценки достаточности согласованности, B – алгоритм организации обратной связи с экспертами; $V^*(X)$ – множество согласованных экспертных оценок.

Этап 5. Вычисление итоговой агрегированной оценки.

Основной целью этапа является получение результата решения задачи, выраженного в виде итоговой агрегированной оценки, зависящей от ее типа. Вычисление агрегированной оценки содержит следующие шаги:

- выбор метода агрегации, позволяющий учитывать компетентность экспертов;
- выбор агрегирующей функции φ для ее применения к согласованному множеству оценок $V^*(X)$;

- выделение допустимых преобразований и операций над экспертными оценками.

На данном этапе завершается процесс экспертного оценивания, и задача приобретает статус «задача решена». Она сохраняется в хранилище данных и при необходимости может быть использована повторно.

Таким образом, информационная модель данного этапа имеет вид:

$$\langle X, C, S, V^*(X), T, \varphi; K^*(X), X^* \rangle, \quad (9)$$

где $K^*(X) = \{K^*(x_1), K^*(x_2), \dots, K^*(x_n)\}$ – набор итоговых агрегированных оценок объектов множества X , X^* – итоговое решение задачи, зависящее от ее типа.

В частности, для задачи отбора X^* представляет собой подмножество объектов, отобранных для дальнейшего анализа; для задачи ранжирования – список элементов исходного множества X , упорядоченный по предпочтительности; для задачи оценивания X^* совпадает с множеством итоговых оценок $K^*(X)$.

Этап 6. Апостериорная оценка компетентности экспертов.

На завершающем этапе информационной технологии поддержки групповой экспертизы происходит динамическая оценка компетентности экспертов по результатам их работы (экспертное оценивание объектов) на постоянной основе в составе экспертного сообщества. Компетентность экспертов оценивается на основе фактической эффективности их работы в контексте решаемой задачи. Показатель эффективности работы зависит от частоты случаев совпадения индивидуальной экспертной оценки с общей агрегированной оценкой. Так как группа работает на постоянной основе, то возможно отследить динамику повышения или понижения эффективности работы эксперта в группе, и уже на основе полученной информации провести корректировку значений компетентности экспертов.

Таким образом, информационная модель этапа имеет вид:

$$\langle H, P, W, V^*(X), K^*(X); W_D' \rangle, \quad (10)$$

где W'_D – результат корректировки матрицы компетентности экспертов W для предметной области P .

Для автоматизации разработанной информационной технологии поддержки групповой экспертизы необходима разработка и исследование математических моделей ее этапов. Проанализировав схему информационной технологии поддержки принятия решений (рисунок 7) и информационные модели этапов, можно выделить три стадии: организация экспертизы (этап 1), проведение экспертизы (этап 2-3) и обработка результатов экспертизы (этапы 4-6). В связи с этим, первые две стадии связаны с решением задачи построения процедуры проведения экспертизы, третья стадия подразумевает разработку математического обеспечения обработки результатов экспертизы. Задача организации проведения группового экспертного оценивания исследована и освещена в работах [4; 42; 48; 63; 111].

Фокус диссертационного исследования направлен на решение задачи, связанной с созданием математического обеспечения обработки результатов групповой экспертизы для ее программной поддержки.

Для решения данной задачи определен состав комплекса математических моделей и методов обработки результатов группового экспертного оценивания, содержащий в себе [71]:

- методы оценки и повышения согласованности экспертных суждений;
- модель агрегирования экспертных оценок;
- модель апостериорной динамической оценки компетентности экспертов.

Методологической основой для разработки комплекса математических моделей и методов выступает сочетание подходов теории управления социально-экономическими системами с математическим аппаратом теории группового экспертного оценивания и принятия решений. Далее в главе будет рассмотрен указанный комплекс математических моделей и методов.

2.3. Методы оценки и повышения согласованности экспертных суждений для различных шкал оценивания с учетом компетентности экспертов

В общем виде реализацию этапа оценки согласованности экспертных оценок и ее повышения можно описать следующим образом. Для множества индивидуальных оценок объектов $V(X)$ выполняется проверка согласованности экспертных суждений, в результате которой вычисляется начальное значение коэффициента согласованности $L_C(V)$. На следующем шаге устанавливается достаточность степени согласованности множества экспертных суждений с целью возможности вычисления общей итоговой оценки. Для этого введен критерий оценки достаточности согласованности, в основе которого лежат два понятия – порог обнаружения и порог применения. Значения коэффициента согласованности $L_C(V)$ сравниваются с пороговыми значениями. В случае, когда степень согласованности экспертных суждений недостаточна, но все же экспертная группа не подлежит замене, то выполняется процедура повышения согласованности на основе обратной связи с экспертами. При положительном ответе эксперта на запрос об увеличении или уменьшении своей оценки, значение коэффициента согласованности подлежит пересчету. Решение эксперта является добровольным. Процесс повышения согласованности иницируется до тех пор, пока не будет получено согласованное множество экспертных оценок, пригодное для агрегирования. Если значение согласованности не превысит определенного порогового уровня посредством обращения к экспертам всей группы, то экспертная группа подлежит замене.

С учетом вышеизложенного, модель согласованности экспертных суждений обеспечивает оценку согласованности, проверку ее достаточности и механизм обратной связи с экспертами для повышения степени согласованности множества экспертных суждений.

2.3.1. Оценка согласованности экспертных суждений

Как отмечалось в разделе 1.3, ординальный и кардинальный подходы предполагают свои соответствующие методы оценки согласованности. Для каждого из подходов предъявляется требование учета компетентности экспертов. В данной работе будут рассмотрены ординальные и кардинальные абсолютные экспертные оценки.

В основе методов оценки согласованности используется сравнение коэффициента согласованности $L_C(V)$ с заданными пороговыми значениями: порог обнаружения и порог применения. Данные понятия введены в работах В.Г. Тоценко [105; 107]: «Порогом обнаружения T_o называется коэффициент согласованности множества экспертных оценок, содержащего минимальное количество информации (при условии равной компетентности экспертов). Порогом применения T_u называется коэффициент согласованности множества экспертных оценок, обеспечивающего вычисление агрегированной экспертной оценки с допустимой точностью» [124, с.64].

Известным методом оценки согласованности множества числовых значений вида (6) является спектральный подход, описанный в работе [107].

Получено множество экспертных оценок $W = \{w_1, w_2, \dots, w_m\}$ объекта X . Оценки w_i представлены номерами делений шкалы (p - общее число делений шкалы). Множество $W = \{w_1, w_2, \dots, w_m\}$ представлено в виде «взвешенного спектра, под которым понимается p -компонентный вектор $S = (\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_p)$, где σ_k - сумма коэффициентов относительной компетентности c_i экспертов, оценки которых представлены k -м делением шкалы» [107]. С учетом данного понятия, рассмотрим примеры конструирования взвешенного спектра в случае равной и неравной компетентности экспертов. Пусть число делений шкалы $p=10$.

Первым из рассматриваемых примеров будет конструирование спектра для оценок, полученных от пяти экспертов, имеющих одинаковую компетентность. Множество экспертных оценок $W_1 = \{2; 3; 2; 2; 3\}$ упорядоченно по номерам

экспертов. Спектр для данного множества W_1 имеет вид $S_1 = (0; 0,6; 0,4; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0)$. Спектр S_1 визуально удобно представить в виде диаграммы с осями k и σ_k , приведенной на рисунке 8.

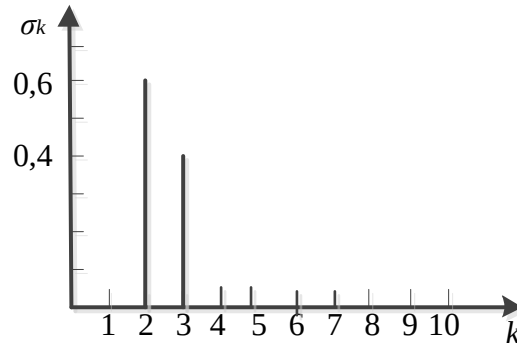


Рисунок 8. Спектр для случая экспертов одинаковой компетентности

Во втором примере имеется 6 экспертов с коэффициентами относительной компетентности $c = \{0,3; 0,25; 0,2; 0,15; 0,05; 0,05\}$. Эксперты сформировали следующее множество $W_2 = \{7; 4; 6; 3; 3; 4\}$ оценок, упорядоченное по номерам экспертов. В этом случае множество W_2 представимо спектром $S_2 = (0; 0; 0,2; 0,3; 0; 0,2; 0,3; 0; 0; 0)$. Спектр S_2 изображен на рисунке 9.

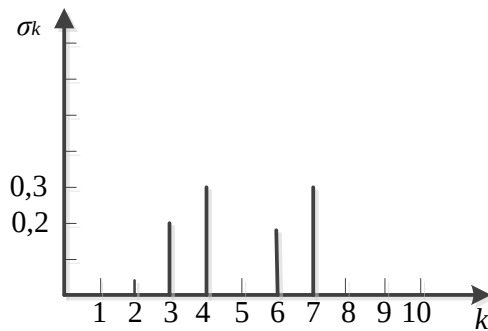


Рисунок 9. Спектр для случая экспертов разной компетентности

Формула для вычисления спектрального коэффициента согласованности:

$$K_S(W) = \left(1 - \frac{\sum_{k=1}^p \sigma_k \left| k - \sum_{k=1}^p k \sigma_k \right| - \sum_{k=1}^p \sigma_k \ln(\sigma_k)}{G \sum_{k=1}^p \left| k - \frac{p+1}{2} \right| \ln(p)} \right) z, \quad (11)$$

где $G = m / \ln(m) p \ln(p)$ – масштабный коэффициент;

$$z = \begin{cases} 1, & \text{если } z^* = TRUE; \\ 0, & \text{если } z^* = FALSE, \end{cases}$$

$$z^* = \left[\overline{k(1)=1} \right] \vee \left[\overline{k(q)=p} \right] \bigvee_{d=1}^{q-1} \left[\overline{\sigma_{k(d)} = \sigma_{k(d+1)}} \right] \bigvee_{d=1}^{q-1} \left[\overline{k(d) - k(d+1) = const} \right] \quad (12)$$

Выражение (12) представляет собой булеву функцию, которая задает необходимые и достаточные условия равенства нулю коэффициента согласованности $K_S(W)$. При этом q – количество подгрупп экспертов, давших одинаковые оценки, $k(d)$ – номер деления шкалы, соответствующего оценке, полученной от экспертов d -й подгруппы ($d = 1, \dots, q$), $\sigma_{k(d)}$ – сумма коэффициентов компетентности экспертов d -й подгруппы.

Значения $K_S(W) \in [0,1]$. Анализ формул (11) и (12) показывает, что спектральный коэффициент достигает значения 1 при полном совпадении мнений экспертов, значение 0 говорит о полной несогласованности мнений экспертов. Точнее, $K_S(W) = 0$, если:

- а) среди оценок имеются деления шкалы с минимальным и максимальным номерами (первые два дизъюнктивных члена выражения (12);
- б) сумма коэффициентов компетентности экспертов, давших каждую из оценок, одинаковая (третий дизъюнктивный член выражения (12);
- в) разности между значениями двух соседних оценок одинаковы (оценки равномерно распределены по шкале – последний дизъюнктивный член выражения (12) [107].

Значения коэффициентов согласованности для спектров S_1 и S_2 , (рисунок 8 и рисунок 9), равны: $K_{S_1}(W) = 0,811$ и $K_{S_2}(W) = 0,540$.

Следует отметить особенность спектрального подхода, которая заключается в вычислении коэффициента согласованности $K_S(W)$ (11) для отдельно взятого объекта из множества $V(X)$. Для оценки согласованности ординальных оценок, в отличие от спектра кардинальных оценок, используется одновременно все множество объектов $V(X)$.

Так, коэффициент согласованности L_C множества $V(x_j)$ выступает в качестве спектрального коэффициента согласованности $K_S(W)$:

$$L_C(V(x_j)) = K_S(W(x_j)). \quad (13)$$

Для оценки согласованности ранжирований вида (5) используются коэффициенты ранговой корреляции [33], чаще других коэффициент конкордации, так как он применим для произвольного числа оцениваемых объектов и экспертов. В работе [103] предложен способ решения задачи вычисления коэффициента конкордации множества $\{R_i\} (i=1,2,\dots,m)$ данных m экспертами разной компетентности. Суть подхода заключается в замене ранжирования R_i , эксперта H_i , на множество k_i его копий, где k_i – целое число, $c_i = \eta k_i (i=1,2,\dots,m)$, где η является НОД коэффициентов компетентности экспертов $c_i \in C$. Таким образом, поставленная выше задача заключается в вычислении коэффициента конкордации множества ранжирований $\{R_i\} (i=1,2,\dots,m)$, данных k экспертами, компетентность каждого равна η , где

$$k = \sum_{i=1}^m k_i.$$

В качестве показателя согласованности множества ранжирований будем использовать модифицированный коэффициент конкордации [103], вычисляемый с использованием следующей формулы:

$$K(R) = \frac{12}{n(n^2 - 1)} \sum_{j=1}^n \left(\frac{n+1}{2} - \sum_{i=1}^m c_i r_{ij} \right)^2. \quad (14)$$

Полной несогласованности множества ранжирований соответствует значение 0, с увеличением значения коэффициента конкордации происходит и увеличение согласованности до 1, что соответствует полной согласованности множества экспертных оценок.

Так, моделью оценки согласованности множества индивидуальных ранжирований $\{R_i\} (i=1,2,\dots,m)$ выступает модифицированный коэффициент конкордации (14):

$$L_C(V) = K(R). \quad (15)$$

2.3.2. Оценка достаточности степени согласованности экспертных суждений

Рассмотрим случаи сопоставления коэффициента согласованности $L_C(V)$ с порогами обнаружения и применения. Если

$$L_C(V) < T_o, \quad (16)$$

то множество $V(X)$ информации не содержит, и необходимо предложить всем экспертам пересмотреть данные ими оценки объектов, либо заменить экспертную группу. Если

$$T_o \leq L_C(V) < T_u, \quad (17)$$

то множество $V(X)$ содержит информацию, но степень его согласованности недостаточна для определения агрегированной оценки с приемлемой точностью, и необходимы меры, направленные на повышение согласованности. Наконец, если

$$L_C(V) \geq T_u, \quad (18)$$

то согласованность множества $V(X)$ достаточна, чтобы использовать его для вычисления итоговой агрегированной оценки.

«В качестве порога обнаружения T_o принимается коэффициент согласованности спектра S_o , содержащего минимальное количество информации (при условии равной компетентности экспертов)» [107, с. 64].

Конструирование спектра S_o , не содержащего информации, т.е. полностью несогласованного, при количестве делений шкалы $p=10$, осуществляется путем сдвига любой оценки по шкале, чтобы в результате среднее значение нового спектра отличалось от спектра S_o на одно деление шкалы. Тогда, полученный спектр будет содержать p компонентов, определенные следующим образом:

$$S_k = \begin{cases} 0, & \text{если } k = 1; \\ 2/p, & \text{если } k = 0,5 + 1; \\ 1/p, & \text{в остальных случаях.} \end{cases}$$

Рисунок 10 демонстрирует пример спектра для определения порога при количестве делений шкалы $p=10$.

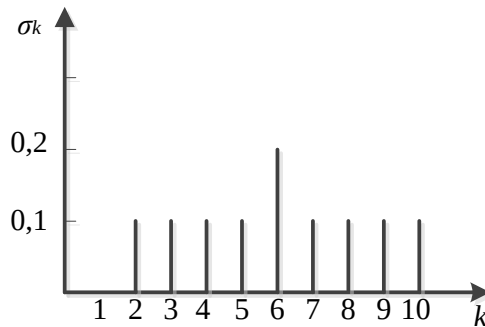


Рисунок 10. Спектр для определения порога обнаружения

«В качестве порога применения T_u принимается коэффициент согласованности множества экспертных оценок, обеспечивающего вычисление агрегированной экспертной оценки с допустимой точностью» [107, с. 64]. На рисунке 11 представлен спектр для определения T_u ($p = 10$ и $b = 1$).

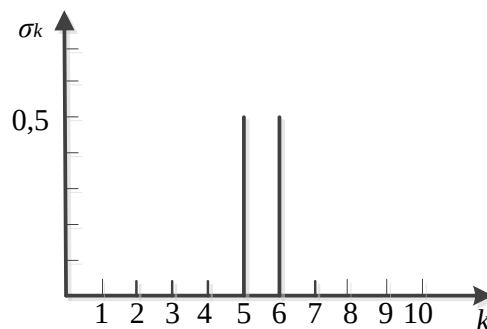


Рисунок 11. Спектр для определения порога применения

В качестве значения b выступает разница между двумя делениями шкалы, в каждом из которых содержится оценка каждого из двух экспертов, причем равнокомпетентных. По мнению В.Г. Тоценко, для повышения качества оценивания целесообразно значение b принимать равным единице. Итак, если $p=10$, то выбраны следующие деления шкалы с номерами $[0,5 * p] = 0,5 * 10 = 5$ и $[0,5 * p + 1 = 0,5 * 10 + 1]$ в качестве оценок.

По аналогии с кардинальными абсолютными оценками, коэффициент конкордации $K(R) \in [0,1]$. Конструирование подобного множества ординальных оценок, осуществляется путем перестановки двух любых объектов, имеющих

ранги, отличающиеся на единицу. Поэтому, формула для вычисления порога обнаружения экспертов имеет вид:

$$T_o = \frac{24}{m^2(n^3 - n)}. \quad (19)$$

Для формального представления понятия порога применения введем расстояние между ординальными оценками и множеством порожденных ранжирований [103].

«Расстоянием $l(R_i, R_k)$ между ранжированиями R_i, R_k называется количество перестановок объектов, имеющих в ранжировании R_j соседние ранги, которые необходимо выполнить, чтобы преобразовать ранжирование R_i в R_k . Множеством $Q(R_i, l)$ ранжирований, порожденным ранжированием R_i и расстоянием l , называется множество ранжирований, для каждого из которых расстояние до R_i равно l » [124, с. 86]. Причем, $|Q(R_j, l)| = n - l$.

С учетом описанных понятий, порог применения T_u определяется как $R_i \cup Q(R_i, l)$ т.е. объединение множества ранжирований $\{R_i\}$ ($i=1, 2, \dots, m$) n объектов и множества порожденных ранжирований $Q(R_i, l)$. Для значения l введено требование $l \leq [m/2]$, для повышения качества экспертного оценивания стоит использовать значение $l = 1$ либо $l = 2$ (для $m \geq 4$). Можно заметить, что значение порога применения T_u зависит только от величин n (число объектов оценивания) и l .

2.3.3. Алгоритм повышения согласованности экспертных суждений

Процесс повышения согласованности инициируется при выполнении условия (17). В этом случае необходимо повышение согласованности экспертных суждений на основе процедуры обратной связи с экспертами. На рисунке 12 показан алгоритм повышения согласованности.

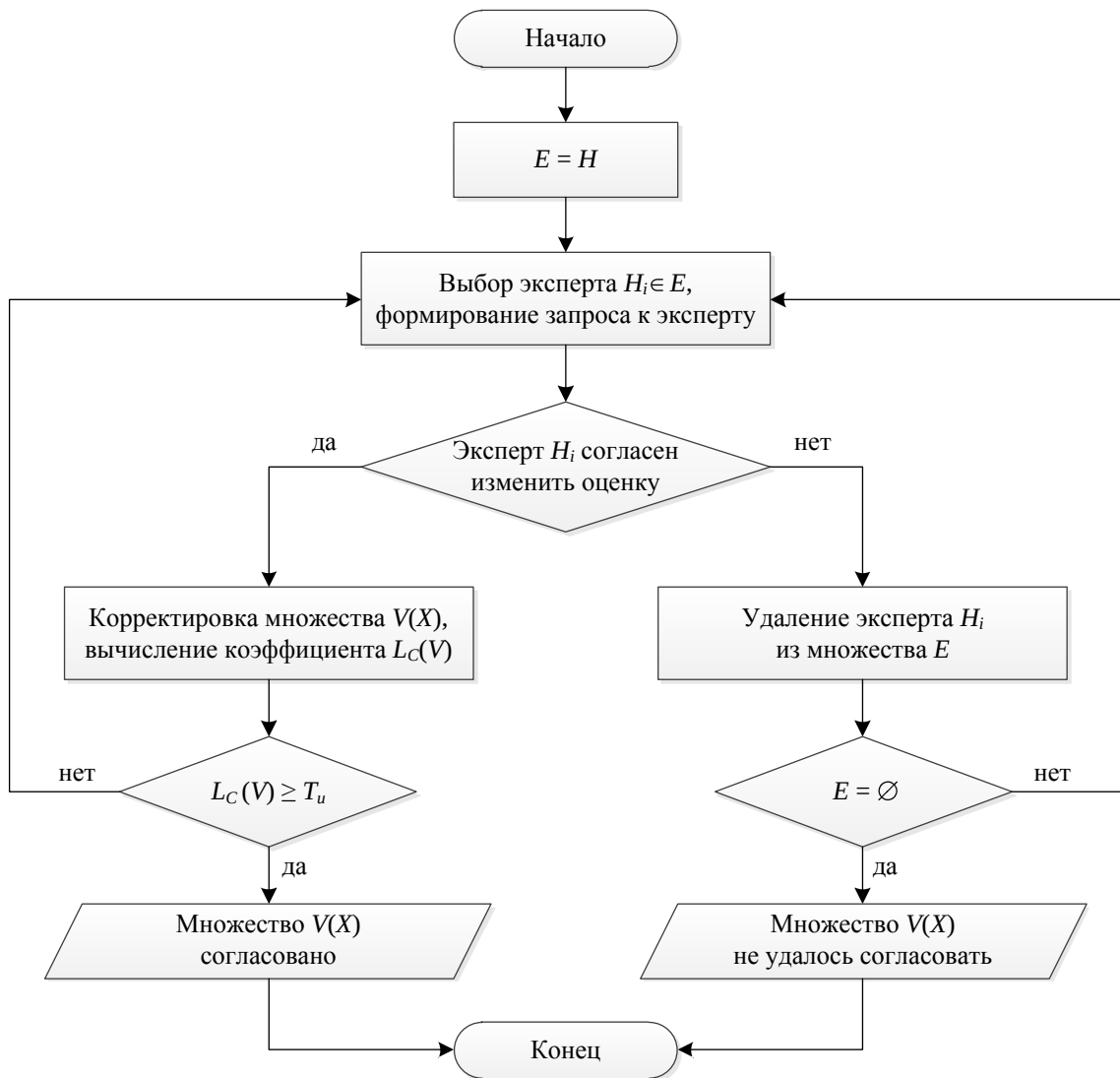


Рисунок 12. Алгоритм повышения согласованности множества экспертных оценок

Перед началом выполнения алгоритма полагаем, что множество экспертов, участвующие в оценивании, полное, т.е. $E = H$. Первым шагом является выбор эксперта $H_i \in E$ (может быть выбран любой эксперт, но чаще им оказывается эксперт с наименьшей компетентностью). После выбора эксперта, ему через запрос нужно указать направление корректировки – уменьшение или увеличение значения оценки. Главной целью здесь является повышение значения коэффициента согласованности $L_C(V)$.

Для каждого типа экспертных оценок сформированы правила выбора экспертов и формирования запросов к ним. В случае, когда эксперт добровольно

меняет данную им оценку, происходит перерасчет коэффициента согласованности для измененного множества $V(X)$, и далее выполняется проверка условий (16) – (18). Данный процесс повторяется для следующего выбранного эксперта и т.д. пока не будет достигнуто выполнение условия (18). В ситуации отказа эксперта поменять оценку, происходит его исключения из множества E .

Выделим отличительные правила выбора эксперта для ординального и кардинального типа оценок.

Для кардинального типа оценок воспользуемся подходом, описанным в работе [107]. Для множества оценок $\{w_i\}(i=1,2,...,m)$ объекта $x_j(j=1,2,...,n)$ согласно предложенной формуле $w_0 = \sum_{i=1}^m c_i w_i$, вычисляется средняя оценка и выделяется эксперт H_i , с наибольшей величиной $\delta_i = |w_i - w_0|/c_i$. Направление изменения оценки зависит от знака разности $w_i - w_0$.

Для ординальных оценок воспользуемся подходом, предложенным в [103]. Выбирается наименее компетентный эксперт в группе. Прежде чем ему адресовать запрос, формируется множество ранжирований $|Q(R_j, l)|$, содержащее $n - 1$ ранжирований путем перестановок смежных рангов объектов (т.е. ранжирование R_i заменяется на ранжирование $Q_{ik}(k=1,2,...,n-1)$). Далее для каждого $Q_{ik}(k=1,2,...,n-1)$ вычисляется модифицированный коэффициент $K(R)$ (14) и выбирается ранжирование с наибольшим значением коэффициента $K(R)$. Таким образом, запрос к эксперту H_i формируется как предложение поменять ранги соседних объектов.

Как было отмечено ранее, коэффициент согласованности экспертных суждений, а также реализация алгоритма повышения согласованности зависит от типа экспертных оценок и количества экспертов, участвующих в оценивании объектов. По этой причине перейдем к нормированной оценке значений согласованности, с целью чего введем так называемый приведенный коэффициент согласованности:

$$R_c(V) = \min \left(\max \left(0, \frac{L_c(V) - T_o}{T_u - T_o} \right), 1 \right). \quad (20)$$

Нетрудно заметить, что $R_c(V) \in [0, 1]$. Значение $R_c(V)$ показывает степень достаточности согласованности для заданного числа экспертов и заданного количества ранжируемых объектов или делений шкалы. Также приведенный коэффициент согласованности введен с целью проверки сходимости предлагаемого алгоритма повышения согласованности множества экспертных оценок (рисунок 12) на основе процедуры обратной связи с экспертами.

2.4. Модель агрегирования экспертных суждений

Завершающим этапом решения задачи экспертного оценивания объектов является получение общей итоговой оценки, являющейся решением задачи. Как было подчеркнуто ранее, основу для построения модели агрегирования экспертных оценок составляет сформированное множество согласованных экспертных оценок $V^*(X)$ для достоверности и надежности результатов агрегации.

Следуя [103], под агрегированными согласованными оценками значимости объектов по критерию будем понимать нормированные корректно вычисленные средние значения достаточно согласованных множеств ненормированных оценок значимости, данных m экспертами.

Обязательные требования, предъявляемые к построению модели агрегации оценок следующие:

- учет компетентности экспертов при вычислении агрегированной оценки;
- выбор допустимой функции агрегации для данного множества согласованных оценок $V^*(X)$;
- определение допустимости операций и преобразований над экспертными оценками, выраженных в соответствующих шкалах.

Для представления оценок, отражающих лишь порядок объектов в ряду предпочтений по некоторому критерию, используется порядковая шкала.

Примерами таких измерений является упорядочение объектов по значимости относительно выбранного критерия (например, ранжирование научных проектов по теоретической значимости). Разрешенными в этой шкале являются монотонные преобразования, не допускающие арифметической операции сложения [58].

В настоящее время имеется достаточная теоретическая база для выбора агрегирующей функции соответствующей шкалы и определения ее параметров в практических приложениях [48; 50; 51; 58].

2.4.1. Модель агрегирования для случая кардинального оценивания

В абсолютной шкале, отношений, интервалов допустимой операцией агрегирования является среднее по Колмогорову [58]. Это доказано в работах [47; 58]. Общая формула для вычисления средних по Колмогорову имеет вид [58]:

$$g(x_1, x_2, \dots, x_n) = f^{-1} \left(\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n f(x_j) \right).$$

f – непрерывная и строго монотонная функция; f^{-1} – функция, обратная к f .

Если $f(x)=x$ имеем среднее арифметическое:

$$g(x_1, x_2, \dots, x_n) = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n x_j,$$

если $f(x)=\ln(x)$ имеем среднее геометрическое:

$$g(x_1, x_2, \dots, x_n) = \left(\prod_{j=1}^n x_j \right)^{\frac{1}{n}}.$$

В работе [58], показано, что в шкале интервалов устойчиво среднее арифметическое, а в шкале отношений – среднее геометрическое.

Как было отмечено ранее, модель агрегирования должна учитывать различия в компетентности экспертов. Поэтому для агрегирования оценок используем взвешенное среднее по Колмогорову. Таким образом, математическая

модель агрегирования кардинальных оценок с учетом компетентности экспертов представлена формулами

$$w_j = \sum_{i=1}^m w_i c_i, \quad (21)$$

$$w_j = \prod_{i=1}^m w_i c_i, \quad (22)$$

где w_i – оценка, данная i -м экспертом, c_i – компетентность i -го эксперта.

В работе [49] отражены результаты, которые показывают, что для операции среднее арифметическое требуется привлечения меньшего числа экспертов, и оно слабее реагирует на взвешивание, чем среднее геометрическое.

2.4.2. Модель агрегирования для случая ординального оценивания

Проведенное в разделе 1.3 исследование способов агрегирования экспертных оценок позволило выделить методы, удовлетворяющие требованиям допустимости операций и преобразований над ординальными оценками объектов, выражаемых в соответствующих шкалах.

Первые фундаментальные методы определения итоговых оценок были предложены в работах [134; 136] и связаны с именами Борда и Кондорсе. Главный недостаток методов Борда и Кондорсе заключается в игнорировании компетентности экспертов (эксперты равнокомпетентны). Данный недостаток был решен в работе В.Г. Тоценко [108], в которой предлагается модификация методов Борда и Кондорсе. Рассмотрим подробнее предложенные модификации методов.

Модификация бальной оценки Борда [108]. В основе метода лежит подсчет суммы рангов для каждого объекта с учетом компетентности экспертов:

$$\sum_j = \sum_{i=1}^m c_i p_{ij}. \quad (23)$$

При этом используется правило: ноль баллов получает последний объект в ранжировании, один балл – предпоследний объект и т.д. Итоговое ранжирование объектов строится по убыванию $\sum_i$.

Модифицированный метод Кондорсе [108]. Строится матрица D парных сравнений, в которой элементы определены следующим образом:

$$d_{jh} = \begin{cases} 1, & \text{если } s_{jh} > s_{hj}; \\ 0, & \text{если } s_{jh} = s_{hj}; \\ -1, & \text{если } s_{jh} < s_{hj}, \end{cases} \quad (24)$$

где s_{jh} – количество индивидуальных ранжирований в которых $x_j > x_h$.

Рассмотрим два объекта x_j, x_h . Определим величину

$$w_{jh} = \sum_{i=1}^m \beta_{ihj}, \quad (25)$$

где

$$\beta_{ihj} = \begin{cases} 1, & \text{если } x_j > x_h; \\ 0, & \text{если } x_j = x_h; \\ -1, & \text{если } x_j < x_h, \end{cases} \quad (26)$$

для ранжирования r_j .

Тогда (24) с учетом (25) и (26) представим, как:

$$d_{jh} = \begin{cases} 1, & \text{если } w_{jh} > 0; \\ 0, & \text{если } w_{jh} = 0; \\ -1, & \text{если } w_{jh} < 0. \end{cases}$$

Учитывая определения коэффициента компетентности как $c_i = k_i \eta$, можем перейти к множеству ранжирований, содержащему k_i копий ранжирований r_i , в результате имеем:

$$w_{jh} = \sum_{i=1}^m k_i \beta_i h_j = 1/\eta \sum_{i=1}^m c_i \beta_i h_j.$$

Таким образом, матрица парных сравнений определяется выражением:

$$d_{jh} = \begin{cases} 1, & \text{если } \sum_{i=1}^m c_i \beta_{ihj} > 0; \\ 0, & \text{если } \sum_{i=1}^m c_i \beta_{ihj} = 0; \\ -1, & \text{если } \sum_{i=1}^m c_i \beta_{ihj} < 0. \end{cases} \quad (27)$$

Методам Борда и Кондорсе свойственен парадокс Кондорсе, заключающийся в возможности получения нетранзитивного группового предпочтения объектов. Данный парадокс нарушает выполнения аксиом Эрроу [47].

Дж. Кемени в работе [32] предложил использовать медиану как меру близости между ранжированиями. Метод лишен парадокса Кондорсе, но не учитывает различия в компетентности экспертов и с позиции математических вычислений сложен.

Недостатки метода медианы Кемени были устранены Л.Ф. Гуляницким и соавторами. В работе [17] предложен метод агрегирования ординальных оценок, в основе которого лежит использование модифицированной медианы Кемени как меры близости между ранжированиями. Мера близости (далее нами называемая мерой Гуляницкого) значительно проста в вычислении, удовлетворяет аксиомам Эрроу 2-4 и позволяет учесть компетентность экспертов. В модели агрегирования ординальных оценок будем использовать меру Гуляницкого.

Дано множество $R = \{r^1, \dots, r^m\}$ строгих ранжирований, где $r^i \in R$ – индивидуальное ранжирование каждого эксперта. Надо получить агрегированное ранжирование множества объектов X .

Оптимизационная задача заключается в минимизации расстояния между индивидуальными ранжированиями и итоговым ранжированием

$$\sum_{i=1}^m c_i d(r, r^i) \rightarrow \min, r \in R, \quad (28)$$

где, c_i – компетентность i -го эксперта, $d(r, r^i)$ – мера близости:

$$d(r, r^i) = \sum_{j=1}^n |r_j - r_j^i|.$$

Таким образом, в качестве итогового ранжирования выбирается имеющееся ранжирование, которое наименее удалено от всех индивидуальных ранжирований.

Выделим особенности способа:

- 1) упрощенный поиск агрегированного ранжирования (простой перебор ранжирований);
- 2) агрегированное ранжирование совпадает с ранжированием одного из экспертов.

В настоящей работе предлагается способ решения оптимизационной задачи (28), основанный на её сведении к классической задаче о назначениях. Для этого введем переменную x_{jk} , описанную следующим образом

$$x_{jk} = \begin{cases} 1, & \text{если } r_j = k; \\ 0, & \text{иначе,} \end{cases}$$

где k – ранг объекта.

Таким образом, ранг объекта x_j равен k , что справедливо только для строгих ранжирований. В связи с этим введем следующие ограничения для множества индивидуальных ранжирований

$$\sum_{j=1}^n x_{jk} = 1 \quad (k = 1, \dots, n),$$

т.е. k -й ранг имеет один и только один объект;

$$\sum_{k=1}^n x_{jk} = 1 \quad (j = 1, \dots, n),$$

т.е. каждый объект имеет один и только один ранг.

С учетом введенных ограничений, получим следующую формулу:

$$\sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m c_i |r_j - r_j^i| = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^n c_i |r_j - r_j^i| x_{jk} = \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^n \sum_{i=1}^m c_i |k - r_j^i| = \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^n \alpha_{jk} x_{jk}, \quad (29)$$

где $\alpha_{jk} = \sum_{i=1}^m c_i |k - r_j^i|$.

На основе всех данных, обобщив формулу (29) имеем следующую оптимизационную задачу:

$$\begin{cases} \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^n \alpha_{jk} x_{jk} \rightarrow \min; \\ \sum_{j=1}^n x_{jk} = 1 \ (k = 1, \dots, n); \\ x_{jk} > 0 \ (j = 1, \dots, n); \\ \sum_{k=1}^n x_{jk} = 1 \ (j = 1, \dots, n). \end{cases} \quad (30)$$

Данная задача представляет собой задачу о назначениях, методы ее решения хорошо известны.

Предложенный способ решения задачи (28) свободен от накладываемого ограничения, связанного с обязательным совпадением итогового ранжирования и ранжирования одного из экспертов группы, т.е. он является обобщенным.

Таки образом, процесс экспертного оценивания завершается получением итоговой агрегированной оценки. Как было описано ранее, это может быть ранговое распределение объектов в зависимости от предпочтений ЛПР, выбор объекта или распределение объектов в соответствии с условием задачи.

2.5. Модель апостериорной оценки компетентности экспертов на основе фактической эффективности их работы

Метод апостериорной оценки компетентности экспертов описан в работе [48]. В основе метода лежит сравнение расстояний отклонения индивидуальных оценок от агрегированной. Конечно, лучшим результатом считается меньшее отклонение от итоговой оценки. Формула для вычисления коэффициента отклонения k_{o1} оценки i -го эксперта выглядит следующим образом:

$$k_{o1} = \frac{d_{o1}}{d_{\max}},$$

где d_{max} – максимально возможное расстояние оценок индивидуальной и итоговой.

Метод относится к группе статических методов, так как не позволяет учитывать изменения оценки компетентности во времени. При этом, как отмечалось ранее, длительность и постоянство работы экспертной группы позволяет вычислять апостериорную динамическую оценку компетентности экспертов.

В основе модели оценки компетентности лежит метод апостериорной динамической оценки компетентности экспертов. Метод интересен с позиции оценки фактической эффективности работы эксперта в группе, которая определяется отклонением индивидуальной оценки эксперта от итоговой групповой агрегированной оценки. В работе [70] было введено понятие потенциала эксперта s_t , для вычисления которого используется выражение:

$$s_t = s_0 + \frac{t}{2T} - \frac{1}{T} \sum_{k=1}^t \frac{d_k}{d_k^{\max}}, \quad (31)$$

где s_0 – начальный потенциал эксперта; T – контрольное число задач; d_k – отклонение оценки, данной экспертом в k -й задаче, от итоговой групповой оценки, полученной в результате агрегирования; $d_k^{\max}$ – максимальное отклонение среди всех экспертов, участвовавших в решении k -й задачи.

Потенциал эксперта в предметной области зависит от начального значения s_0 показателя его компетентности в данной области, определяющего его начальный потенциал и эффективности работы эксперта при решении задач.

Корректировку значений компетентности s будем выполнять, руководствуясь следующим правилом: «если оценка, полученная от данного эксперта, совпала с итоговой оценкой группы, то значение s_t должно увеличиться пропорционально отклонению оценки и значение компетентности s увеличивается, если же оценка отклонилась в согласованном множестве оценок, то значение s_t уменьшается пропорционально отклонению оценки и значение s должно уменьшиться» [73]. При этом независимо от количества сеансов

оценивания, должно оставаться справедливым неравенство $0 < c_i < 1$ (иными словами, должно иметь место асимптотическое стремление значений c_i как к 0, так и к 1)

Данным требованиям удовлетворяет сигмоидальная функция, соответственно для вычисления апостериорной оценки компетентности эксперта в предметной области будем использовать формулу:

$$c = \frac{1}{1 + \exp(-b(s_t - 0,5))}, \quad (32)$$

где t – число задач, относящихся к данной предметной области, в решении которых принимал участие эксперт; s_t – потенциал эксперта (в соответствующей предметной области) по итогам участия в решении указанных задач; b – нормировочный коэффициент.

Среднее значение потенциала и компетентности оценивается как $s_t = 0,5$ и $c = 0,5$. Для определения нормировочного коэффициента b используется следующее положение: высококомпетентный эксперт должен иметь значение потенциала, стремящееся или большие единицы, а значения потенциала низко компетентного эксперта должны иметь значения, стремящиеся или меньшие нуля. Выражение для определения нормировочного коэффициента b имеет вид:

$$c_1 = c \Big|_{s_t=1} = \frac{1}{1 + \exp(-b/2)},$$

где c_1 – минимальное значение коэффициента компетентности эксперта, признаваемого высококомпетентным. Значение c_1 принимается достаточно близким к 1, например, $c_1 = 0,9$. Отсюда:

$$b = 2 \ln \frac{c_1}{1 - c_1}.$$

Для задач получения ординальных оценок отклонение d_k вычисляется по формуле:

$$d_k = \sum_{j=1}^n |r_j - r_j^*|, \quad (33)$$

где r_j – ранг j -го объекта, указанный экспертом (по итогам всех корректировок, направленных на повышение согласованности); r_j^* – ранг j -го объекта в итоговом ранжировании, полученном в результате агрегирования; n – число ранжируемых объектов.

Для задачи получения кардинальных оценок отклонение d_k вычисляется по формуле:

$$d_k = \sqrt{\sum_{j=1}^n v_j - v_j^*{}^2}, \quad (34)$$

где v_j – оценка j -го объекта, полученная от эксперта (по итогам всех корректировок, направленных на повышение согласованности); v_j^* – результирующая оценка j -го объекта, полученная в результате агрегирования; n – число оцениваемых объектов.

Значение контрольных задач T определяется как минимальное количество задач, в которых должен принять участие эксперт, чтобы повысить значение своего потенциала на величину 0,5. Это же значение можно определить, как минимальное количество задач, в которых должен принять участие эксперт, чтобы уменьшить значение своего потенциала на величину 0,5.

Начальное значение потенциала s_0 определяется из следующего условия:

$$c_0 = \frac{1}{1 + \exp(-b(s_0 - 0,5))},$$

откуда

$$s_0 = \frac{1}{2} - \frac{1}{b} \ln \frac{1 - c_0}{c_0}.$$

Формулу (31) можно переписать в виде, более удобном для программной реализации:

$$s_t = s_{t-1} + \frac{1}{2T} - \frac{1}{T} \frac{d_t}{d_t^{\max}}, \quad (35)$$

здесь s_{t-1} – потенциал эксперта до решения t -й задачи, s_t – потенциал после ее решения.

Предложенный метод апостериорной оценки компетентности экспертов имеет преимущество перед другими подходами к оценке компетентности за счет учета временного аспекта изменения компетентности каждого эксперта.

2.6. Выводы по главе

1. Построена концептуальная модель задачи экспертного оценивания объектов, разработана оригинальная информационная технология поддержки групповой экспертизы в распределенной среде и построены информационные модели этапов, что позволило определить состав комплекса математических моделей и методов обработки ее результатов.
2. Предложен новый метод повышения согласованности экспертных суждений, который реализован с помощью алгоритма, в основе которого лежит механизм обратной связи с экспертами для кардинального и ординального типов оценивания.
3. Предложена модель агрегирования экспертных суждений с учетом компетентности экспертов. Для групповых ординальных экспертных оценок предложен новый способ агрегирования с использованием модифицированной медианы Кемени, основанный на сведении оптимизационной задачи к задаче о назначениях.
4. Предложен авторский метод апостериорной динамической оценки компетентности экспертов, основанный на понятии потенциала эксперта. Разработанный метод основан на оценке результатов мониторинга эффективности работы каждого эксперта и позволяет учитывать динамику изменения компетентности экспертов.

ГЛАВА 3. БИБЛИОТЕКА МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ И МЕТОДОВ ОБРАБОТКИ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРТНОГО ОЦЕНИВАНИЯ В СОСТАВЕ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В РАСПРЕДЕЛЕННОЙ СРЕДЕ

Для реализации рассмотренных в главе 2 информационной технологии поддержки группой экспертизы в распределенной среде, а также математического обеспечения обработки результатов экспертизы спроектирован и разработан программный комплекс поддержки принятия решений в распределенной среде «ЭКСПРЕСС». В настоящей главе описываются архитектура и особенности реализации программного комплекса. Особое внимание уделяется входящей в его состав библиотеке математических моделей и методов, обеспечивающей поддержку разработанного математического обеспечения результатов групповой экспертизы. Материалы главы опубликованы в работах [74; 75].

3.1. Описание программного комплекса поддержки принятия решений

Программный комплекс поддержки принятия решений в распределенной среде «ЭКСПРЕСС», с одной стороны, поддерживает сбалансированную функциональность разных групп пользователей, а с другой стороны, автоматизирует комплекс математических моделей и методов экспертного оценивания. Одним из самых важных аспектов в проектировании программного комплекса поддержки принятия решений, является учет работы экспертов в сети Интернет с обеспечением территориально-распределенного взаимодействия участников процесса принятия решений.

В то же время необходимо выделить два направления информационно-аналитического обеспечения программного комплекса поддержки принятия решений. Первое направление основывается на «технической» поддержке процессов поиска, получения и передачи информации, второе обеспечивает

процессы «методологической» обработки результатов в реальном времени на основе комплекса математических моделей, описанных в главе 2.

Структура распределения ролей пользователей, описывающие основные возможности программного комплекса поддержки принятия решений, является многоуровневой с сетевым видом организации работ. При этом каждая группа пользователей обладает определенным статусом и правами для выполнения поставленных задач с использованием компьютерных средств визуализации.

Для конечного пользователя программный комплекс поддержки принятия решений представляет собой веб-сервис экспертного оценивания, доступный с любого браузера, при этом экспертиза становится более простой и доступной с оптимальным распределением временного ресурса.

Каждая группа пользователей имеет свой набор личных кабинетов с настройками запросов, отправкой и получением информации, анализа данных и отчетов. Представленная информация сохраняется и является конфиденциальной для разных групп пользователей. Данная проблема решена путем обеспечения аутентификации пользователей с введением индивидуального пароля и логина для входа в систему.

Для разработки программного комплекса поддержки принятия решений, удовлетворяющего выделенным требованиям, выбрана трехуровневая архитектура [114].

Трёхуровневая архитектура представлена тремя компонентами приложения:

- клиентское приложение ("тонкий клиент" или терминал);
- сервер приложений;
- сервер базы данных.

Клиентское приложение выступает в роли интерфейсного компонента, и имеет как клиентскую часть, выполняющую функцию представления информации конечному пользователю и взаимодействия с пользователем, так и серверную, обрабатывающую запросы на получение данных, управляемых с сервера приложений. Основная часть бизнес-логики сосредоточена на втором уровне в

архитектуре программного комплекса, где центральное место занимает сервер приложений. Сервер приложений выполняет обработку всех данных и, в свою очередь, подключен к серверу базы данных, который обеспечивает хранение и управление данными и выносятся на третий уровень архитектуры. Архитектура разрабатываемого программного комплекса поддержки принятия решений представлена на рисунке 13.

Руководствуясь современной практикой создания веб-приложения, разработку клиентской и серверной части обеспечено посредством деления на front-end и back-end разработки. Front-end разработка направлена на создание интерфейса и логики, обеспечивающей взаимодействие всех групп пользователей на стороне клиентского приложения с программными подсистемами сервера приложений через систему личных кабинетов. В back-end части, в связи с необходимостью поддержки режимов работы разных групп пользователей, выделено три подсистемы.

Важнейшим компонентом программного комплекса поддержки принятия решений является библиотека математических моделей и методов, в которой заложена вся вычислительная часть, необходимая для реализации комплекса математических моделей и методов обработки результатов оценивания. Библиотека вынесена в отдельный блок, и может использоваться вне программного комплекса с помощью подключения соответствующего модуля. В свою очередь, благодаря изоляции библиотеки математических моделей и методов появляется возможность расширяемости математической функциональности и поддержки математических моделей. Библиотека включает в свой состав все необходимые модули для обработки экспертных оценок, а также модуль для функционирования экспертной группы. Выделенные подмодули, в свою очередь, реализуют математические модели и методы соответствующих этапов информационной технологии поддержки групповой экспертизы.

Таким образом, архитектура программного комплекса поддержки принятия решений является достаточно масштабируемой и надежной.

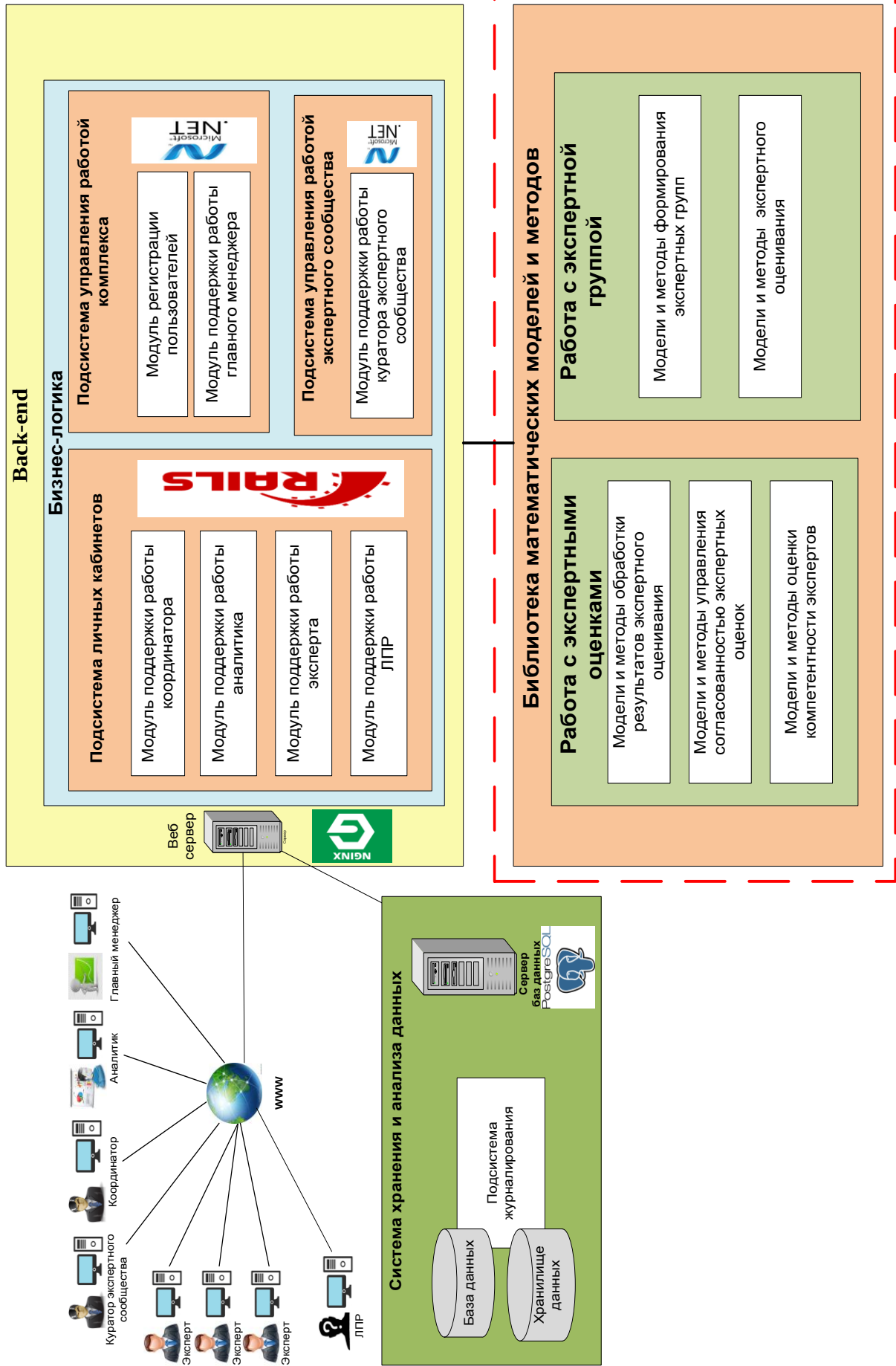


Рисунок 13. Архитектура программного комплекса поддержки принятия решений в распределенной среде

3.2. Обзор функциональных требований

Вследствие многоэтапного и распределенного характера процесса принятия решений в рамках программного комплекса поддержки групповой экспертизы обеспечено четкое разделение функциональности через логическое расслоение на уровни с отделением бизнес-логики от логики доступа. В виду такого разделения и относительной независимости уровней в архитектуре, возрастает степень гибкости и расширяемости функциональных характеристик программного комплекса поддержки принятия решений.

Переходя к более детальному рассмотрению процесса поддержки принятия решения, следует определить конечного потребителя его результатов. В контексте прикладных задач [7; 22; 25; 66] в политической, экономической, социальной, промышленной сферах, ориентированных на получение качественного решения проблемы, таковым является заказчик «владелец проблемы», не связанный с технической и методологической сторонами процесса принятия решения. Далее в работе заказчика будет именоваться лицом, принимающим решение. Как правило, ЛПР могут быть органы государственной власти, предприятия секторов экономики и бизнеса, отдельные физические лица, заинтересованные в получении решения. Сформулированная задача (исследование) на естественном языке в конкретной предметной области является входным параметром для запуска процесса.

Для реализации программного комплекса можно предложить следующие роли пользователей и их функции.

- ЛПР является заказчиком задачи. Он же инициатор процесса принятия решений и конечно звено в принятии решения.
- Аналитик: формализация задачи, интерпретация и проверка корректности получаемых результатов.
- Координатор: управление процессом решения задачи; задание математических параметров; управление согласованностью задачи; подбор экспертной группы.

- Эксперт: оценивание объектов.

Главной задачей аналитика является обработка заполненной ЛПР формы с целью формализации задачи и подбором объектов, критериев оценивания для ее решения. Аналитик фиксирует объекты и критерии в соответствии с предметной областью и перенаправляет их координатору.

Координатор является экспертом в области принятия решений, в его функции входит управление процессом принятия решений: выбор экспертов, формирование запросов к экспертам, выдача согласованного решения ЛПР. Алгоритм его работы состоит из нескольких сценариев взаимодействия участников в рамках групповой распределённой экспертизы.

Следует отметить, что эксперты являются основной и самой многочисленной группой пользователей, принимавшей непосредственное участие в принятии решений. Далее, координатор, получив согласие от экспертов на участие в групповой экспертизе, оповещает о начале экспертизы и запускает процедуру экспертного оценивания, по завершению которой имеются сохраненные формализованные (согласно запросу аналитика) оценки экспертов для последующей их обработки.

Диаграммы вариантов использования для выделенных ролей пользователей представлены в приложении А.

Сопоставляя между собой выделенные роли пользователей и выполняемые ими функции, можно выделить список функциональных требований к программному комплексу поддержки принятия решений.

Административные функциональные требования:

- регистрация и аутентификация пользователей системы с возможностью разделения их на группы и назначения им ролей;
- обеспечение доступа пользователей к данным в личном кабинете на основе ролей пользователей;
- подача, просмотр, редактирование и утверждение заявки на исследование;
- просмотр архива решенных задач;

- блокировка пользователей.

Функциональные требования по работе с экспертным сообществом:

- выбор экспертов для задачи;
- оценивание компетентности экспертов.

Функциональные требования по работе с задачами:

- определение объектов и критериев оценивания (формализация задачи);
- получение оценок от экспертов;
- просмотр результатов решения.

Функциональные требования по обработке экспертных оценок:

- выбор математических моделей обработки экспертных оценок;
- управление согласованностью экспертных оценок;
- определение итогового решения и сохранение результатов;
- апостериорное оценивание компетентности экспертов.

Таким образом, программный комплекс поддержки принятия решений в условиях распределенного взаимодействия участников данного процесса обеспечивает выполнение всех этапов информационной технологии поддержки групповой экспертизы, и реализовывает математические модели и методы группового экспертного оценивания.

3.3. Выбор средств разработки

Учитывая важность и необходимость в хранении данных, впоследствии обрабатываемых программным продуктом, ключевым компонентом любой информационной системы является база данных. В качестве объектно-реляционной системы управления базами данных была выбрана [156]. Выбор PostgreSQL обусловлен тем, что система является достаточно надежной и устойчивой, свободно распространяемой в использовании, в настоящее время активно развивается, и что важно отметить, позволяет работать с неструктурированными не реляционными данными [156].

Для создания подсистемы личных кабинетов и независимой библиотеки математических моделей и алгоритмов, которая впоследствии интегрируется в программный комплекс поддержки принятия решений, был выбран один язык Ruby [131], вместе с фреймворком Ruby On Rails. Отмечается синтаксическая близость языка Ruby к языкам Perl и Eiffel, и схожесть к объектно-ориентированному Smalltalk. Также язык Ruby унаследовал черты Python и Lisp [118]. На выбор в пользу языка Ruby повлияло наличие таких возможностей языка как: динамическая типизация, реализация многопоточности независимой от операционной системы, автоматическое управление памятью, кроссплатформенность. Дополнительным аргументом в пользу языка Ruby является возможность создания веб-сервисов с помощью инструментария открытого фреймворка Ruby On Rails [159], обеспечивающий интеграцию с веб-сервером и сервером баз данных.

Для программного комплекса поддержки принятия решений выбор данной интеграции языка Ruby с фреймворком Ruby on Rails является эффективным с точки зрения разработки по следующим причинам: встроенные возможности по организации рабочего места, реализация MVC для разработки серверных приложений, исключение конфигурирования, интегрируемость компонентов Ruby on Rails.

С точки зрения повышения производительности работы программного комплекса стало необходимым подключение веб-сервер, выполняющего роль обратного прокси сервера. Для этих целей был использован программный продукт Nginx [152].

Популярной и достаточно простой в развертывании серверных приложений является платформа .NET Framework, выпущенная компанией Microsoft. Несомненным преимуществом данной платформы является поддержка многоязыковой среды Common Language Runtime (CLR), положенная в ее основу. Функциональные и серверные возможности CLR для разработчиков являются доступными и одинаковыми для всех языков программирования.

Программный код интерфейса клиентской части, разработан с использованием языков JavaScript и каскадных таблиц стилей CSS и интеграции отображаемой и исполняемой в браузере HTML-разметки. Библиотеки Bootstrap 3 и JQuery использованы для создания базовых интерактивных приложений на странице.

Характер процесса групповой экспертизы предполагает циклическую зависимость между этапами и процедурами с возможно длительным временным взаимодействием участников. Основываясь на этом, процесс разработки программного комплекса поддержки принятия решений построен по принципу непрерывной поставки (Continuous Delivery), автоматизации (DevOps) и непрерывной интеграции (Continuous Integration). Для серверной части и локальной разработки выбрана операционная система Ubuntu 16.04.

3.4. Ключевые этапы программной реализации

Важнейшим компонентом программного комплекса поддержки принятия решений в распределённой среде является библиотека математических моделей и методов на основе классов. В текущей версии программного комплекса поддержки принятия решений реализованы модели и методы для ординального и кардинального абсолютного экспертного оценивания. На рисунке 14 продемонстрированы интерфейсы личных кабинетов разных групп пользователей, выделенных в разделе 3.1, функциональность которых различна.

Интерфейс в личном кабинете ЛПП содержит форму создания заявки на исследование, в которой ЛПП имеет возможность указать название, описание, предметную область исследования и набор оцениваемых объектов. В виду того, что координатор является специалистом в области принятия решений, то в его личном кабинете будут доступны интерфейсы программной поддержки комплекса математических моделей и методов обработки результатов экспертизы.

Рисунок 14. Интерфейсы личных кабинетов

После принятия заявки на решение задачи, координатор видит страницу с информацией по задаче (название, предметная область, предлагаемые объекты и критерии). Также, в личном кабинете координатора выделена форма для начала процесса согласования оценок и просмотра ответов экспертов. Более подробная демонстрация интерфейсов личных кабинетов представлена в приложении В.

В текущей версии программного комплекса поддержки принятия решений реализованы два алгоритма оценки согласованности, по одному на каждый тип оценок. Для оценок ординального типа – коэффициент конкордации. Для кардинальных абсолютных оценок – спектральный коэффициент.

В приложении С (листинг П1) представлена программная реализация механизма определения коэффициента конкордации с применением четырех публичных методов, через которые происходит взаимодействие.

- `initialize` – метод-конструктор, предназначенный для передачи информации по задаче. Параметрами метода являются `competitions` (коэффициенты компетенции экспертов) и `ranges` (оценки экспертов).
- `self.get_detection_treshold` – функция для вычисления порога обнаружения (`self` означает что метод является статическим) с параметрами: `alt_count` задание количества оцениваемых объектов в задаче и `exp_count` определяет численность экспертной группы.
- `self.get_using_treshold` – функция для вычисления порога применения с параметрами: `alt_count` (количество оцениваемых объектов в задаче) и `L` (степень строгости порога применения 1 или 2).
- `get_coef` – вычисление коэффициента конкордации без параметров.

В приложении С (листинги П2 и П3) представлена программная реализация алгоритма обратной связи для случая ординальных оценок с применением двух публичных методов.

- `initialize` – метод-конструктор, предназначенный для передачи в информации по задаче. Параметрами метода являются: `competitions` (коэффициенты компетенции экспертов), `ranges` (оценки экспертов) и `expert_stats` (количество запросов на изменение к каждому из экспертов).
- `generate_request` – функция для вычисления порога обнаружения без параметров.

В приложении С (листинг П4) представлен исходный код реализации механизма определения спектрального коэффициента. Основные функции в более подробном изложении:

- `self.get_detection_treshold (div_count)` – функция для вычисления порога обнаружения, где параметр `div_count` задает размерность шкалы;
- `self.get_using_treshold (div_count)` – функция для вычисления порога применения.

В обеих функциях параметр `div_count` задает размерность шкалы:

- `get_coef` – вычисление спектрального коэффициента согласованности с параметрами: `div_count` (размерность шкалы), `values` (оценки экспертов) и `experts_cmp` (коэффициенты компетентности экспертов).

В случае, когда согласованность оценок недостаточная, необходимым становится механизм обратной связи с экспертами. В данном режиме работы координатор может сгенерировать запрос экспертам на изменение оценок. Так в личный кабинет эксперта приходит сообщение с просьбой пересмотра оценок и становится доступным раздел Запросы на изменение. Эксперт обладает правом принять или отклонить данную просьбу.

Листинг П5 приложения С демонстрирует алгоритм обратной связи для случая кардинального оценивания, реализованного с помощью метода `self.get_weak_expert`, выполняющий поиск эксперта, которому будет отправлена заявка на изменение оценки. Параметрами метода являются `values` (оценки экспертов) и `experts_cmp` (коэффициенты компетентности экспертов).

По завершении процесса повышения согласованности экспертных оценок координатор исследования запускает функцию вычисления итоговой оценки.

В текущей версии программного комплекса поддержки принятия решений реализовано три алгоритма агрегирования для ординальных оценок:

- метод Борда;
- метод Кондорсе;
- способ агрегирования на основе метрики Гуляницкого-Малышко-Сергеенко.

Алгоритмы методов имеют единый интерфейс принимаемых параметров, поэтому будут описаны один раз.

Метод `self.get_result(experts_cmp, values)` для вычисления решения. Параметр `values` отвечает за ординальные оценки экспертов, а `experts_cmp` для коэффициентов компетентности экспертов. В связи с тем, что возвращаемые значения каждого из алгоритмов отличаются, то их опишем уже непосредственно при рассмотрении каждого из методов.

Для метода Борда возвращаемое значение – массив, содержащий в себе сумму рангов по каждому объекту. Программная реализация метода Борда продемонстрирована на листинге П6.

Для метода Кондорсе возвращаемое значение – двумерный массив, матрица парных сравнений. Программная реализация метода Кондорсе продемонстрирована на листинг П7 приложения С.

Способ агрегирования на основе метрики Гуляницкого и др. реализован для случая строгих ранжирований. Отдельно стоит отметить, что такое решение является приближенным. Возвращаемым значением будет двумерный массив, являющийся решением задачи о назначениях. Программная реализация способа агрегирования ординальных экспертных оценок на основе метрики Гуляницкого и др. продемонстрирована на листинге П8 приложения С.

3.5. Выводы по главе

1. Программный комплекс поддержки принятия решений в распределенной среде «ЭКСПРЕСС» реализует все задачи, предусмотренные технологией поддержки групповой экспертизы в распределенной среде. Одним из важных аспектов в проектировании программного комплекса поддержки принятия решений, является возможность распределенного взаимодействия лиц, участвующих в процессе решения задачи – в первую очередь ЛПР, экспертов, аналитиков и координаторов.
2. Описаны функциональные требования к программному комплексу поддержки принятия решений и выделены роли пользователей.
3. Важнейшим компонентом программного комплекса поддержки принятия решений является библиотека математических моделей и методов, в которой заложена вся вычислительная часть, необходимая для реализации математического обеспечения обработки результатов групповой экспертизы.

4. Взаимодействие библиотеки математических моделей и методов с программными подсистемами осуществляется через систему личных кабинетов.
5. В качестве средств разработки программного комплекса поддержки принятия решений была выбрана объектно-реляционная система управления базами данных PostgreSQL. Язык Ruby вместе с фреймворком Ruby on Rails выбран в качестве языка программирования.
6. При разработке архитектуры программного комплекса поддержки принятия решений заложены принципы масштабируемости и независимости.

ГЛАВА 4. ТЕСТИРОВАНИЕ И АПРОБАЦИЯ БИБЛИОТЕКИ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ И МЕТОДОВ ОБРАБОТКИ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРТНОГО ОЦЕНИВАНИЯ В СОСТАВЕ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В РАСПРЕДЕЛЕННОЙ СРЕДЕ

4.1. Экспериментальная проверка разработанных математических моделей и методов обработки результатов групповой экспертизы

Материалы главы опубликованы в работах [53; 76]. С целью тестирования описанного в главе 2 комплекса математических моделей и методов обработки результатов групповой экспертизы в распределенной среде рассмотрена задача экспертного оценивания четырех типов архитектур по пяти предложенным критериям для создания комплексной информационной системы (КИС) кафедры «Информатика и программное обеспечение» Брянского государственного технического университета [8]. Экспертная группа была сформирована из 7 компетентных специалистов в данной предметной области, их взаимодействие было распределенным. Эксперты территориально распределены. Компетентность каждого эксперта была оценена (таблица 4).

Таблица 4. Компетентность экспертов

Номер эксперта	1	2	3	4	5	6	7
Коэффициент компетентности	0,146	0,117	0,158	0,187	0,088	0,158	0,146

От экспертов были получены ординальные экспертные оценки в соответствии с порядковой шкалой от 1 до 4 и кардинальные абсолютные оценки с числовым значением от 1 до 10 по степени предпочтительности типа архитектуры. Отказ эксперта присвоить оценку объекту не принимался. В рамках тестирования была проведена серия экспериментов с различными наборами оценок, получаемых от экспертов – было решено порядка 100 задач оценивания по различным сценариям.

Исходными объектами оценки выступили следующие типы архитектур [18; 29; 29]: монолитная (A1) [153], сервис-ориентированная (A2) [161], микросервисная (A3) [126] и SOA+ECB (A4) [142]. В дополнение к указанным объектам приводится список критериев выбора: простота освоения (C1), простота модификации модели данных (C2), устойчивость к сбоям (C3), скорость получения первого серверного прототипа (C4), простота развертывания тестовых площадок (C5).

Работа экспертной группы проводилась в течение двух недель. Эксперты в первом случае проранжировали типы архитектур по каждому из критериев, и затем поставили объектам числовые оценки. Результаты экспертного ordinalного и cardinalного типов оценивания четырех объектов по пяти критериям отражены в приложении D.

После получения экспертных суждений сначала были рассчитаны модифицированные коэффициенты согласованности $W(R)$ для множеств ранжирований и спектральные коэффициенты $K_c(R)$ для cardinalных оценок. А также вычислен порог обнаружения T_o и порог применения T_u для ordinalного и cardinalного типов задач. В таблицах 5 и 6 отражены результаты сравнения коэффициентов согласованности с пороговыми значениями.

Таблица 5. Оценка согласованности ordinalных экспертных суждений

T_o	T_u	Начальный коэффициент согласованности $W(R)$				
		C1	C2	C3	C4	C5
0,008	0,725	0,900 $> T_u$	$T_o < 0,701 < T_u$	$T_o < 0,665 < T_u$	$T_o < 0,567 < T_u$	$T_o < 0,258 < T_u$

Таблица 6. Оценка согласованности cardinalных экспертных суждений

$T_o = 0,780$					
$T_u = 0,407$					
Критерии	C1	C2	C3	C4	C5
Объекты	Начальный коэффициент согласованности $K_c(R)$				
A1	0,892 $> T_u$	0,841 $> T_u$	1 $> T_u$	$T_o < 0,766 < T_u$	$T_o < 0,437 < T_u$
A2	1 $> T_u$	$T_o < 0,732 < T_u$	$T_o < 0,695 < T_u$	0,814 $> T_u$	0,841 $> T_u$
A3	0,873 $> T_u$	$T_o < 0,710 < T_u$	0,867 $> T_u$	$T_o < 0,766 < T_u$	1 $> T_u$
A4	1 $> T_u$	0,875 $> T_u$	1 $> T_u$	$T_o < 0,582 < T_u$	$T_o < 0,740 < T_u$

Начальные коэффициенты согласованности для множества ординальных и кардинальных экспертных оценок, соответствующие требуемому уровню согласованности для вычисления итоговой агрегированной оценки, выделены. При этом в остальных случаях коэффициент согласованности находится в пределах между порогом обнаружения и порогом применения, и множество экспертных оценок не является согласованным, поэтому необходимо применение алгоритма повышения согласованности. Таким образом, требуется выполнение процедуры обратной связи с экспертами, представленной алгоритмом повышения согласованности, описанным в главе 2.

В таблицах 7 и 8 приведен пример оценки согласованности, определения ее достаточности и выполнение процедуры обратной связи с экспертами на основе алгоритма повышения согласованности экспертных суждений по критерию «Простота модификации модели данных (C2)» для ординального и кардинального типов экспертного оценивания архитектур.

Таблица 7. Диалог с экспертами для рангового оценивания по критерию «Простота модификации модели данных (C2)»

Порог обнаружения (T_o)	$T_o=0,008$		
Порог применения (T_u)	$T_u=0,725$		
Начальный коэффициент согласованности $W(R)$	$T_o < 0,701 < T_u$		
№ эксперта	Перестановка рангов		
Эксперт №5	$r_1 \leftrightarrow r_2$	$r_2 \leftrightarrow r_3$	$r_3 \leftrightarrow r_4$
	$W(R)=0,730 > T_u$	$W(R)=0,632 < T_u$	$W(R)=0,688 < T_u$
Количество обращений к эксперту	1		
Итоговое ранжирование	A4-A3-A2-A1		

В приложении Е представлены таблицы с результатами экспертного оценивания по критериям C1, C3-C5 с выполнением процедуры обратной связи с экспертами на основе описанных методов оценки и повышения согласованности экспертных суждений для кардинального и ординального типов оценок.

Таблица 8 Диалог с экспертами для кардинального оценивания по критерию
«Простота модификации модели данных (C2)»

Наименование объекта	Спектры оценок	Коэффициент согласованности	Итоговая оценка
A1	$V=\{1;2;2;1;1;1;1\}$, $R=\{5;2;0;0;0;0;0;0;0\}$	$K_c(R)=0,841>T_u$	$V_{cp}=1,275$
A2	$V=\{6;5;7;6;5;5;5\}$, $R=\{0;0;0;0;4;2;1;0;0;0\}$	$K_c(R)=0,732<T_u$	$V_{cp}=5,649$ $\delta_1=2,404;$ $\delta_2=5,547;$ $\delta_3=8,550;$ $\delta_4=1,877;$ $\delta_5=7,375;$ $\delta_6=4,108;$ $\delta_7=4,445$
	$v_3 \downarrow$ Эксперт ДА $v_3=6$		
	$V=\{6;5;6;6;5;5;5\}$, $R=\{0;0;0;0;4;3;0;0;0;0\}$	$K_c(R)=0,808>T_u$	$V_{cp}=5,491$
	Количество обращений к эксперту – 1		
A3	$V=\{7;8;6;6;7;6;8\}$, $R=\{0;0;0;0;0;3;2;2;0;0\}$	$K_c(R)=0,710<T_u$	$V_{cp}=6,760$ $\delta_1=1,644;$ $\delta_2=10,598;$ $\delta_3=4,810;$ $\delta_4=4,064;$ $\delta_5=2,727;$ $\delta_6=4,810;$ $\delta_7=8,493$
	$v_2 \downarrow$ Эксперт ДА $v_2=7$		
	$V=\{7;7;6;6;7;6;8\}$, $R=\{0;0;0;0;0;3;3;1;0;0\}$	$K_c(R)=0,736<T_u$	$V_{cp}=6,643$ $\delta_1=2,445;$ $\delta_2=3,051;$ $\delta_3=4,070;$ $\delta_4=3,439;$ $\delta_5=4,057;$ $\delta_6=4,070;$ $\delta_7=9,295$
	$v_7 \downarrow$ Эксперт ДА $v_7=7$		
		$K_c(R)=0,808>T_u$	$V_{cp}=6,497$
	Количество обращений к эксперту – 2		
A4	$V=\{8;10;8;8;8;8;8\}$, $R=\{0;0;6;0;0;0;0;6;0;1\}$	$0,875>T_u$	$V_{cp}=8,234$

В таблице 9 отражены результаты тестирования комплекса математических моделей и методов для задачи экспертного ординального и кардинального оценивания четырех типов архитектур A1-A4 по пяти предложенным критериям C1-C5.

В ходе решения задачи было обнаружено, что для значений коэффициента согласованности, превышающих 0,66, необходимо только одно или два обращения к наименее компетентным экспертам. Для меньших значений коэффициента согласованности число запросов к экспертам составляло 3 и более. Надо заметить, отказ одного, либо нескольких экспертов переставить оценки в силу субъективных личных причин приводит к увеличению числа обращений к экспертам, или множество объектов не удастся согласовать вообще, однако

окончательные значения коэффициента согласованности лежали между 0,8 и 0,97 в значениях приведенного коэффициента согласованности, введенного в разделе 2.3 (приложение Е).

Таблица 9. Результаты тестирования комплекса математических моделей и методов обработки результатов экспертного оценивания

Критерии оценивания	Начальный коэффициент согласованности	Число обращений к экспертам	Конечный коэффициент согласованности	Итоговая оценка
Простота освоения				
Кардинальные	$k_c(R_1)=0,892$	0	$k_c(R_1)=0,892$	1,146
	$k_c(R_2)=1$	0	$k_c(R_2)=1$	3
	$k_c(R_3)=0,873$	0	$k_c(R_3)=0,873$	4,813
	$k_c(R_4)=1$	0	$k_c(R_4)=1$	7
Ординальные	$W(R)=0,900$	0	$W(R)=0,900$	A4-A3-A2-A1
Простота модификации модели данных				
Кардинальные	$k_c(R_1)=0,841$	0	$k_c(R_1)=0,841$	1,275
	$k_c(R_2)=0,732$	1	$k_c(R_2)=0,808$	5,491
	$k_c(R_3)=0,710$	2	$k_c(R_3)=0,808$	6,497
	$k_c(R_4)=0,875$	0	$k_c(R_4)=0,875$	8,234
Ординальные	$W(R)=0,701$	1	$W(R)=0,730$	A4-A3-A2-A1
Устойчивость к сбоям				
Кардинальные	$k_c(R_1)=1$	0	$k_c(R_1)=1$	1
	$k_c(R_2)=0,695$	2	$k_c(R_2)=0,817$	5,012
	$k_c(R_3)=0,867$	0	$k_c(R_3)=0,78$	5,795
	$k_c(R_4)=1$	0	$k_c(R_4)=1$	7
Ординальные	$W(R)=0,665$	2	$W(R)=0,847$	A4-A3-A2-A1
Скорость получения первого серверного прототипа				
Кардинальные	$k_c(R_1)=0,766$	1	$k_c(R_1)=0,833$	4,304
	$k_c(R_2)=0,814$	0	$k_c(R_2)=0,814$	1,596
	$k_c(R_3)=0,766$	1	$k_c(R_3)=0,833$	2,696
	$k_c(R_4)=0,42$	6	$k_c(R_4)=0,79$	7,579
Ординальные	$W(R)=0,582$	3	$W(R)=0,812$	A4-A1-A3-A2
Простота развертывания тестовых площадок				
Кардинальные	$k_c(R_1)=0,437$	7	$k_c(R_1)=0,777$	6,550
	$k_c(R_2)=0,841$	0	$k_c(R_2)=0,841$	2,275
	$k_c(R_3)=1$	0	$k_c(R_3)=1$	1
	$k_c(R_4)=0,740$	1	$k_c(R_4)=0,812$	5,579
Ординальные	$W(R)=0,258$	5	$W(R)=0,722$	A1-A4-A2-A3

В дальнейшем достоверность полученных оценок, уверенно свидетельствующих о преимуществе архитектуры SOA + ESB как основы для построения программной платформы для кафедры «Информатика и программное

обеспечение», была подтверждена специалистами предприятий, занимающихся системной интеграцией ИТ-решений.

Главным результатом данной экспертизы является подтверждение адекватности комплекса математических моделей и методов, применяемых в распределенной среде для использования в задачах экспертного оценивания.

4.2. Исследование апостериорной динамической оценки компетентности экспертов по результатам мониторинга эффективности работы

Тестирование модели апостериорной динамической оценки компетентности проходило на пятидесяти задачах экспертного оценивания, в которых приняли участие абстрактные эксперты с разной компетентностью ($T=50$ соответствует контрольному числу задач). Были смоделированы следующие сценарии:

- 1) индивидуальная оценка эксперта совпадала с агрегированной оценкой во всех задачах, т.е. $d_k = 0$;
- 2) во всех задачах индивидуальная оценка эксперта в большей степени отличалась от агрегированной оценки, т.е. $d_k = d_k^{\max}$;
- 3) в некоторых задач индивидуальная оценка эксперта совпадала с агрегированной, в остальных незначительно отличалась;
- 4) в большинстве задач индивидуальная оценка эксперта значительно отличается от агрегированной, в остальных незначительно отличалась.

При демонстрации сценариев значение потенциала эксперта увеличивается или уменьшается на максимально возможную величину при решении контрольного числа задач. Результат применения сценария 1 показал увеличение значения потенциала эксперта на величину 0,5, результат применения сценария 2 показал уменьшение значения потенциала эксперта на величину 0,5. Результат применения сценариев 3 и 4 показал соответственно увеличение и уменьшение значения потенциала пропорционально отношению величины d_k к $d_k^{\max}$.

Продemonстрируем пример применения сценариев 1) – 2), описанных выше, для которого были отобраны два фиксированных эксперта, компетентность которых равна 0,5 и соответственно потенциал каждого эксперта принимается равным 0,5.

В таблицах 10 и 11 отражены результаты 50 тестовых задач для двух экспертов: 18 задач для ординального типа оценивания и 32 задачи для кардинального типа оценивания.

Таблица 10. Результаты ординального оценивания объектов

№ задачи	Оценки эксперта № 1							Оценки эксперта № 2							Итоговые оценки						
№ 3	1	2	3	4				2	1	3	4				1	2	3	4			
№ 8	1	2	3					2	1	3					1	2	3				
№ 10	5	4	3	2	1			4	5	2	3	1			5	4	3	2	1		
№ 16	1	2	3	4				2	1	4	3				1	2	3	4			
№ 17	1	2	3	4	5			2	1	3	5	4			1	2	3	4	5		
№ 20	5	4	3	2	1			5	4	3	1	2			5	4	3	2	1		
№ 24	4	2	3	1	5			5	3	2	1	4			4	2	3	1	5		
№ 29	1	2	3	4	5			2	1	4	3	5			1	2	3	4	5		
№ 32	1	2	3	4	5	6	7	2	1	4	3	5	7	6	1	2	3	4	5	6	7
№ 33	4	2	1	3	5			3	2	1	4	5			4	2	1	3	5		
№ 34	1	4	3	2				2	3	4	1				1	4	3	2			
№ 35	1	4	3	2	5			2	4	3	1	5			1	4	3	2	5		
№ 36	2	6	3	1	4	5		1	6	3	2	5	4		2	6	3	1	4	5	
№ 40	4	3	1	2				3	4	1	2				4	3	1	2			
№ 47	2	3	4	5	6	7	1	3	2	5	4	7	6		2	3	4	5	6	7	1
№ 48	1	2	3					3	1	2					1	2	3				
№ 49	2	1	5	3	4			3	1	5	2	4			2	1	5	3	4		
№ 50	5	3	1	2	4			4	2	1	3	5			5	3	1	2	4		

Можно наблюдать, что оценки эксперта № 1 либо совпадают в случаи ординального оценивания, либо находятся близко в случаи кардинального оценивания к агрегированным итоговым оценкам. В свою очередь, оценки эксперта № 2 различаются с итоговыми агрегированными оценками.

Таблица 11. Результаты кардинального оценивания объектов

№ задачи	Оценки эксперта № 1						Оценки эксперта № 2						Итоговые оценки					
№ 1	9	7	5	3			8	5	7	3			9	6,6	5,6	3		
№ 2	7	5	2	1			6	4	3	2			6,6	4,6	2,4	1,4		
№ 4	8	5	10	4	1	3	7	5	9	4	2	3	7,7	4,7	9,6	3,8	1,4	2
№ 5	7	2	3	1			6	3	2	1			6,8	2,2	2,8	1,3		
№ 6	10	9	8	5			9	9	8	4			9,8	8,8	8,2	4,7		
№ 7	10	9	8	1			9	8	6	2			9,6	8,5	7	1,2		
№ 9	3	5	10	7	2	8	1	5	7	6	2	9	2,4	5	9,2	6,5	1,6	8,3
№ 11	10	8	6	3			9	7	6	2			9,8	7,8	5,7	2,8		
№ 12	10	7	4	1			9	7	4	1			9,8	7	4	1		
№ 13	10	7	4	2			9	9	7	7			9,8	7,2	4	1,8		
№ 14	10	7	4	2			9	7	4	2			9,8	7,2	4	2		
№ 15	7	4	3	1			6	3	3	2			6,6	3,8	2,7	1,2		
№ 18	1	7	5				1	6	5				1,2	6,8	4,7			
№ 19	10	3	5	8	1		10	3	5	7	1		9,7	2,6	5	7,6	1,3	
№ 21	5	3	1				5	1	3				4,6	2,6	1,4			
№ 22	7	5	1				6	4	2				6,6	4,7	1,4			
№ 23	10	9	4	2	1		9	9	5	3	2		9,6	9	4,4	2,1	1,1	
№ 25	10	1	3	5			9	2	2	4			9,6	1,3	3	4,9		
№ 26	10	8	6	5	4	2	7	6	5	5	3	1	9,7	8	6	5	4	1,8
№ 27	2	9	8	5			1	10	9	4			2	9	8	4,9		
№ 28	8	7	6	3	2		8	8	6	4	1		7,5	6,9	5,4	3	2	
№ 30	3	4	5	6			3	5	4	7			2,8	4	5,1	5,9		
№ 31	10	3	6	4	1		7	3	4	6	2		9,8	2,9	5,8	4	1,3	
№ 37	8	5	9	4	6		7	6	10	3	8		8,1	5,4	8,8	4,1	6,3	
№ 38	2	5	3				1	5	5				1,9	5	3,2			
№ 39	4	3	2	5	4	3	3	5	1	3	2	5	4	3,2	2,2	4,8	4	3,4
№ 41	5	6	7	7			5	7	6	6			4,6	5,7	6,8	7,1		
№ 42	2	7	6	10			2	8	7	9			1,7	6,9	5,9	10		
№ 43	5	8	9	4			4	9	10	3			5	8	9	4,6		
№ 44	10	8	6	7			9	7	8	8			9,8	7,7	5,8	6,8		
№ 45	9	7	2	8			8	5	1	8			9	7	2,3	7,9		
№ 46	5	4	3	2			5	5	2	3			5,5	3,8	3,2	1,9		

С помощью разработанной модели апостериорной динамической оценки компетентности экспертов были рассчитаны апостериорные оценки компетентности двух экспертов для 50 задач группового экспертного оценивания и получены результаты, представленные на рисунке 15.

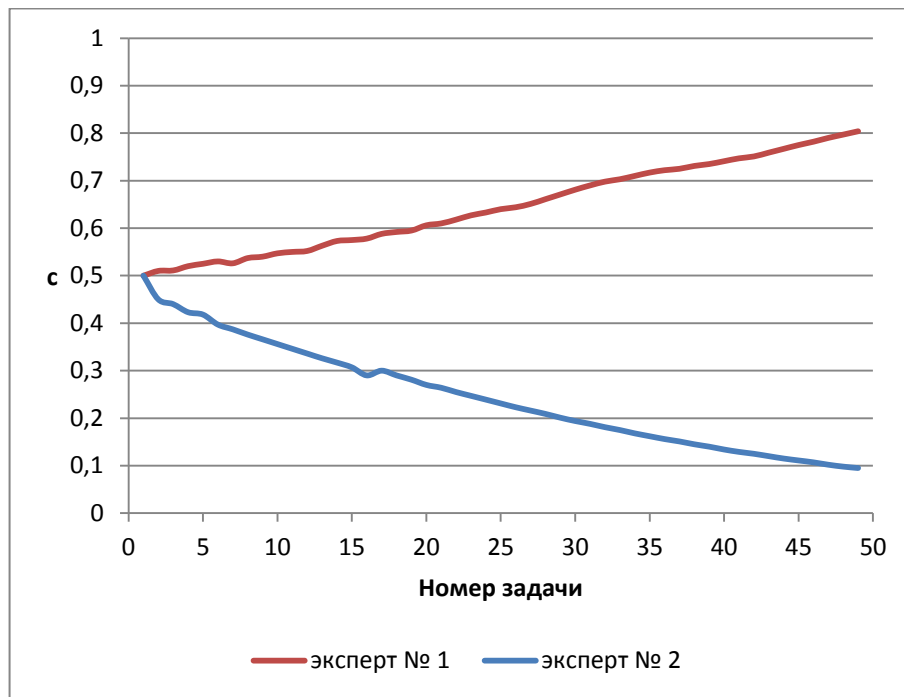


Рисунок 15. Апостериорные оценки компетентности экспертов

Результаты показали, что эксперт № 1 по итогам участия в решении указанных задач увеличил значение своего потенциала, а эксперт № 2 уменьшил значение своего потенциала. Следовательно, и значения оценок компетентности эксперта № 1 увеличиваются, а значения оценок компетентности эксперта № 2 уменьшаются.

Полученные данные подтвердили факт повышения оценки компетентности экспертов в сценариях 1) и 3), и понижения оценки компетентности экспертов в сценариях 2) и 4). В целом результаты тестирования модели апостериорной оценки компетентности экспертов по результатам мониторинга эффективности их работы позволили сделать вывод об ее адекватности и достоверности.

4.3. Задача экспертного оценивания творческих и исследовательских работ в конкурсе «Взгляд в будущее 2018»

Рассмотрим применение представленных в работе предложенных моделей, методов и программных решений в рамках информационной технологии

поддержки групповой экспертизы в распределенной среде с использованием разработанного программного комплекса поддержки принятия решений «ЭКСПРЕСС» при проведении VI Всероссийского конкурса творческих и исследовательских работ студентов и школьников «Взгляд в будущее 2018» [9; 10] на базе Национального исследовательского Томского политехнического университета.

Проведение конкурса осуществляет организационный комитет НИ ТПУ при поддержке администрации города Томска и областного отделения «Союза дизайнеров России» выступающих в качестве ЛПР. Одной из задач конкурса является оценивание работ участников исходя из целостности, выразительности и новизны представленных идей [9; 10] и награждение их дипломами I, II и III степени в каждой возрастной группе: учащиеся художественных школ и творческих коллективов подростков (01), студенты университетов, институтов, техникумов и колледжей (02), молодые дизайнеры, архитекторы и художники (03). На конкурс было принято 656 работ. После отборочного этапа было выбрано 528 работ (условно обозначенные как Проект *N*, где *N* - номер работы), выступающие в качестве объектов оценивания их конкурсной комиссией (таблица 12).

Работа конкурсной комиссии проводилась на втором этапе конкурса с 16 по 27 апреля 2018 г. Исключение 128 работ из конкурса объясняется разными причинами: не соответствие работы номинации, возрастом участника и др.

Данные номинации определяют предметные области, относящиеся к деятельности художественных школ, архитектурно-художественных, политехнических университетов, Союза дизайнеров России. Для оценивания творческих и исследовательских работ конкурсантов в области инновационных идей, технологий, материалов, конструктивных и дизайнерских решений новых форм и объектов формируется конкурсная комиссия из шести человек. Члены конкурсной комиссии являются компетентными экспертами в данных предметных областях, компетентность каждого оценена (приложение F).

Таблица 12. Количество отобранных работ по номинациям

Номинации	Группа 01		Группа 02	Группа 03
	12-14	15-17	Студенты	Молодежь
2D Art и 3D Art»	12	12	12	12
3D Моделирование (компьютерные технологии)	6	6	18	
3D Моделирование (макет.)		6		
Графический дизайн» (плакат)		12	18	
Графический дизайн» (упаковка)		6	12	
Графический дизайн» (книга)			12	
«Графический дизайн» (стиль)			24	
Дизайн одежды	24	6	18	
Живопись	30	18	24	
Рисунок и различные виды графики»	18	12	54	
«Анимация»			18	
«Дизайн архитектурной среды и средовых объектов» (интерьер)			6	
Дизайн архитектурной среды и средовых объектов» (МАФ)			12	
Дизайн архитектурной среды и средовых объектов» (экстерьер)			18	
Промышленный дизайн» (игрушка)			12	
«Промышленный дизайн» (мебель)			36	
«Промышленный дизайн» (оболочки)			42	
«Промышленный дизайн» (станки)			6	
«Промышленный дизайн» (транспорт)			6	

Отдельно стоит отметить особенности проведения конкурса, связанные с широтой территориального охвата представленных работ [9; 10] и территориально-распределенным взаимодействием членов конкурсной комиссии, заключающимся в географии их проживания, в частности: Санкт-Петербург, Екатеринбург, Томск, Северск. Другая особенность определена представлением большого количества творческих и исследовательских работ, которые необходимо не просто оценить в указанные сроки, но и сформировать согласованное множество оценок с целью выбора победителей конкурса в каждой группе.

На рисунке 16 показан интерфейс создания задачи, который предоставляется ЛПР.

Входящие

Заказчик

Пользователь

Исследования

Создать Исследование

	Название	Предметная область	Статус	Статус участия	
6	Оценка конкурсных работ студентов в номинации "Анимация"	Анимация	Формирование экспертной группы	Участник	Просмотреть
7	Оценка конкурсных работ в номинации "3D Моделирование (компьютерные технологии)"	3D Моделирование	Пересмотр коэффициентов компетентности	Участник	Просмотреть
8	Оценка конкурсных работ студентов в номинации "2D Art и 3D Art"	2D Art и 3D Art	Модерация администрацией	Участник	Просмотреть
9	Оценка конкурсных работ студентов в номинации "Графический дизайн (плакат)"	Графический дизайн	Модерация администрацией	Участник	Просмотреть
10	Оценка конкурсных работ студентов в номинации "Живопись"	Живопись	Модерация администрацией	Участник	Просмотреть
11	Оценка конкурсных работ студентов в номинации "Дизайн архитектурной среды и средовых объектов» (интерьер)"	Дизайн архитектурной среды и средовых объектов	Модерация администрацией	Участник	Просмотреть
12	Оценка конкурсных работ студентов в номинации «Промышленный дизайн» (станки)	Промышленный дизайн	Модерация администрацией	Участник	Просмотреть

Рисунок 16. Создание исследования

На основании представленных работ было создано 96 задач экспертного оценивания по трем критериям: выразительность, новизна и целостность. На этапе создания задач были определены математические параметры: тип оценки – кардинальная, шкала оценивания в баллах от 1 до 10. Для каждой задачи эксперты независимо друг от друга оценивали конкурсные работы, используя интерфейс личных кабинетов, представленный на рисунке 17.

Полученные результаты становятся доступны координатору для последующей их обработки. В дальнейшем, координатор управляет всем процессом экспертного оценивания, в том числе отвечает за формирование запросов к экспертам.

Входящие
Эксперт
Пользователь

Дать / Изменить ответ

Название	Подробное описание	Ваша оценка
Проект 1		<input type="range"/> 8
Проект 2		<input type="range"/> 4
Проект 3		<input type="range"/> 5
Проект 4		<input type="range"/> 7
Проект 5		<input type="range"/> 3
Проект 6		<input type="range"/> 6

Дать / Изменить ответ

Рисунок 17. Решение задачи экспертом

Так, на рисунке 18 приведен фрагмент результатов экспертного оценивания конкурсных работ для одной из задач оценивания. Обработка полученных экспертных оценок осуществлялась с помощью независимой библиотеки математических моделей и методов, автоматизирующей вычисления оценки согласованности и ее достаточности, алгоритм повышения согласованности, модель агрегирования оценок и оценку апостериорных динамических оценок компетентности экспертов.

Входящие
Координатор
Пользователь

Ответы экспертов

	Проект 1	Проект 2	Проект 3	Проект 4	Проект 5	Проект 6
lebron1@lebron.com 0.192	10	4	2	5	1	7
lebron2@lebron.com 0.154	8	4	5	7	3	6
lebron3@lebron.com 0.192	9	4	2	7	3	6
lebron5@lebron.com 0.115	10	4	3	6	1	7
lebron6@lebron.com 0.192	8	4	2	5	1	6
lebron4@lebron.com 0.154	10	5	3	4	1	7

Рисунок 18. Ответы экспертов

Для 96 задач экспертного оценивания были рассчитаны первичные спектральные коэффициенты согласованности множеств экспертных оценок (суммарно 1584), порог обнаружения и порог применения. Пример визуализации оценки согласованности для задачи «Оценка конкурсных работ студентов в номинации промышленный дизайн (станки)» представлен на рисунке 19.

	Проект 1	Проект 2	Проект 3	Проект 4	Проект 5	Проект 6
lebron1@lebron.com 0.192	10	4	2	5	1	7
lebron2@lebron.com 0.154	8	4	5	7	3	6
lebron3@lebron.com 0.192	9	4	2	7	3	6
lebron5@lebron.com 0.115	10	4	3	6	1	7
lebron6@lebron.com 0.192	8	4	2	5	1	6
lebron4@lebron.com 0.154	10	5	3	4	1	7

Название	Коэффициент согласованности	
Проект 1	0.687	Сгенерировать запрос
Проект 2	0.884	Сгенерировать запрос
Проект 3	0.696	Сгенерировать запрос
Проект 4	0.615	Сгенерировать запрос
Проект 5	0.739	Сгенерировать запрос
Проект 6	0.8	Сгенерировать запрос

Порог обнаружения
0.407

Порог применения
0.78

Рисунок 19. Оценка согласованности

На скриншоте представлены ответы экспертов и значения коэффициентов согласованности для шести проектов. При этом стоит заметить, что для проектов 2 и 6 кнопка «Сгенерировать запрос» является не активной, в связи с достаточной степенью согласованности экспертных суждений.

Для проектов 1, 3, 4, 5 генерировался запрос на изменения, так как согласованность экспертных суждений оказалась недостаточной для вычисления итоговой оценки.

Функционал кнопки «Сгенерировать запрос» позволяет выбрать эксперта и создать запрос на изменение его оценки в направлении сближения со средней оценкой. Эксперт может принять или отклонить предложение об изменении оценки. Пример изменения оценки эксперта (рисунок 20).

Эксперт	Статус	Альтернатива	Текущее значение	Новое значение	Отклонение	Среднее значение
lebron2@lebron.com	Рассматривается	Проект 5	3		8.481	1.693

Рисунок 20. Запрос эксперту на изменение оценки

В таблице 13 отражены приведенные результаты.

Таблица 13. Сопоставление коэффициентов согласованности

№ проекта	Первоначальный коэффициент согласованности, $L_c(V)$	Обращения к экспертам, кол.	Итоговый коэффициент согласованности, $L_c(V)$
Проект 1	0,687	3	0,865
Проект 2	0,884	0	0,884
Проект 3	0,696	1	0,803
Проект 4	0,615	3	0,836
Проект 5	0,739	2	0,815
Проект 6	0,8	0	0,8

Процедура обратной связи с экспертами необходима для повышения согласованности экспертных суждений и продемонстрирована на рисунке 21.

Так в целом, 523 проекта оценены с достаточной степенью согласованности, а для 1061 проекта генерировался запрос на изменение оценки с помощью алгоритма обратной связи с экспертами. При этом для оценки степени достаточности согласованности вычислялся приведенный коэффициент

согласованности. Следует отметить, что эксперт всегда соглашался изменить свою оценку.

	Проект 1	Проект 2	Проект 3	Проект 4	Проект 5	Проект 6
lebron5@lebron.com 0.115	9	4	3	6	1	7
lebron6@lebron.com 0.192	8	4	2	5	1	6
lebron1@lebron.com 0.192	9	4	2	5	1	7
lebron2@lebron.com 0.154	9	4	3	6	2	6
lebron4@lebron.com 0.154	9	5	3	5	1	7
lebron3@lebron.com 0.192	9	4	2	5	2	6

Согласованность

Название	Коэффициент согласованности	
Проект 1	0.865	Сгенерировать запрос
Проект 2	0.884	Сгенерировать запрос
Проект 3	0.803	Сгенерировать запрос
Проект 4	0.836	Сгенерировать запрос
Проект 5	0.815	Сгенерировать запрос
Проект 6	0.8	Сгенерировать запрос

Порог обнаружения

0.407

Порог применения

0.78

Рисунок 21. Итоговые значения коэффициентов согласованности

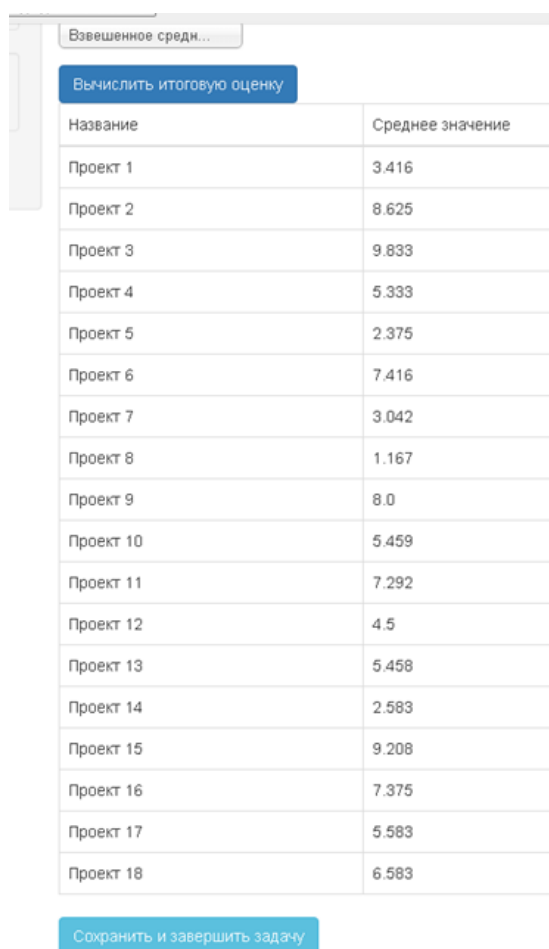
Анализ результатов общих вычислительных расчетов (суммарно для всех 528 проектов по тем критериям было подсчитано 1584 приведенных коэффициента согласованности) представлен в таблице 14.

Таблица 14. Результаты согласования оценок

Значение приведенного коэффициента согласованности, $R_c(V)$	$R_c(V) > 0,785$	$0,785 > R_c(V) > 0,5$	$0,5 > R_c(V) > 0,407$
Количество проектов	523	903	158
Количество обращений к экспертам	0	1–3	>4

Так, для значений приведенного коэффициента, превышающего значение 0,5, было достаточно менее 4 обращений к экспертам для получения согласованного множества оценок. Для меньших (но превышающих порог обнаружения) значений приведенного коэффициента согласованности количество запросов к экспертам составляло 4 и более, и примерно в 30% случаев набор оценок не являлся непротиворечивым, однако окончательные значения коэффициента лежало между значениями 0,8 и 0,99. Таким образом, алгоритм, реализующий метод повышения согласованности, обеспечивает хорошую сходимость экспертных оценок.

Завершающим этапом обработки результатов экспертного оценивания является агрегирование согласованных экспертных оценок, пример для описанной выше задачи продемонстрирован на рисунке 22.



Название	Среднее значение
Проект 1	3.416
Проект 2	8.625
Проект 3	9.833
Проект 4	5.333
Проект 5	2.375
Проект 6	7.416
Проект 7	3.042
Проект 8	1.167
Проект 9	8.0
Проект 10	5.459
Проект 11	7.292
Проект 12	4.5
Проект 13	5.458
Проект 14	2.583
Проект 15	9.208
Проект 16	7.375
Проект 17	5.583
Проект 18	6.583

Рисунок 22. Итоговые оценки

Оценку эффективности применения предложенных в данной работе математических моделей и методов обработки результатов конкурса, провели в сравнении с уже имеющимися данными по конкурсу, проходившем в 2017 году с позиции следующих критериев:

- время работы экспертной группы;
- достоверности получаемых результатов экспертизы;
- требований к мобильности экспертов;
- удобства взаимодействия участников конкурса.

В таблице 15 приведены результаты сравнения по предложенным критериям.

Таблица 15. Результаты сравнения по показателям

Показатели	2017 г.	2018 г.
Общая продолжительность работы конкурсной комиссии, дн.	10	<u>7</u>
Средняя согласованность в значении приведенного коэффициента, $R_c(V)$	0,6	<u>0,84</u>
Форма взаимодействия участников процесса оценивания	Традиционная	<u>Сетевая</u>

Оценить эффективность применения предложенных в данной работе математических моделей и методов обработки результатов экспертного оценивания можно с точки зрения продолжительности работы экспертной группы, сопоставив время, необходимое для получения итоговой оценки с применением предложенной информационной технологии поддержки групповой экспертизы в условиях распределенного взаимодействия участников. Сокращение общей продолжительности работы экспертной группы с 10 до 7 рабочих дней достигается за счет уменьшения среднего времени получения итоговой оценки конкурсной работы до 30%.

Эффективность применения алгоритма оценки согласованности экспертных суждений достигается за счет повышения средней согласованности результатов оценивания до 40%, и снижением количества ситуаций, когда низкая

согласованность результатов (ранее число таких работ составляло до 10% от общего числа работ) оценивания экспертами являлась следствием случайной ошибки. И при этом соответственно повышается точность получения итоговых агрегированных экспертных оценок.

Помимо этого, разработанный программный комплекс поддержки принятия решений обеспечивает удобную форму распределенного взаимодействия участников процесса принятия решения. При этом эксперты находятся в разных городах, не взаимодействуя друг с другом, а координатор обеспечивает полный цикл процесса решения задачи, т.е. является ответственным за «техническую сторону» процесса.

Обобщенная оценка эффективности применения разработанных математических моделей, алгоритмов и программных средств обработки результатов экспертного оценивания в рамках технологии поддержки групповой экспертизы в распределенной среде представлена в таблице 16.

Таблица 16. Эффективность применения математического и программного обеспечения

Результаты исследований	Эффективность применения, %
Информационная технология поддержки групповой экспертизы в распределенной среде	30
Метод повышения согласованности экспертных суждений	40
Модель апостериорной оценки компетентности экспертов	Использование в конкурсах

Эффективность применения математического и программного обеспечения обработки результатов экспертного оценивания подтверждается представленными актом о внедрении, справкой об использовании результатов и свидетельством государственной регистрации программ для ЭВМ (приложение G).

4.4. Выводы по главе

Эффективность предложенных моделей, методов, алгоритмов и программных средств подтверждена апробацией на практических задачах: тестирование математических моделей и методов обработки результатов экспертного оценивания, экспериментальное исследование модели апостериорной динамической оценки компетентности экспертов, а также демонстрация работы библиотеки математических моделей и методов в составе программного комплекса поддержки принятия решений «ЭКСПРЕСС» для прикладной задачи экспертного оценивания.

1. Подтверждена адекватность математических моделей и методов обработки результатов экспертного оценивания, применяемых в распределенной среде для использования в задачах групповой экспертизы.
2. Выполнена оценка эффективности сетевой экспертной деятельности на основе совершенствования математических моделей, алгоритмов и программных средств обработки результатов экспертного оценивания в рамках информационной технологии поддержки групповой экспертизы в распределенной среде представлена на примере экспертного оценивания при проведении VI Всероссийского конкурса творческих и исследовательских работ студентов и школьников «Взгляд в будущее 2018» а базе Национального исследовательского Томского политехнического университета.
3. Представлены результаты внедрений и апробации, подтверждаемые актом о внедрении, справкой об использовании результатов и свидетельством государственной регистрации программ для ЭВМ (приложение G).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе решена актуальная научно-техническая задача создания математического и программного обеспечения обработки результатов группового экспертного оценивания в распределенной среде, имеющая существенное значение для повышения эффективности управления сетевой экспертной деятельностью в распределенных системах поддержки принятия решений и развития новых информационных технологий поддержки управленческой деятельности в социальных и экономических системах.

Основные выводы и результаты работы заключаются в следующем.

1. Разработана информационная технология поддержки групповой экспертизы в распределенной среде с возможностью управления согласованностью экспертных суждений и динамической оценки компетентности экспертов, обеспечивающая эффективную форму распределенного взаимодействия участников данного процесса и позволяющая сократить общую его продолжительность до 30%.
2. Разработан метод повышения согласованности экспертных суждений с учетом компетентности экспертов и алгоритм, реализующий данный метод для различных шкал оценивания, с использованием процедуры обратной связи с экспертами.
3. Экспериментально установлено, что применение метода повышения согласованности экспертных суждений позволяет повысить среднюю согласованность результатов оценивания до 40%, и уменьшить влияние случайной экспертной ошибки на итоговую согласованность.
4. Разработан новый способ агрегирования ординальных экспертных оценок с учетом компетентности экспертов, позволяющий перейти к оптимизационной задаче о назначениях, для решения которой известны эффективные алгоритмы.
5. Предложена модель апостериорной оценки компетентности экспертов, обеспечивающая возможность корректировки значений показателя

компетентности каждого эксперта по результатам мониторинга эффективности его оценочной деятельности.

6. Разработана библиотека математических моделей и методов в составе программного комплекса поддержки принятия решений в распределенной среде, применение которой позволяет повысить эффективность управления экспертной деятельностью и снизить продолжительность проведения экспертизы для решения практических задач.
7. Выполнена оценка эффективности применения информационной технологии, математического и программного обеспечения обработки результатов групповой экспертизы в распределенной среде.

Результаты исследований опубликованы в работах [52; 53; 71; 72; 73; 74; 75; 76; 155].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аверченков, В.И. Мониторинг и прогнозирование региональной потребности в специалистах высшей научной квалификации: монография / В.И. Аверченков, В.М. Кожухар, А.Г. Подвесовский, А.С. Сазонова. – Брянск: БГТУ, 2010. – 163 с.
2. Агафонов, А. Контроллинг и экономика знаний – инструменты управления испытательным полигонным комплексом в условиях смены технологических укладов / А. Агафонов // Современные вызовы контроллингу и требования к контроллингу: Сборник научных трудов VI международного конгресса по контроллингу. – Владимир-Москва: НП «Объединение контроллеров», 2015. – С. 3-6.
3. Акофф, Р. Искусство решения проблем: пер. с англ. / Р. Акофф. – М.: Мир, 1982. – 224 с.
4. Бешелев, С.Д. Математико-статистические методы экспертных оценок / С.Д.Бешелев, Ф.Г. Гурвич. – 2-е изд. – М.: Статистика, 1980. – 263 с.
5. Бешелев, С.Д. Экспертные оценки / С.Д. Бешелев, Ф.Г. Гурвич. – М.: Наука, 1973. – 163 с.
6. Бурков, В.Н. Введение в теорию управления организационными системами / Бурков В.Н., Н.А. Коргин, Д.А. Новиков // Под ред. чл.-корр. РАН Д.А. Новикова. – М.: Либроком, 2009. – 264 с.
7. Вайнмахер, А.М. О стратегическом развитии и модернизации РАН / А.М. Вайнмахер, Д.С. Шмерлинг // Труды совещания: XII Всероссийское совещание по проблемам управления ВСПУ-2014. – М.: Институт проблем управления имени В.А. Трапезникова РАН, 2014. – С. 8004-8012.
8. Васин, А.В. Программная платформа автоматизации деятельности кафедры «Информатика и программное обеспечение» / А.В. Васин, Д.Г. Лагереv // Достижения молодых ученых в развитии инновационных процессов в

- экономике, науке и образовании: материалы VIII междунар. науч.-практ. конф. / под ред. О.М. Голембиовской. – Брянск: БГТУ, 2016. – С. 137-140.
9. «Взгляд в будущее» 2018: положение. – URL: <https://storage.tusur.ru/files/112935/Polozhenie.pdf>
 10. «Взгляд в будущее» 2018: протокол. – URL: http://portal.tpu.ru:7777/science/konkurs/future/picture/2015/protokol_2018.PDF
 11. Вишневский, В.В. Организационные процедуры ситуационного центра / В.В. Вишневский, С.М. Симонов // Математические машины и системы. – 2010. – № 4. – С. 62-67.
 12. Вишневский, В.В. Применение технологий ситуационных центров для автоматизации форсайтных исследований / В.В. Вишневский, С.М. Симонов // Математические машины и системы. – 2011. – № 2. – С. 35-40.
 13. Воробьёв, С. Н. Управленческие решения / С.Н. Воробьёв, К.В. Балдин, В.Б. Уткин. – М.: ЮНИТИ - ДАНА, 2003. – 317 с.
 14. Губанов, Д.А. Сетевая экспертиза / Д.А. Губанов, Н.А. Коргин, Д.А. Новиков, А.Н. Райков. – 2-е изд. – М.: Эгвес, 2011. – 166 с.
 15. Гугунова, П.И. Коллективное информационное взаимодействие участников экспертных сетей: анализ современного состояния исследований / П.И. Гугунова, А.М. Кашевник // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2017. – Т. 17 № 5. – С. 859-871.
 16. Гуляницкий, Л.Ф. О программных средствах поддержки принятия решений в задачах группового выбора / Л.Ф. Гуляницкий, С.А. Малышко, И.В. Сергеенко // Управляющие системы и машины. – 1993. – № 5. – С. 90-97.
 17. Гуляницкий, Л.Ф. Один поход к формализации и исследованию задач группового выбора / Л.Ф. Гуляницкий, О.В. Волкович, С.А. Малышко // Кибернетика и системный анализ. – 1994. – № 3. – С. 120-127.

18. Даниленко, И.Н. Архитектурные шаблоны интеграции разнородных информационных систем на основе сервисной шины / И.Н. Даниленко, Д.А. Кузин, К.С. Игнатова // Вестник кибернетики. – 2015. – № 4 (20). – С. 100-104.
19. Диев, В.С. Критерии выбора альтернатив: рациональные модели и реальные решения / В.С. Диев // Вестник Новосибирского государственного университета. Серия: Философия. – 2012. – Т. 10. № 1. 2. – С. 5-12.
20. Диев, В.С. Рациональные решения: критерии, модели, парадоксы / В.С. Диев // Вопросы философии. – 2013. – № 8. – С. 4-11.
21. Дэвид, Г. Метод парных сравнений: пер. с англ. / Г. Дэвид. – М.: Статистика, 1978. – 144 с.
22. Евенко, В.В. Многокритериальная модель оценки интеллектуального капитала будущих специалистов для промышленных предприятий / В.В. Евенко, А.Г. Подвесовский, Н.М. Белеванцева, В.В. Спасенников // Социология образования. – 2013. – № 1. – С. 36-43.
23. Еременко, В.Т. Методические аспекты современной экспертизы в задачах управления социальными и экономическими системами / В.Т. Еременко, М.А. Сазонов // Информационные системы и технологии. – 2017. – № 4 (102). – С. 36-43.
24. Ермаков, А.Н. Облачный фреймворк для интеграции сетевых экспертных и аналитических средств / А.Н. Ермаков, С.В. Клименко, А.А. Меркулов, С.А. Панфилов, А.Н. Райков // Труды института системного программирования РАН. – 2015. – Т. 27. № 6. – С. 421-440.
25. Ермаков, А.Н. Сходимость решений при аварийных ситуациях на железной дороге / А.Н. Ермаков, А.А. Меркулов, С.А. Панфилов, А.Н. Райков // Труды совещания: XII Всероссийское совещание по проблемам управления ВСПУ-2014. – М.: Институт проблем управления имени В.А. Трапезникова РАН, 2014. – С. 8161-8172.

26. Ерохин, Д.В. Стратегическое управление инновационной деятельностью предприятия: монография / Д.В. Ерохин, Д.Г. Лагерева, Е.А. Ларичева, А.Г. Подвесовский. – Брянск: БГТУ, 2010. – 196 с.
27. Кадеко, С.В. Правила підвищення узгодженості індивідуальних експертних ранжирувань під час проведення групових експертиз / С.В. Каденко // Реєстрація, зберігання і обробка даних. – 2012. – Т. 14. № 2. – С. 116-124.
28. Каденко, С.В. Метод поышения согласованности индивидуальных экспертных ранжируваний при их агрегации / С.В. Каденко, В.В. Цыганок // Проблемы управления и информатики. – 2012. – № 2. – С. 31–38.
29. Календарев, А. Современная веб-архитектура. От монолита к микросервисам / А. Календарев // Системный администратор. – 2017. – № 1-2 (170-171). – С. 80-83.
30. Кастельс, М. Информационная эпоха: экономика, общество и культура: пер. с англ. Под науч. ред. О.И. Шкаратана. – М.: ГУ ВШЭ, 2000. – 608 с.
31. Качала, В.В. Основы теории систем и системного анализа. Учебное пособие для вузов / В.В. Качала. – 2-е изд., испр. – М.: Горячая линия – Телеком, 2012. – 210 с.
32. Кемени, Дж. Кибернетическое моделирование. Некоторые приложения: пер. с англ. / Дж. Кемени, Дж. Снелл. – М.: Советское радио, 1972. – 192 с.
33. Кендэл, М. Ранговые корреляции: пер. с англ. / М. Кендэл. – М.: Статистика, 1975. – 216 с.
34. Киселев, И.С. Показатель согласованности количественных предпочтений в матрице парных сравнений / И.С. Киселев // Управление, вычислительная техника и информатика. – 2011. – № 5. – С. 22–24.
35. Клуб регионов. Политика регионов – все самые важные события в подробном и доступном изложении. – URL: <http://club-rf.ru/>
36. Коргин, Н.А. Технологии сетевой экспертизы / Н.А. Коргин, Д.А. Новиков, А.Т. Райков // Проблемы теории практики управления. – 2012. – № 3. – С. 61-69.

37. Косарев, Е.К. Метод повышения внутренней согласованности результатов парных сравнений без обратной связи с экспертами / В.Г. Тоценко, Е.К.Косарев // Реєстрація, зберігання і обробка даних. – 2004. – Т. 6. № 1. – С. 115–125.
38. Кравец, А.Г. Система управления компетенциями с формированием индивидуальных профессиональных тестов / А.Г. Кравец, Д.В. Юдин // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2013. – № 4(24). – С. 176–183.
39. Кравец, А.Г. Формальные метрики для автоматизированной оценки изобретений / А.Г. Кравец, М.С. Леченченко // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2017. – № 3(39). – С. 8–19.
40. Лаборатория СППР – делаем Ваш выбор лучше. –URL:<http://www.dss-lab.org.ua>
41. Ларичев, О.И. Качественные методы принятия решений. Вербальный анализ решений / О.И. Ларичев, Е.М. Мошкович. – М.: Наука, 1996. – 208с.
42. Ларичев, О.И. Наука и искусство принятия решений / О.И. Ларичев. – М.: Наука, 1979. – 200 с.
43. Ларичев, О.И. Объектные модели и субъективные решения / О.И. Ларичев. - М.: Наука, 1987. – 144с.
44. Ларичев, О.И. Теория и методы принятия решений, а также Хроника событий в Волшебных странах: учебник / О.И. Ларичев. – 2-е изд. – М.: Изд-во «Логос», 2002. – 393с.
45. Литвак, Б. Г. Разработка управленческого решения: Учебник / Б.Г. Литвак. – 3-е изд. – М.: Дело, 2002. – 392 с.
46. Литвак, Б.Г. Экспертиза в России / Б.Г. Литвак // Заводская лаборатория. – 2000. – Т. 66. № 7. – С.61- 66.
47. Литвак, Б.Г. Экспертная информация: Методы получения и анализа / Б.Г. Литвак. – М.: Радио и связь, 1982. – 184 с.
48. Литвак, Б.Г. Экспертные оценки и принятие решений / Б.Г. Литвак. – М.: Патент, 1996. – 271 с.

49. Любченко, В.В. Исследование значимости учета коэффициентов компетентности в групповой экспертной оценке / В.В. Любченко // Труды Одесского политехнического университета. – Одесса: Одесский политехнический университет. – 2005, вып. 1(23). – С. 177-180.
50. Микони, С.В. Многокритериальный выбор на конечном множестве альтернатив: Учебное пособие / С.В. Микони. – СПб.: Изд-во «Лань», 2009. – 272 с.
51. Миркин, Б.Г. Проблемы группового выбора / Б.Г. Миркин. – М.: Наука, 1974. – 256 с.
52. Михалева, О.А. Математические модели поддержки принятия групповых решений в распределенной среде / О.А. Михалева, Е.А. Козлов, А.А. Вершинин // Continuum. Математика. Информатика. Образование. – Елец: Елецкий государственный университет им. И.А. Бунина. – 2016. – С. 39-45.
53. Михалева, О.А. Модели и алгоритмы обработки результатов групповой экспертизы в распределенной среде / О.А. Михалева, А.Г. Подвесовский // Научно-технический журнал «Информационные системы и технологии». – 2019. – № 6 (116). – С. 30-38.
54. Молоканов, В.О. Семантические алгоритмы корпоративной системы поиска экспертов / В.О. Молоканов, Д.А. Романов, В.В. Цибульский // Рождение коллективного разума: О новых законах сетевого социума и сетевой экономики и об их влиянии на поведение человека. Великая трансформация третьего тысячелетия / под ред. Б.Б. Славина. – М.: ЛЕНАНД, 2014. – С. 147-158.
55. Новиков, Д. А. Теория управления организационными системами. 3-е изд. испр. и дополн. – М. Издательство физико-математической литературы, 2012. – 604 с.
56. Новиков, Д. А. Экспертные оценки – инструменты аналитика / Д.А. Новиков, А.И. Орлов // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. – 2013. – Т. 79. № 4. – С.3- 4.

57. Облачный сервис интеллектуальной групповой экспертизы. – URL: <http://2012.secr.ru/lang/ru-ru/talks/cloud-service-for-a-group-intellectual-expertise>
58. Орлов, А.И. Организационно-экономическое моделирование: экспертные оценки / А.И. Орлов. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011. – 486 с.
59. Орлов, А.И. Теория экспертных оценок в нашей стране. – URL: <http://ej.kubagro.ru/2013/09/pdf/114.pdf>
60. Орлов, С.В. Типология методов управления и планирования в современном обществе: философский аспект / С.В. Орлов // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Экономика и экологический менеджмент», 2014. – № 2. – URL: <http://www.economics.ihtb.ifmo.ru>
61. Оценка программ и политик в России: становление профессии. – URL: http://www.eval.ru/_conferece_theme
62. Павлов, А.Н. Информационные технологии для формирования коллективной экспертной оценки / А.Н. Павлов // Ситуационные центры: модели, технологии, опыт практической реализации: Материалы научно – практической конференции. РАГС / под общ. ред. А.Н. Данчула. – М.: Издательство РАГС, 2006. – С. 150-159.
63. Павлов, А.Н. Особенности работы с экспертами в вычислительных сетях / А.Н. Павлов // Научно - техническая информация. Серия 1. Организация и методика информационной работы. – 2006. – № 7. – С. 14-23.
64. Павлов, А.Н. Программные средства для поддержки процессов проведения групповой экспертизы / А.Н. Павлов // Ситуационные центры: модели, технологии, опыт практической реализации: Материалы научно – практической конференции. РАГС / под общ. ред. А.Н. Данчула. – М.: Издательство РАГС, 2006. – С. 66-72.
65. Падерно, П.И. Применение метода анализа иерархии в групповых экспертизах / П.И. Падерно, Е.А. Бурков // XII всероссийское совещание по проблемам управления ВСПУ-2014. – Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН. – 2014. – С. 7929-7937.

66. Панкова, Л.А. Информационно-аналитическая поддержка управления жилищно-коммунальным хозяйством (на примере планирования капитального ремонта) / Л.А. Панкова, В.А. Пронина // Проблемы управления. – 2008. – № 5. – С. 49-56.
67. Панкова, Л.А. Организация экспертизы и анализ экспертной информации / Л.А. Панкова, А.М. Петровский, М.В. Шнейдерман. – М.: Наука, 1984. – 120 с.
68. Политическая экспертная сеть «Кремль.орг». – URL: <http://www.kreml.org>
69. Петровский, А.Б. Теория принятия решений: Учебник для студ. высш. учеб. заведений / А.Б. Петровский. – М.: Академия, 2009. – 400 с.
70. Подвесовский, А.Г. Динамическая оценка компетентности экспертов в моделях принятия групповых решений / А.Г. Подвесовский // Ситуационные центры. Современные информационно - аналитические технологии поддержки принятия решений: Материалы научно-практической конференции. РАГС / под общ. ред. А.Н. Данчула. – М.: Издательство РАГС. – 2011. - С. 256-263.
71. Подвесовский, А.Г. Математические модели и информационные технологии поддержки принятия решений в распределенных экспертных сетях / А.Г. Подвесовский, О.А. Михалева, Е.А. Козлов, А.А. Вершинин // Современные информационные технологии и ИТ-образование. – Т.12. № 2. – Москва: Изд-во Фонд содействия развитию интернет-медиа, ИТ-образования, человеческого потенциала "Лига интернет-медиа". – 2016. – С. 134-146.
72. Подвесовский, А.Г. Обобщенный алгоритм определения согласованных групповых кардинальных оценок с учетом компетентности экспертов / А.Г. Подвесовский, О.А. Михалева // Труды II международной конференции «Информационные технологии интеллектуальной поддержки принятия решений» (Уфа, 18-21 мая 2014 г.). Т 1. – Уфа: УГАТУ. – 2014. – С. 58-64.
73. Подвесовский, А.Г. Особенности моделирования процессов принятия групповых решений в распределенных экспертных сетях /

- А.Г. Подвесовский, О.А. Михалева // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2016. – № 4(52). – С. 239-250.
74. Подвесовский, А.Г. Программная поддержка принятия групповых решений в распределенной среде: проблемы и пути решения / А.Г. Подвесовский, О.А. Михалева, Е.А. Козлов, А.А. Вершинин // Менеджмент в социальных и экономических системах: Сборник статей VII Международной научно-практической конференции / под общ. ред. С.Д. Резника (Пенза, 24-25 декабря 2015 г.). – Пенза: Пензенская государственная сельскохозяйственная академия. – 2015. – С. 34-41.
 75. Подвесовский, А.Г. Программный комплекс поддержки принятия решений в распределенной среде: архитектура и особенности реализации / А.Г. Подвесовский, О.А. Михалева, Е.А. Козлов, А.А. Вершинин // Информационно-вычислительные технологии и их приложения: сборник статей XX Международной научно-технической конференции. – Пенза: РИО ПГСХА. – 2016. – С. 37-42.
 76. Подвесовский, А.Г. Технология поддержки групповой экспертизы в распределенной среде / А.Г. Подвесовский, О.А. Михалева // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2019. – Т. 8. – № 4 (48). – С. 20-25.
 77. Полетаев, Д.О. Сетевая экспертиза – значимый элемент инновационного развития государства / Д.О. Полетаев // Инновационная Евразия: Материалы VII Евразийского экономического форума молодежи. – Екатеринбург: Уральский государственный экономический университет. – 2016. – С. 71-73.
 78. Постников, В.М. Анализ подходов к формированию состава экспертной группы, ориентированной на подготовку и принятие решений / В.М. Постников // Наука и образование. – 2012. – № 5. – С. 333-346.
 79. Постников, В.М. Подход к увеличению уровня согласованности мнений экспертов при выборе варианта развития системы обработки информации / В.М. Постников, С.Б. Спиридонов // Наука и образование. – 2013. – № - С. 333-350.

80. Райков, А. Н. Сетевая экспертная поддержка решений / А.Н. Райков // Управление большими системами: сборник трудов. – 2010. – № 30-1. – С. 758-773.
81. Райков, А.Н. Сетевая экспертно-аналитическая система для прогноза успеха НИОКР. – URL: [http://innoj.tversu.ru/Vipusk3\(4\)2014/8%20Райков.pdf](http://innoj.tversu.ru/Vipusk3(4)2014/8%20Райков.pdf)
82. Рашкин, В.Ф. В России накопились серьезнейшие проблемы в сфере жилищного хозяйства. Выступление от фракции КПРФ. – URL: <http://kprf.ru>
83. Розенберг, Г.С. О Национальном проекте «Спасаем Волгу» Эскиз / Г.С. Розенберг, С.В. Саксонов, Т.Н. Сафронова, Г.Р. Хасаев // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2013. – Т. 15, №3(7). – С. 2072-2079.
84. Россия: от информационного общества к обществу знаний. – URL: <http://www.smartcongress.ru>
85. Рязанцев, В.И. Методика проведения согласования экспертных оценок полученных путём индивидуального анкетирования методом анализа иерархий / В.И. Рязанцев, А.В. Морозов // Инженерный вестник. – 2014. – № 12. – С. 1-9.
86. Саати, Т.Л. Аналитическое планирование. Организация систем: пер. с англ. / Т.Л. Саати, К. Кернс; науч. ред. И.А. Ушакова. – М.: радио и связь, 1991. – 224 с.
87. Саати, Т.Л. Принятие решений. Метод анализа иерархий: пер. с англ. / Т.Л. Саати. – М.: Радио и связь, 1993. – 278 с.
88. Савицкий, И.И. Генезис и типы сетевых экспертных сообществ / И.И. Савицкий // Рождение коллективного разума: О новых законах сетевого социума и сетевой экономики и об их влиянии на поведение человека. Великая трансформация третьего тысячелетия / под ред. Б.Б. Славина. – М.: ЛЕНАНД. – 2014. – С. 112-122.
89. Сальникова, О.В. Роль сетевых информационных технологий в социально-экономическом развитии страны / О.В. Сальникова, Е.А. Кизон // Модели,

- системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. – 2011. – № 1. – С. 130-136.
90. Салухов, В.И. Образовательная компонента в формировании и становлении системы распределенных ситуационных центров и центров компетенции / В.И. Салухов, Б.В. Соколов // Стратегические приоритеты. – 2017. – №2(14). – С. 138-147.
 91. Сахалин Энерджи – оценка воздействия на социальную сферу. – URL: <http://www.sakhalinenergy.ru/ru/social/sia/>
 92. Связанные одной сетью. - URL: <http://polit.ru/article/2014/07/17/proexperts/>
 93. Семенов, С.С. Анализ методов принятия решений при разработке сложных технических систем / С.С. Семенов, А.В. Полтавский, В.В. Маклаков, А.В. Крянев // Труды совещания: XII Всероссийское совещание по проблемам управления ВСПУ-2014. – М.: Институт проблем управления имени В.А. Трапезникова РАН. – 2014. – С. 8101-8123.
 94. Сервис экспертных оценок. – URL: <http://www.unisamle.ru>
 95. Сидельников, Ю.В. Системный анализ экспертного прогнозирования: учебное пособие / Ю.В. Сидельников. – М.: Московский авиационный институт, 2007. – 453 с.
 96. Ситуационные центры. Опыт, состояние, тенденции развития / Н.И. Ильин, Н.Н. Демидов, Е.В. Новикова. – М.: Медиа Пресс, 2011. – 336 с.
 97. Славин, Б.Б. От краудсорсинга к ноосорсингу / Б.Б. Славин // Открытые системы. СУБД. – 2012. – № 1. – С. 60–62. – URL: <http://www.osp.ru/os/2012/01/13012255>
 98. Славин, Б.Б. Современные экспертные сети / Б.Б. Славин // Открытые системы. – 2014. – №7. – С. 30-33. – URL: <http://www.osp.ru/os/2014/07/13042916/>
 99. Славин, Б.Б. Web 3.0 и новая экспертная экономика / Б.Б. Славин // Рождение коллективного разума: О новых законах сетевого социума и сетевой экономики и об их влиянии на поведение человека. Великая

- трансформация третьего тысячелетия / под ред. Б.Б. Славина. – М.: ЛЕНАНД. – 2014. – С. 65-77.
100. Соколов, А.В. Долгосрочный прогноз научно – технологического развития России на период до 2030 года: ключевые особенности и первые результаты / А.В. Соколов, А.А. Чулок // Форсайт. – 2012. – Т.6.№ 1. – С. 12-25.
 101. Специальное программное обеспечение «Сетевая экспертно-аналитическая система «Архидока» / Свидетельство о государственной регистрации программ № 2011613934 по заявке 2011612011 от 29 марта 2011 г.// Новые стратегии. – М.: Роспатент. – 2012.
 102. Тарасенко, Ф.П. Прикладной системный анализ: учебное пособие / Ф.П. Тарасенко. – М.: КНОРУС, 2010. – 224 с.
 103. Тоценко, В.Г. Групповые ранжирования с обратной связью с экспертами и учетом их компетентности / В.Г. Тоценко // Проблемы управления и информатики. – 2006. – № 5. – С. 92-99.
 104. Тоценко, В.Г. Исследование методов группового экспертного оценивания экспертами, работающими в INTERNET/ В.Г. Тоценко, В.В. Цыганок // Реєстрація, зберігання та оброб. даних. – 2004. – Т. 6. № 2. – С. 81–87.
 105. Тоценко, В.Г. Метод определения достаточности согласованности индивидуальных ранжирований при принятии групповых решений / В.Г. Тоценко // Проблемы управления и информатики. – 2006. – № 4. – С. 82–88.
 106. Тоценко, В.Г. Методи та засоби підтримки прийняття рішень / В.Г. Тоценко // Реєстрація, зберігання і оброб. даних. – 2007. – Т. 9. № 3 – С. 98-104.
 107. Тоценко, В.Г. Методы и системы поддержки принятия решений. Алгоритмический аспект / В.Г. Тоценко. – Киев: Наукова Думка, 2002. – 378 с.

108. Тоценко, В.Г. Методы определения групповых многокритериальных ординальных оценок с учетом компетентности экспертов / В.Г. Тоценко // Проблемы управления и информатики. – 2005. – № 5. – С. 84–89.
109. Тоценко, В.Г. Об унификации алгоритмов организации экспертиз / В.Г. Тоценко // Проблемы правовой информатизации. – 2006. – № 2(12). – С. 96-101.
110. Тоценко, В.Г. Побудова баз знань систем підтримки прийняття рішень групами розподілених експертів / В.Г. Тоценко, В.В. Циганок, А. Деєв, І.Д. Олійник // Реєстрація, зберігання і оброб. даних. – 2002. – Т. 4. № 4. – С. 120–128.
111. Тоценко, В.Г. Підтримка прийняття рішень щодо вибору методу експертного оцінювання / В.Г. Тоценко, В.В. Цыганок, П.Т. Качанов // Системные исследования и информационные технологии. – 2002. – № 4. – с. 52-61.
112. Трахтенгерц, Э.А. Компьютерная поддержка переговоров при согласовании управленческих решений / Э.А. Трахтенгерц. – М: СИНТЕГ, 2003. – 181 с.
113. Трахтенгерц, Э.А. Субъективность в компьютерной поддержки управленческих решений / Э.А. Трахтенгерц. – М.: СИНТЕГ, 2001. – 256 с.
114. Трёхуровневая архитектура. – URL: <http://dic.academic.ru/dic.nsf/ruwiki/198141>
115. Указ Президента РФ от 12.05.2009 N 537. – URL: <https://legalacts.ru/doc/ukaz-prezidenta-rf-ot-12052009-n-537/>
116. Фатхутдинов, Р. А. Разработка управленческого решения: Учеб. пос. / Р.А. Фатхутдинов. – М.: ИНФРА-М., 2001. –283 с.
117. Фонд содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере. – URL: <http://www.fasie.ru>
118. Фултон, Х. Путь Ruby / Х. Фултон // М.: ДМК Пресс, 2016. – 664 с.
119. Холлендер, М. Непараметрические методы статистики: пер. с англ. / М. Холлендер, М. Вулф. – М.: Финансы и статистика, 1983. – 520 с.

120. Циганок, В.В. Врахування компетентності експертів при визначенні групового ранжирування / В.В.Циганок, О.В.Андрійчук // Реєстрація, зберігання і обробка даних. – 2011. – Т.13. №1. – С. 94-105.
121. Циганок, В.В. Елементи комбінаторного підходу при визначенні спектрального коефіцієнта узгодженості експертних парних порівнянь / В.В.Циганок // Реєстрація, зберігання і обробка даних. – 2012. – Т.14. №2. – С. 98-105.
122. Циганок, В.В. Про одну стратегію організації зворотного зв'язку з експертами при груповому ординальному оцінюванні / Системи підтримки прийняття рішень. Теорія і практика // Збірник доповідей науково-практичної конференції з міжнародною участю. – Київ: НАН України, Інститут проблем математичних машин і систем. – 2010. – С. 26-29.
123. Цыганок, В.В. О достаточности степени согласованности групповых ординальных оценок / В.В. Цыганок, С.В. Каденко // Проблемы управления и информатики. – 2010. – № 4. – С. 107–112.
124. Черный, С.Г. Разработка информационной системы формирования экспертной группы / С.Г. Черный, Д.В. Ходаков // Вісник СумДУ. Серія Технічні науки. – 2008. – № 3. – С. 93-99.
125. Чернышева, Т.Ю. Иерархическая модель оценки и отбора экспертов / Т.Ю. Чернышева // Управление, вычислительная техника и информатика. – 2009. – №1. – С. 168-173.
126. Шитько, А.М. Проектирование микросервисной архитектуры программного обеспечения / А.М. Шитько // Труды БГТУ. Серия 3: физико-математические науки и информатика. – № 2(200). – Минск: Изд-во Белорусский государственный технологический университет. – 2017. – С. 122-125.
127. Шишлина, Н.В. Квалиметрическая оценка электронных образовательных ресурсов ВУЗа / Н.В. Шишлина // Информационные технологии. Проблемы и решения: материалы международной научно-практической

- конференции. - № 1(5). – Уфа: Изд-во Уфимский государственный нефтяной технический университет. – 2018. – С. 3-7.
128. Экспертные сети как альтернатива социальным сетям в научной и образовательной среде. – URL: http://www.it.ru/upload/iblock/7c9/13_slavin.pdf
 129. .Экспир. – URL: <http://xpir.fcntp.ru>
 130. Эмиров, Н.Д. Форсайт – технологии и перспективы их применения в социальной сфере / Эмиров // Вестник ЮУрГУ. – 2012. – № 22. – С. 130-132.
 131. Язык программирования Ruby. URL: <https://www.ruby-lang.org/ru/>
 132. Arrow, K.J. Social choice and individual values / K. J. Arrow. – 2nd ed. – New Haven: Yale University Press, 1963. – P. 124.
 133. Bannister, M. Expert Networks /M. Bannister, J. Kempster // Integrity Research Associates, New York, November 2009. – URL: <http://www.integrity-research.com/integrity-researchselect-case-studies/>
 134. Borda, J.C. Memoire sur le se'lections au scrutiny: Historia de l'acade'mie des sciences pour/ J.C. Borda. —Paris, 1781. — P. 657.
 135. Chan, J. Improving crowd innovation with expert facilitation / J. Chan, S. Dang , S.P. Dow // Proc. 19th ACM Conference on Computer-Supported Cooperative Work and Social Computing. San Francisco, USA. – 2016. –. Pp. 1223–1235.
 136. Condorset, I.A. Exposition des motifs et des principes du plan de constitution. Ar. XIII. 1793/ I.A. Condorset // Mathematiques et sciences humaines. — Paris: Centre de Mathe'matique Sociale. Ecole des Hautes Etudes en Sciences Sociales, 1976. — P. 181.
 137. Currier, J. The 14th Network Effect Expertise. – URL: <http://www.integrity-research.com/integrity-researchselect-case-studies/>
 138. {Deloitte.+Experfy}. – URL: <https://www.experfy.com>
 139. Evans, R. The Sociology of Expertise: The Distribution of Social Fluency // Sociology Compass. – 2008. – V. 2(1). -. Pp. 281-298.

140. Expinet – коллективный интеллект в действии. – URL: <http://www.osp.ru/resources/releases/?rid=18411>
141. Expinet. – URL: <http://www.expinet.ru/>
142. Exploring the Enterprise Service Bus, Part 1: Discover how an ESB can help you meet the requirements for your SOA solution. – 2017. – Режим доступа: <https://www.ibm.com/developerworks/library/ar-esbpat1/ar-esbpat1-pdf.pdf>
143. Fang, H. Probabilistic models for expert finding / H. Fang, C.X. Zhai // Lecture Notes in Computer Science. – 2007. – V. 4425. – Pp. 418–430.
144. Flores, R.L. Using the collective intelligence for inventive problem solving: a contribution for open computer aided innovation / R.L. Flores, J.P. Belaud , J.M. Le Lann , S. Negny // Expert Systems with Applications. – 2015. – V. 42. no 23. – Pp. 9340–9352.
145. Foundation – Skolkovo Community. – URL: <http://sk.ru/foundation/>
http://www.eval.ru/_conferece_theme
146. Gloor Peter, A. Swarm Creativity: Competitive Advantage through Collaborative / Peter A. Gloor // Innovation Networks New York: Oxford University Press, 2006. – P. 212.
147. Heylighen, F. Self-organization in communicating groups: the emergence of coordination, shared references and collective intelligence. – URL: <http://cogprints.org/7265/1/Barcelona-LanguageSO.pdf>
148. Kravets A.G. Models and methods of professional competence level research / A.G. Kravets, A.G. Belov, N.P. Sadovnikova // Recent patents on computer science. – 2016. – Vol 9. no 2. – Pp. 150-159.
149. Lacher, R.C. Expert networks: paradigmatic conflict, technological rapprochement / R.C. Lacher // Minds and Machines. – 1993. – V. 3. no. 1. – Pp. 53–71.
150. Ma, L. Decentralized search in expert networks: generic models and performance bounds. – URL: <https://researcher.watson.ibm.com/researcher/files/us-maliang/PID4363179.pdf>

151. Miao, G. Generative models for ticket resolution in expert networks / G. Miao, L.E. Moser, X. Yan, S. Tao, Y. Chen, N. Anerousis // Proc. 16th ACM SIGKDD Int. Conf. on Knowledge Discovery and Data Mining. Washington, USA. – 2010. – Pp. 733–742.
152. NGINX. High Performance Load Balancer, Web Server, & Reverse Proxy. – URL: <https://www.nginx.com/>
153. Pattern: Monolithic Architecture. – 2017. – Режим доступа: <http://microservices.io/patterns/monolithic.html>
154. Plachouras, V. Diversity in expert search / V. Plachouras // Proc. of the Workshop on Diversity in Document Retrieval. Dublin, Ireland. – 2011. – Pp. 63–67.
155. Podvesovskii, A. A model of control of expert estimates consistency in distributed group expertise / A. Podvesovskii, O. Mikhaleva, V. Averchenkov, A. Reutov, L. Potapov // Communications in computer and information science. – 2017. – V. 754. – Pp. 361–374.
156. PostgreSQL open source Database - URL: <https://www.postgresql.org>
157. Robertson, S. The probabilistic relevance framework: BM25 and beyond / S. Robertson, H. Zaragoza // Foundations and Trends in Information Retrieval. – 2009. – V. 3. no 4. – Pp. 333–389. – URL: https://www.staff.city.ac.uk/~sb317/papers/foundations_bm25_review.pdf
158. Ruby on Rails. – URL: <http://www.rubyonrails.ru/>
159. Ruby on Rails. A web-application framework that includes everything needed to create database-backed web applications according to the Model-View-Controller (MVC) pattern. – URL: <https://rubyonrails.org/>
160. Skopic, F. et. al. Trust and Reputation Mining in Professional Virtual communities / H. Truong, S. Dustdar // Springer. – 2009. – Pp. 76–90.
161. Service, architecture, governance, and business terms. – 2017. – URL: <https://www.ibm.com/developerworks/webservices/library/ws-soa-term1/index.html>

162. Simon, H. The Structure of Ill-structured Problems / H. Simon // Artificial Intelligence. – 1973. – Vol. 4, 181-201. – Pp. 304-325.
163. Surowiecki, J. The Wisdom of Crowds / J. Surowiecki // NY: Anchor Books. – 2005. – P. 336.
164. Text Retrieval Conference (TREC). – URL: <https://trec.nist.gov>
165. Totsenko, V.G. Generation of Pair Comparisons Algorithms for Simulation of Expert Preferences during Decision Making Support, 1 / V.G. Totsenko // Engineering Simulation. – 2001. – vol. 18. – Pp. 303-316.
166. Totsenko, V.G. Generation of Pair Comparisons Algorithms for Simulation of Expert Preferences during Decision Making Support, 2 / V.G. Totsenko // Engineering Simulation. – 2001. – vol. 18. – Pp. 447- 456.
167. Woolley, A. Collective intelligence and group performance / A. Woolley, T.W. Malone, I. Aggarwal // Current Directions in psychological science. – 2015.- Vol. 24 (6). – Pp. 420-424. – Режим доступа: https://www.researchgate.net/publication/286512331_Collective_Intelligence_and_Group_Performance
168. Woolley, A. Evidence for a Collective Intelligence Factor in the Performance of Human Groups / A. Woolley, C.F. Chabris, A. Pentland, N. Hashmi, T.W. Malone // Science. – 2010. – V. 330. no 6004. – Pp. 686-688.
169. Yao, J. Using role determination and expert in the enterprise environment / J. Yao, J. Xu, J. Niu // In Proceedings of the TREC. – 2008, Gaithersburg.: MD. – 2008.
170. Zhang, J. Expertise Networks in Online Communities: Structure and Algorithms / J. Zhang, Mark S. Askerman, L. Adamic // Session: E-Communities. – URL: <http://www2007.org/papers/paper516.pdf>

ПРИЛОЖЕНИЕ А. Диаграммы вариантов использования для программного комплекса поддержки принятия решений в распределенной среде

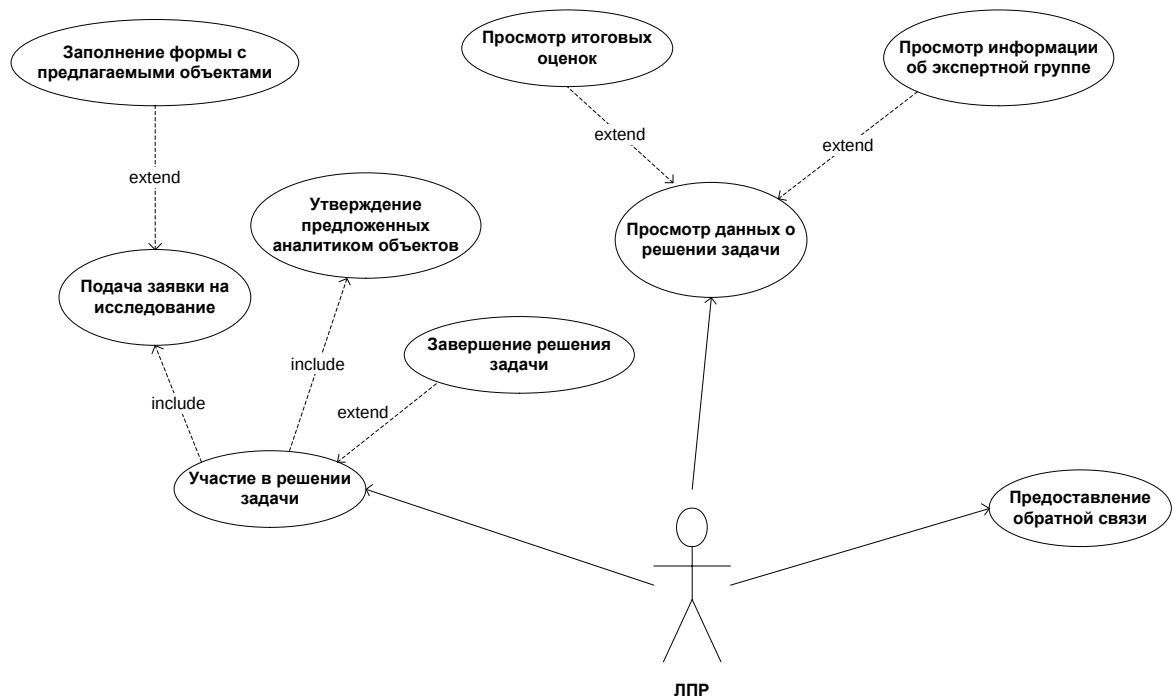


Рисунок П1. Диаграмма вариантов использования для роли ЛПР

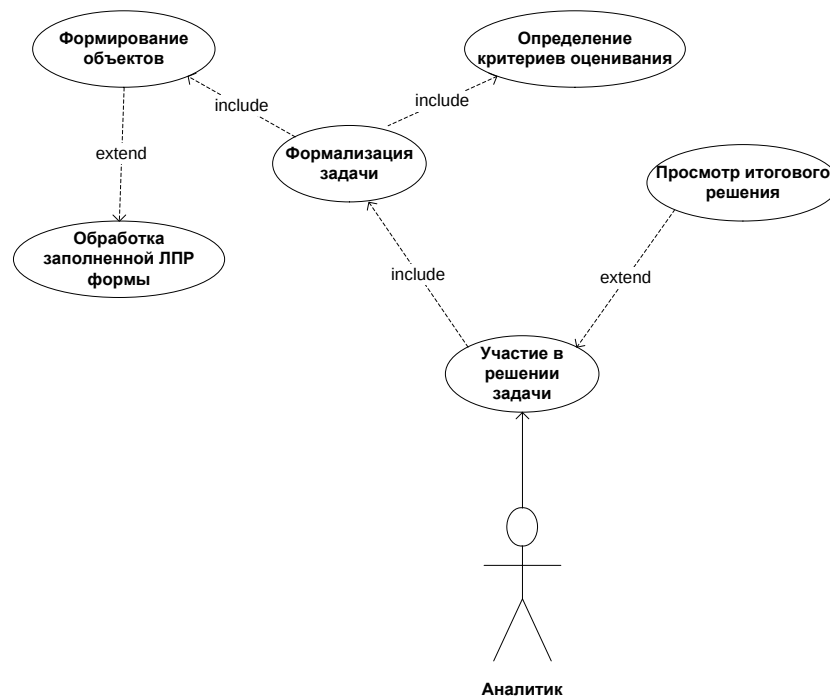


Рисунок П2. Диаграмма вариантов использования для роли аналитика

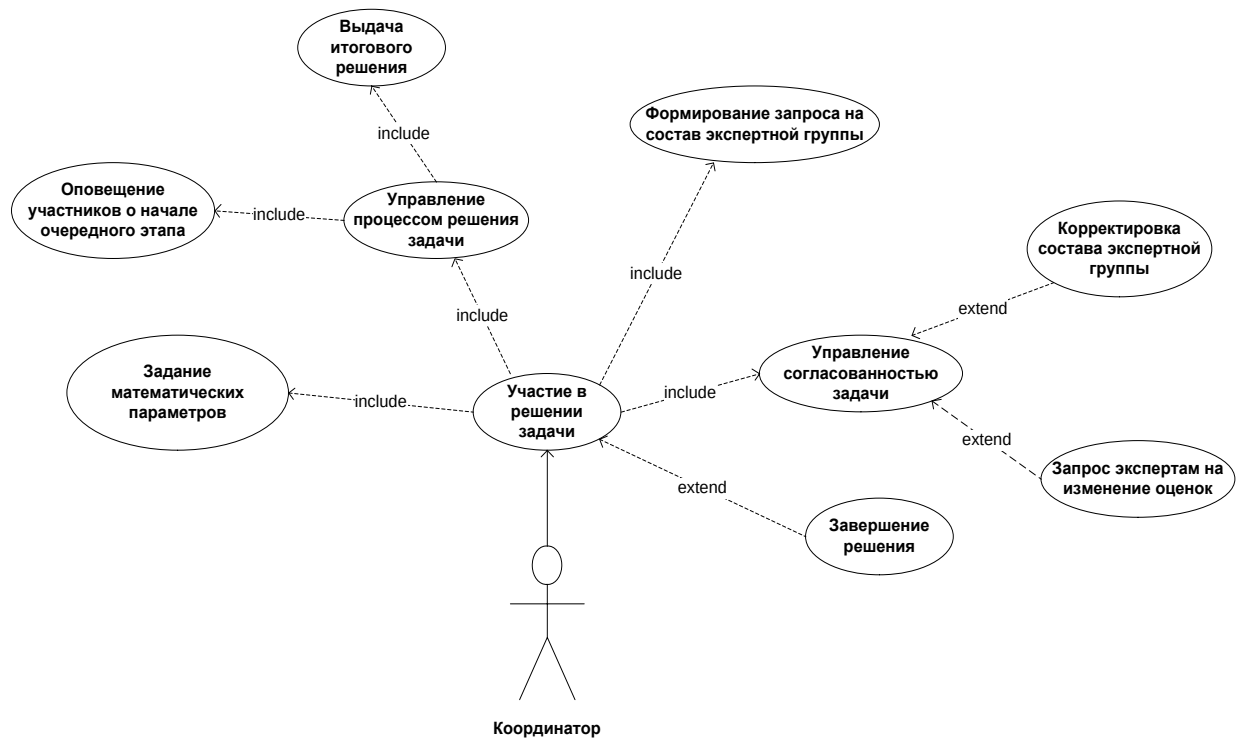


Рисунок П3. Диаграмма вариантов использования для роли координатора

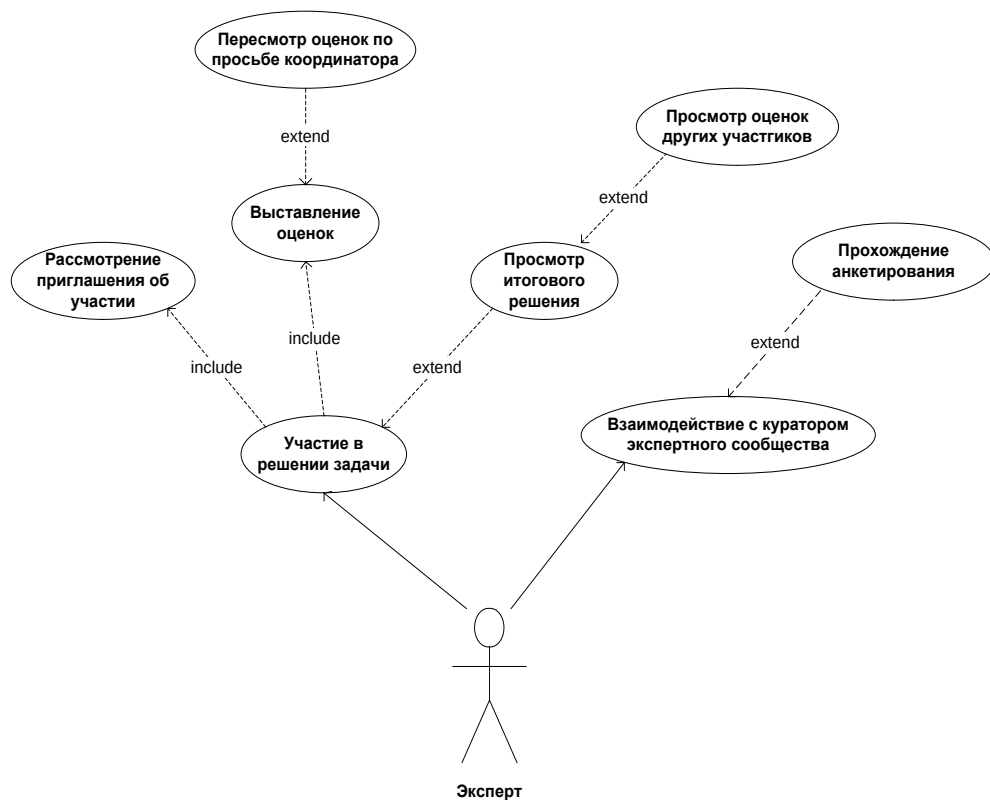


Рисунок П4. Диаграмма вариантов использования для роли эксперта

ПРИЛОЖЕНИЕ В. Интерфейсы личных кабинетов пользователей для программного комплекса поддержки принятия решений в распределенной среде

Web service for group decision making

Заявки Inbox Создать исследование My Account

My Profile

Interests: [Business](#) [IT Solutions](#) [Lifestyle](#) [Finance](#) [Sports](#)

Исследования

Создать Исследование

Название:

Подробное описание

Источники:

Стиль: Формат: Шрифт: Размер:

Предметная область:

Альтернативы

[Добавить](#)

Must completed at: 16 May 2018 23:20

[Создать](#)

Рисунок П5. Создание заявки на исследование

Web service for group decision making

Координатор Inbox Координатор My Account

My Profile

Interests: [Business](#) [IT Solutions](#) [Lifestyle](#) [Finance](#) [Sports](#)

Исследования

Название

Выбор СУБД

Подробное описание

Необходимо выбрать СУБД для высоконагруженного веб-приложения

Атрибуты

Предметная область	Программирование
Статус	Ожидание ответов экспертов
Предполагаемая дата завершения	2018-07-16 23:20:00 +0300
Тип оценки	Ординальная

Участники

kozdoveab@gmail.com	Заявщик	Профиль
coordinator@ic.com	Координатор	Профиль
analyst@ic.com	Аналитик	Профиль
iebron1@iebron.com	Эксперт	Профиль
iebron2@iebron.com	Эксперт	Профиль
iebron3@iebron.com	Эксперт	Профиль
iebron4@iebron.com	Эксперт	Профиль

Действия

[Начать процесс согласования экспертных оценок](#) [Отчеты экспертов](#)

Рисунок П6. Страница с подробной информацией об исследовании

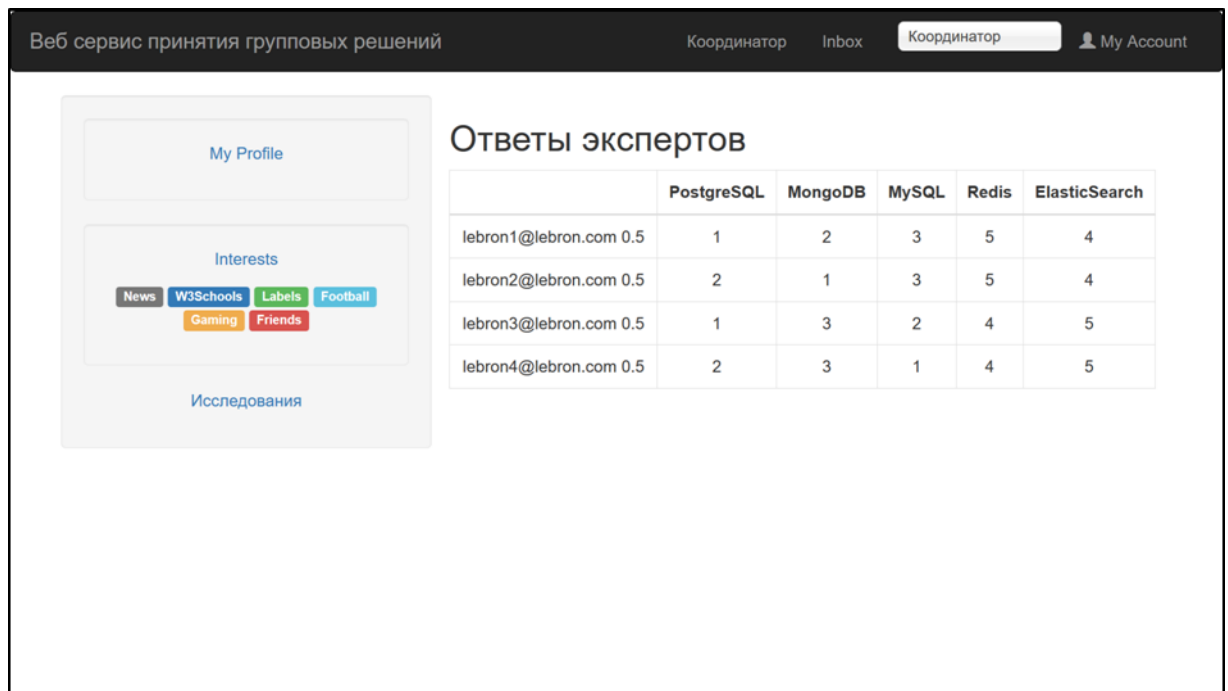


Рисунок П7. Страница просмотра ответов экспертов в рамках исследования

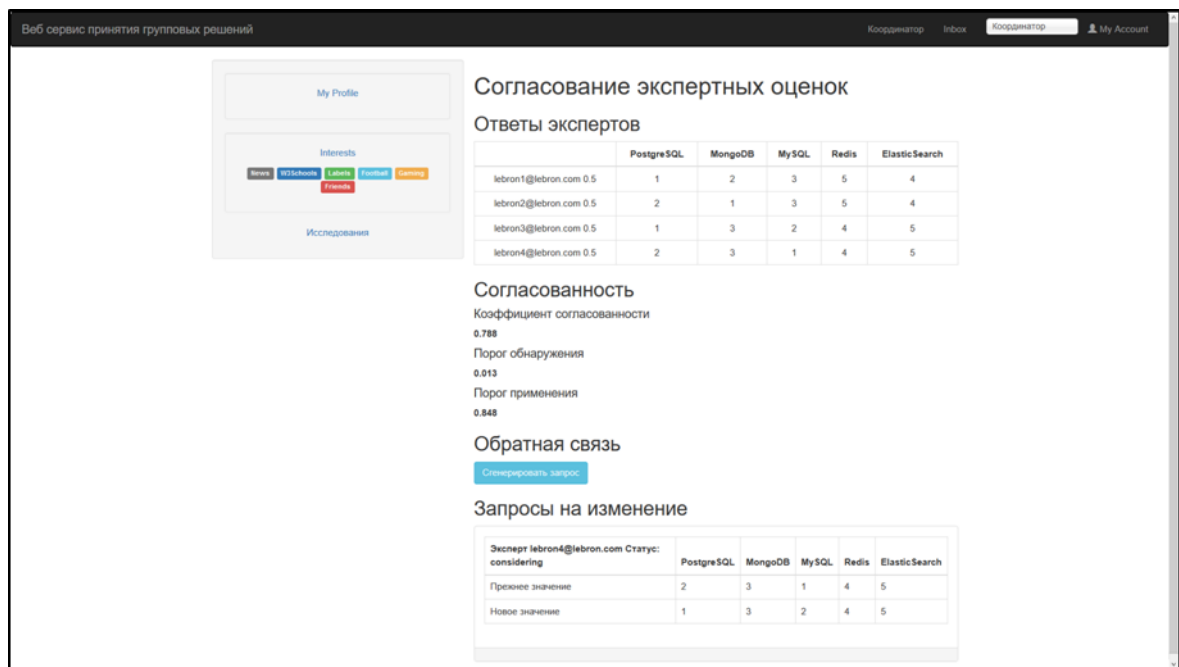


Рисунок П8. Раздел управления согласованностью

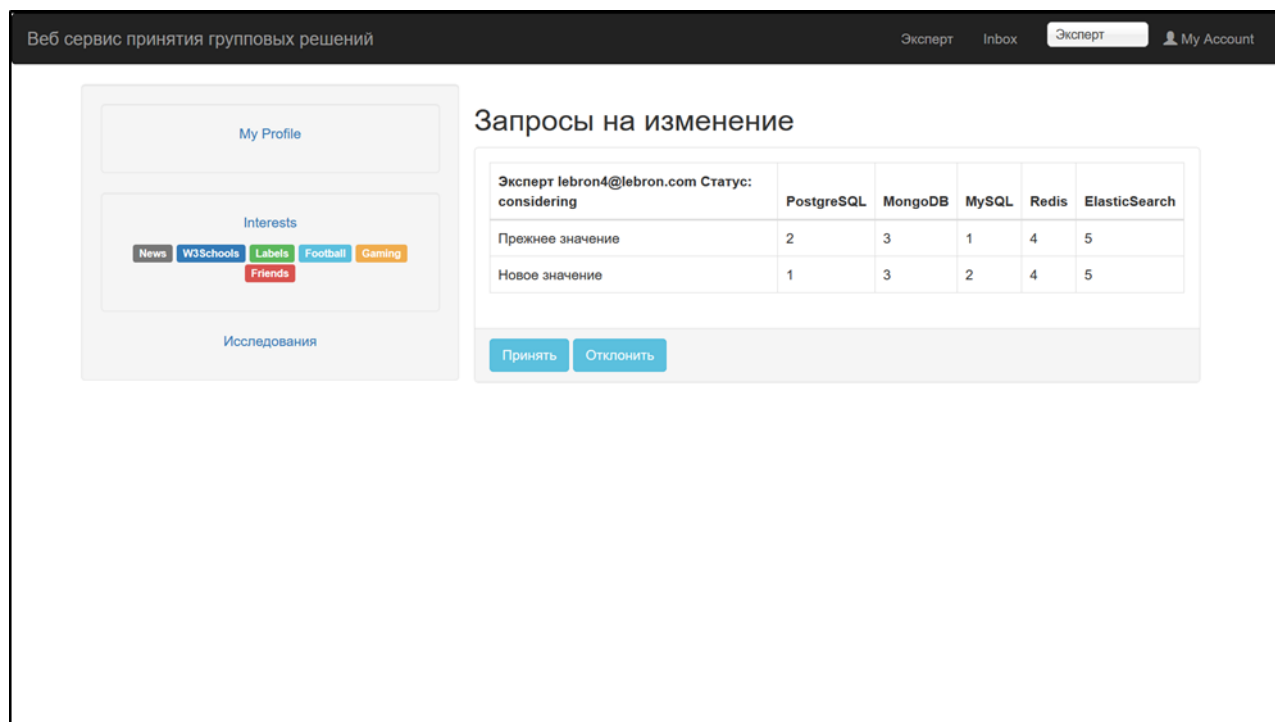


Рисунок П9. Раздел «Запросы на изменение»

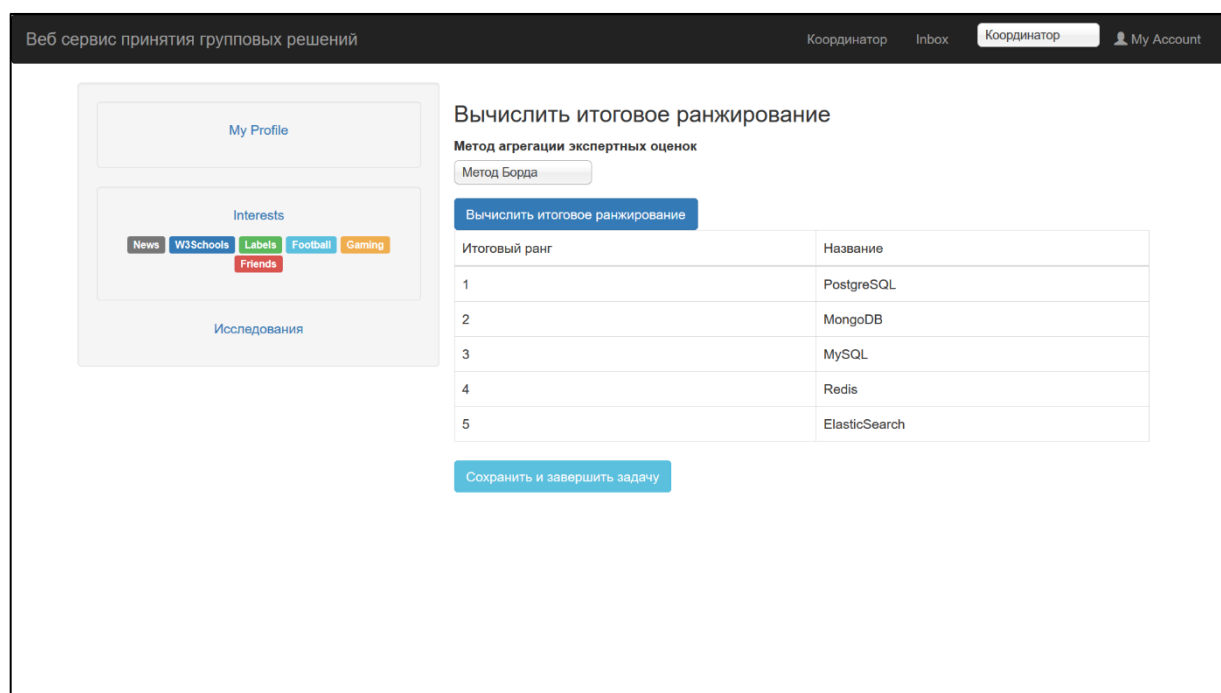


Рисунок П10. Раздел «Вычислить итоговое ранжирование»

ПРИЛОЖЕНИЕ С. Фрагменты исходного кода библиотеки математических моделей и методов обработки результатов экспертного оценивания

Листинг П1. Коэффициент конкордации

```

class MathMethods::NewConcordation
  attr_reader :competitions
  attr_reader :ranges
  attr_reader :alt_count
  attr_reader :exp_count

  def initialize(args)
    @competitions = args[:competitions]
    @ranges = args[:ranges]
    @exp_count = @competitions.length
    @alt_count = @ranges[0].length
  end

  def get_coef
    12 * outer_sum / denominator
  end

  def self.get_detection_treshold(alt_count, exp_count)
    return (24.0/(exp_count**2 * denominator(alt_count)))
  end

  def self.get_using_treshold(alt_count, l)
    init_range = (1..alt_count).to_a.shuffle
    new_ranges = get_new_ranges(init_range, l) << init_range
    exp_count = (alt_count + 1 - l)
    competitions = [1.0/exp_count]*exp_count

    MathMethods::NewConcordation.new(competitions: competitions, ranges:
new_ranges).get_coef
  end

  private

  def self.get_new_ranges(init_range, l)
    (1..init_range.length-1).to_a.map do |r|
      tmp = init_range.clone
      first_alternative = tmp.index(r)
      second_alternative = tmp.index(r + l)

      temp_for_swap = tmp[first_alternative]

      tmp
    end
  end

  def denominator
    alt_count ** 3 - alt_count
  end

  def inner_sum(outer_index)
    elements = (0...exp_count).to_a.map do |inner_index|
      inner_sum_element(outer_index, inner_index)
    end
  end

```


Листинг П2. Возвращаемое значение алгоритма обратной связи

```
{
  expert_index: 9, # индекс эксперта
  competition: 0.065, # компетентность эксперта
  best_range: [5, 3, 1, 2, 4], #наилучший вариант для изменения оценки
  new_cf: 0.676091 # коэффициент коэф-та при согласии эксперта
}
```

Листинг П3. Алгоритм обратной связи для ординальных оценок

```
class MathMethods::OrdinaryFeedback
  attr_reader :competitions
  attr_reader :ranges
  attr_reader :alt_count
  attr_reader :exp_count
  attr_reader :expert_stats
  attr_reader :consistency_coef

  def initialize(args)
    @competitions = args[:competitions]
    @ranges = args[:ranges]
    @expert_stats = args[:expert_stats]
    @exp_count = @competitions.length
    @alt_count = @ranges[0].length
    @consistency_coef = MathMethods::NewConcordation.new(ranges: @ranges,
competitions: competitions).get_coef
  end

  def generate_request
    result = {}

    fill_hash(result, 0)
    expert_stats.each_with_index do |stat, i|
      if stat < result[:count_of_changes] ||
        (stat == result[:count_of_changes] && competitions[i] <
result[:competition])
        fill_hash(result, i)
      end
    end

    weak_range = ranges[result[:expert_index]]
    new_ranges = MathMethods::NewConcordation.get_new_ranges(weak_range, 1)
    ranges_with_cf = new_ranges.map do |nr|
      temp_ranges = ranges.clone
      temp_ranges[result[:expert_index]] = nr
      [MathMethods::NewConcordation.new(ranges: temp_ranges, competitions:
competitions).get_coef, nr]
    end
    best_range = ranges_with_cf.max
    result[:best_range] = best_range[1]
    result[:new_cf] = best_range[0]

    result
  end

  private

  def fill_hash(hash, index)
    hash[:competition] = competitions[index]
```

```

        hash[:count_of_changes] = expert_stats[index]
        hash[:expert_index]      = index
    end
end

```

Листинг П4. Программная реализация спектрального коэффициента согласованности

```

module MathMethods::Spectral
  def self.get_coef(number_of_div, values, experts_cmp)
    sum_of_comp = Array.new(number_of_div, 0)
    for i in 0...experts_cmp.count
      sum_of_comp[values[i]-1]+=experts_cmp[i]
    end

    result = 1 - (outer_sum(sum_of_comp) - sum_with_ln(sum_of_comp)) /
(func_g(experts_cmp.count,number_of_div) *
denominator(number_of_div)+Math.log(number_of_div))
    result
  end
  def self.get_detection_treshold(div_count)
    init_values = [*1..div_count]
    init_values[0] = (0.5*div_count+1).to_i
    experts_cmp = [1.0/div_count]*div_count

    get_coef(div_count,init_values,experts_cmp)
  end

  def self.get_using_treshold(div_count)
    get_coef(div_count,[2,3],[0.5,0.5])
  end

  private

  def self.func_g(experts_count,div_count)
    experts_count/(Math.log(experts_count)*Math.log(div_count)*div_count)
  end

  def self.inner_sum(sum_of_comp)
    result = 0.0
    for i in 1..sum_of_comp.length
      result+= i * sum_of_comp[i-1]
    end
    result
  end

  def self.outer_sum(sum_of_comp)
    result = 0.0
    inner_sum_value = inner_sum(sum_of_comp)
    for i in 1..sum_of_comp.length
      result+= sum_of_comp[i-1]*(i - inner_sum_value).abs
    end
    result
  end
end

```

```

def self.sum_with_ln(sum_of_comp)

  result = 0.0
  for i in 0...sum_of_comp.length
    if sum_of_comp[i] == 0.0
      next
    else
      result += sum_of_comp[i] * Math.log(sum_of_comp[i]);
    end
  end
  result
end

def self.denominator(div_count)
  result = 0.0

  for i in 1..div_count
    result+=(i - (div_count+1)/2).abs
  end
  result
end
end

```

Листинг П5. Алгоритм обратной связи для кардинальных оценок

```

module MathMethods::Spectral

  # код для вычисления спектрального коэффициента

  def self.get_weak_expert(experts_cmp, values)
    get_weak_value(experts_cmp, values).each_with_index.max.last
  end

  private

  def self.get_weak_value(experts_cmp, values)
    average = get_average(experts_cmp, values) #вычисляем взвешенное среднее
    experts_cmp.map.with_index{|c, i| ((values[i] - average).abs / c).round(3) }
  end
end

```

Листинг П6. Программная реализация метода Борда

```

module MathMethods::BordsMethod
  def self.get_result(experts_cmp, ranges)
    for i in 0...ranges.count
      for j in 0...ranges[0].count
        ranges[i][j] = (ranges[i][j]-ranges[0].count).abs
      end
    end
    sum_of_ranges = [0]*ranges[0].count

    for i in 0...ranges[0].count
      for j in 0...ranges.count
        sum_of_ranges[i]+=ranges[j][i]*experts_cmp[j]
      end
    end
    sum_of_ranges.map! {|x| x.round(3)} end end
end

```

Листинг П7. Программная реализация метода Кондорсе

```

module MathMethods::Condorset
  def self.get_result(experts_cmp, ranges)
    for i in 0...ranges.count
      for j in 0...ranges[0].count
        ranges[i][j] = (ranges[i][j]-ranges[0].count).abs
      end
    end
    matr_of_equals = Array.new(ranges[0].count) {
      Array.new(ranges[0].count) {
        Array.new(ranges.count, 0)
      }
    }

    for j in 0...experts_cmp.count
      for i in 0...ranges[0].count - 1
        k = i
        for h in k...ranges[0].count
          if i == h
            matr_of_equals[i][h][j] = 0
          next
          end
          if ranges[j][i] > ranges[j][h]
            matr_of_equals[i][h][j] = experts_cmp[j]
            matr_of_equals[h][i][j] = -experts_cmp[j]
          else
            matr_of_equals[i][h][j] = -experts_cmp[j]
            matr_of_equals[h][i][j] = experts_cmp[j]
          end
        end
      end
    end

    result_matr = Array.new(ranges[0].count) {Array.new(ranges[0].count,0)}
    for i in 0...ranges[0].count
      for h in 0...ranges[0].count
        for j in 0...experts_cmp.count
          result_matr[i][h] += matr_of_equals[i][h][j];
        end
      end
    end
    for i in 0...ranges[0].count
      for j in 0...ranges[0].count
        result_matr[i][j] = result_matr[i][j].round(3)
        if result_matr[i][j] > 0
          result_matr[i][j] = 1
        elsif result_matr[i][j] < 0
          result_matr[i][j] = -1
        end
      end
    end
    result_matr
  end
end

```

Листинг П8. Программная реализация метода на основе метрики Гуляницкого

```
require 'munkres'

module MathMethods::Gulyanitzky
  def self.get_result(experts_cmp, ranges)
    result_matr=[]

    for k in 1..ranges[0].count
      result_row = []
      for i in 1..ranges[0].count
        temp = 0.0
        for j in 0...experts_cmp.count
          temp+=experts_cmp[j]*(ranges[j][k-1]-i).abs
        end
        temp = temp.round(3)
        result_row << temp
      end
      result_matr << result_row
    end
    Munkres.new(result_matr).find_pairings
  end
end
```

ПРИЛОЖЕНИЕ D. Экспертные оценки по критериям для задачи выбора архитектуры

Таблица П1. Ординальные оценки по критериям

№ эксперта	C1				C2				C3				C4				C5			
	A1	A2	A3	A4	A1	A2	A3	A4	A1	A2	A3	A4	A1	A2	A3	A4	A1	A2	A3	A4
1	3	4	2	1	4	3	2	1	4	2	3	1	2	4	3	1	4	1	2	3
2	4	3	2	1	4	1	2	3	3	2	1	4	2	4	1	3	1	3	4	2
3	4	3	2	1	4	3	2	1	4	3	2	1	2	3	4	1	3	2	4	1
4	4	3	2	1	4	3	2	1	4	3	2	1	2	4	3	1	1	3	4	2
5	4	3	2	1	3	4	2	1	3	4	2	1	2	3	4	1	1	3	4	2
6	4	3	2	1	3	4	2	1	4	3	2	1	2	4	3	1	1	4	2	3
7	4	3	1	2	4	3	1	2	4	3	2	1	4	2	3	1	2	4	3	1

Таблица П2. Кардинальные оценки по критериям

Критерии Объекты	C1	C2	C3	C4	C5
A1	{2;1;1;1;1;1}	{1;2;2;1;1;1}	{1;1;1;1;1;1}	{6;4;5;4;4;4}	{4;8;6;9;10;8;4}
A2	{3;3;3;3;3;3}	{6;5;7;6;5;5}	{3;5;5;5;6;4}	{2;2;1;2;1;2}	{2;3;2;2;3;2}
A3	{5;5;5;4;5;5}	{7;8;6;6;7;6;8}	{6;5;6;6;5;6;6}	{3;3;3;3;2;1}	{1;1;1;1;1;1}
A4	{7;7;7;7;7;7}	{8;10;8;8;8;8}	{7;7;7;7;7;7}	{8;7;9;8;5;5}	{6;5;5;6;6;4}

ПРИЛОЖЕНИЕ Е. Таблицы с результатами оценивания для задачи выбора архитектуры

Таблица ПЗ. Диалог с экспертами для рангового оценивания по критерию
«Устойчивость к сбоям»

Порог обнаружения (T_o)	$T_o=0,008$		
Порог применения (T_u)	$T_u=0,725$		
Начальный коэффициент согласованности $W(R)$	$T_o < 0,665 < T_u$		
№ эксперта	Перестановка рангов		
Эксперт № 5	$r_1 \leftrightarrow r_2$	$r_2 \leftrightarrow r_3$	$r_3 \leftrightarrow r_4$
	$W(R)=\mathbf{0,702} < T_u$	$W(R)=0,621 < T_u$	$W(R)=0,644 < T_u$
Эксперт № 2	$r_1 \leftrightarrow r_2$	$r_2 \leftrightarrow r_3$	$r_3 \leftrightarrow r_4$
	$W(R)=0,654 < T_u$	$W(R)=0,675 < T_u$	$W(R)=\mathbf{0,847} > T_u$
Количество обращений к эксперту	2		
Итоговое ранжирование	A4-A3-A2-A1		

Таблица П4. Диалог с экспертами при отказе замены оценок по критерию
«Устойчивость к сбоям»

Порог обнаружения (T_o)	$T_o=0,008$		
Порог применения (T_u)	$T_u=0,725$		
Начальный коэффициент согласованности $W(R)$	$T_o < 0,66 < T_u$		
№ эксперта	Перестановка рангов		
Эксперт № 5	$r_1 \leftrightarrow r_2$	$r_2 \leftrightarrow r_3$	$r_3 \leftrightarrow r_4$
	$W(R)=\mathbf{0,702} < T_u$	$W(R)=0,621 < T_u$	$W(R)=0,644 < T_u$
Эксперт №2 (<u>отказался</u>)	$r_1 \leftrightarrow r_2$	$r_2 \leftrightarrow r_3$	$r_3 \leftrightarrow r_4$
	$W(R)=0,654 < T_u$	$W(R)=0,675 > T_u$	$W(R)=0,847 > T_u$
Эксперт № 7	$r_1 \leftrightarrow r_2$	$r_2 \leftrightarrow r_3$	$r_3 \leftrightarrow r_4$
	$W(R)=0,643 < T_u$	$W(R)=0,670 < T_u$	$W(R)=0,671 < T_u$
Эксперт № 1	$r_1 \leftrightarrow r_2$	$r_2 \leftrightarrow r_3$	$r_3 \leftrightarrow r_4$
	$W(R)=0,602 > T_u$	$W(R)=\mathbf{0,752} < T_u$	$W(R)=0,657 < T_u$
Количество обращений к эксперту	4, из них 2 обращения принято, в 1-ом обращении отказано и в 1-м обращении $W(R)$ понижался		
Итоговое ранжирование	A4-A3-A2-A1		

Таблица П5. Диалог с экспертами для рангового оценивания по критерию
«Скорость получения первого серверного прототипа»

Порог обнаружения (T_o)	$T_o=0,008$		
Порог применения (T_u)	$T_u=0,725$		
Начальный коэффициент согласованности $W(R)$	$T_o < 0,567 < T_u$		
№ эксперта	Перестановка рангов		
Эксперт № 5	$r_1 \leftrightarrow r_2$	$r_2 \leftrightarrow r_3$	$r_3 \leftrightarrow r_4$
	$W(R)=0,529 < T_u$	$W(R)=\mathbf{0,586} < T_u$	$W(R)=0,407 < T_u$
Эксперт № 2	$r_1 \leftrightarrow r_2$	$r_2 \leftrightarrow r_3$	$r_3 \leftrightarrow r_4$
	$W(R)=0,490 < T_u$	$W(R)=0,547 < T_u$	$W(R)=\mathbf{0,766} > T_u$
Количество обращений к эксперту	2		
Итоговое ранжирование	A4-A1-A3-A2		

Таблица П6. Диалог с экспертами для кардинального оценивания по критерию
«Устойчивость к сбоям»

Наименование объекта	Спектры оценок	Коэффициент согласованности	Итоговая оценка
A1	$V=\{1;1;1;1;1;1\}$, $R=\{7;0;0;0;0;0;0;0;0\}$	$\mathbf{1} > T_u$	$V_{cp}=1$
A2	$V=\{3;5;5;5;5;6;4\}$, $R=\{0;0;1;1;4;1;0;0;0\}$	$K_c(R)=0,695 < T_u$	$V_{cp}=4,720$ $\delta_1=\mathbf{11,780}$; $\delta_2=2,393$; $\delta_3=1,772$; $\delta_4=1,497$; $\delta_5=3,182$; $\delta_6=8,101$; $\delta_7=4,931$
	$v_1 \downarrow$ Эксперт ДА $v_1=4$		
	$V=\{4;5;5;5;5;6;4\}$, $R=\{0;0;0;2;4;1;0;0;0\}$	$K_c(R)=0,761 < T_u$	$V_{cp}=4,866$ $\delta_1=5,932$; $\delta_2=1,145$; $\delta_3=0,848$; $\delta_4=0,717$; $\delta_5=1,523$; $\delta_6=1,177$; $\delta_7=\mathbf{5,932}$
	$v_7 \uparrow$ Эксперт ДА $v_7=5$		
	$V=\{4;5;5;5;5;6;5\}$, $R=\{0;0;0;1;5;1;0;0;0\}$	$K_c(R)=0,817 > T_u$	$V_{cp}=5,012$ $\delta_1=5,6651$; $\delta_2=\mathbf{10,043}$; $\delta_3=1,108$; $\delta_4=0,936$; $\delta_5=1,989$; $\delta_6=1,108$; $\delta_7=5,651$
Количество обращений к эксперту - 2			
A3	$V=\{6;5;6;6;5;6;6\}$, $R=\{0;0;0;0;2;5;0;0;0\}$	$\mathbf{0,867} > T_u$	$V_{cp}=\mathbf{5,795}$
A4	$V=\{7;7;7;7;7;7;7\}$, $R=\{0;0;0;0;0;0;7;0;0\}$	$\mathbf{1} > T_u$	$V_{cp}=\mathbf{7}$

Таблица П7. Диалог с экспертами для рангового оценивания по критерию
«Простота развертывания тестовых площадок»

Порог обнаружения (T_o)	$T_o=0,008$		
Порог применения (T_u)	$T_u=0,725$		
Начальный коэффициент согласованности $W(R)$	$T_o < 0,258 < T_u$		
Эксперт № 5	$r_1 \leftrightarrow r_2$	$r_2 \leftrightarrow r_3$	$r_3 \leftrightarrow r_4$
Не меняем	$W(R)=0,204 < T_u$	$W(R)=0,248 < T_u$	$W(R)=0,183 < T_u$
	При любых перестановках $W(R)$ становится ниже		
Эксперт № 2	$r_1 \leftrightarrow r_2$	$r_2 \leftrightarrow r_3$	$r_3 \leftrightarrow r_4$
Не меняем	$W(R)=0,190 < T_u$	$W(R)=0,245 < T_u$	$W(R)=0,164 < T_u$
	При любых перестановках $W(R)$ становится ниже		
Эксперт № 7	$r_1 \leftrightarrow r_2$	$r_2 \leftrightarrow r_3$	$r_3 \leftrightarrow r_4$
	$W(R)=0,181 < T_u$	$W(R)=\mathbf{0,290} < T_u$	$W(R)=0,147 < T_u$
Эксперт № 1	$r_1 \leftrightarrow r_2$	$r_2 \leftrightarrow r_3$	$r_3 \leftrightarrow r_4$
	$W(R)=\mathbf{0,508} < T_u$	$W(R)=0,258 < T_u$	$W(R)=0,380 < T_u$
Эксперт № 6	$r_1 \leftrightarrow r_2$	$r_2 \leftrightarrow r_3$	$r_3 \leftrightarrow r_4$
	$W(R)=0,279 < T_u$	$W(R)=0,579 < T_u$	$W(R)=\mathbf{0,606} < T_u$
Эксперт № 3	$r_1 \leftrightarrow r_2$	$r_2 \leftrightarrow r_3$	$r_3 \leftrightarrow r_4$
	$W(R)=\mathbf{0,722} < T_u$	$W(R)=0,595 < T_u$	$W(R)=0,372 < T_u$
Эксперт № 4	$r_1 \leftrightarrow r_2$	$r_2 \leftrightarrow r_3$	$r_3 \leftrightarrow r_4$
Не меняем	$W(R)=0,480 < T_u$	$W(R)=0,718 < T_u$	$W(R)=0,523 < T_u$
	При любых перестановках $W(R)$ становится ниже		
Количество обращений к эксперту	7, все приняты, но в 2-х обращениях $W(R)$ понижался		
Итоговое ранжирование	A1-A4-A2-A3		

Таблица П8. Диалог с экспертами для кардинального оценивания по критерию
«Скорость получения первого серверного прототипа»

Наименование объекта	Спектры оценок	Коэффициент согласованности	Итоговая оценка
A1	$V=\{6;4;5;4;4;4;4\}$, $R=\{0;0;0;5;1;1;0;0;0;0\}$	$K_c(R)=0,766 < T_u$	$V_{cp}=4,450$ $\delta_1=\mathbf{10,616}$; $\delta_2=3,846$; $\delta_3=3,481$; $\delta_4=2,406$; $\delta_5=5,114$; $\delta_6=2,848$; $\delta_7=3,082$
	$v_1 \downarrow$ Эксперт ДА $v_1=5$		

Продолжение таблицы П8

Наименование объекта	Спектры оценок	Коэффициент согласованности	Итоговая оценка
	$V=\{5;4;5;4;4;4;4\}$, $R=\{0;0;0;5;2;0;0;0;0\}$	$K_c(R)=\mathbf{0,833}>T_u$	$V_{cp}=\mathbf{4,304}$
	Количество обращений к эксперту – 1		
A2	$V=\{2;2;1;2;1;1;2\}$, $R=\{3;4;0;0;0;0;0;0;0\}$	$\mathbf{0,814}>T_u$	$V_{cp}=\mathbf{1,596}$
A3	$V=\{3;3;3;3;3;2;1\}$, $R=\{1;1;5;0;0;0;0;0;0\}$	$K_c(R)=0,766<T_u$	$V_{cp}=2,550$ $\delta_1=3,082; \quad \delta_2=3,846; \quad \delta_3=2,848;$ $\delta_4=2,406; \quad \delta_5=5,114; \quad \delta_6=3,481$ $\delta_7=\mathbf{10,616}$
	$v_7 \uparrow$ Эксперт ДА $v_7=2$		
	$V=\{3;3;3;3;3;2;2\}$, $R=\{0;2;5;0;0;0;0;0;0\}$	$K_c(R)=\mathbf{0,833}>T_u$	$V_{cp}=\mathbf{2,696}$
	Количество обращений к эксперту - 1		
A4	$V=\{8;7;9;8;8;5;5\}$, $R=\{0;0;0;0;2;0;1;3;1;0\}$	$K_c(R)=0,582<T_u$	$V_{cp}=7,129$ $\delta_1=5,966; \quad \delta_2=1,103; \quad \delta_3=11,842;$ $\delta_4=4,658; \quad \delta_5=9,900; \quad \delta_6=13,475;$ $\delta_7=\mathbf{14,582}$
	$v_7 \uparrow$ Эксперт ДА $v_7=7$		
	$V=\{8;7;9;8;8;5;7\}$, $R=\{0;0;0;0;1;0;2;3;1;0\}$	$K_c(R)=0,632<T_u$	$V_{cp}=7,421$ $\delta_1=3,966; \quad \delta_2=3,598; \quad \delta_3=9,994;$ $\delta_4=3,006; \quad \delta_5=6,580; \quad \delta_6=\mathbf{15,323};$ $\delta_7=2,884$
	$v_6 \uparrow$ Эксперт ДА $v_6=7$		
	$V=\{8;7;9;8;8;7;7\}$, $R=\{0;0;0;0;0;0;3;3;1;0\}$	$K_c(R)=0,736<T_u$	$V_{cp}=7,737$ $\delta_1=1,801; \quad \delta_2=6,300; \quad \delta_3=\mathbf{8,000};$ $\delta_4=1,406; \quad \delta_5=2,989; \quad \delta_6=4,665;$ $\delta_7=5,048$
	$v_3 \downarrow$ Эксперт ДА $v_3=8$		
	$V=\{8;7;8;8;8;7;7\}$, $R=\{0;0;0;0;0;0;3;4;0;0\}$	$K_c(R)=\mathbf{0,812}>T_u$	$V_{cp}=\mathbf{7,579}$
	Количество обращений к эксперту – 3		

Таблица П9. Диалог с экспертами для кардинального оценивания при отказе замены оценок по критерию «Скорость получения первого серверного прототипа»

Наименование альтернатив	Спектры оценок	Коэффициент согласованности	Итоговая оценка
A4	$V=\{8;7;9;8;8;5;5\}$, $R=\{0;0;0;0;2;0;1;3;1;0\}$	$K_c(R)=0,582<T_u$	$V_{cp}=7,129$ $\delta_1=5,966; \quad \delta_2=1,103; \quad \delta_3=11,842;$ $\delta_4=4,658; \quad \delta_5=9,900; \quad \delta_6=13,475;$ $\delta_7=\mathbf{14,582}$

Продолжение таблицы П9

Наименование альтернатив	Спектры оценок	Коэффициент согласованности	Итоговая оценка
	$v_7 \uparrow$ Эксперт ДА $v_7=7$		
	$V=\{8;7;9;8;8;5;7\}$, $R=\{0;0;0;0;1;0;2;3;1;0\}$	$K_c(R)=0,632 < T_u$	$V_{cp}=7,421$ $\delta_1=3,966$; $\delta_2=3,598$; $\delta_3=9,994$; $\delta_4=3,006$; $\delta_5=6,580$; $\delta_6=15,323$; $\delta_7=2,884$
	$v_6 \uparrow$ Эксперт <u>НЕТ</u>		$\delta_1=3,966$; $\delta_2=3,598$; $\delta_3=9,994$; $\delta_4=3,006$; $\delta_5=6,580$; $\delta_6=15,323$; $\delta_7=2,884$
	$v_3 \downarrow$ Эксперт ДА $v_3=8$		
	$V=\{8;7;8;8;8;5;7\}$, $R=\{0;0;0;0;1;0;2;4;0;0\}$	$K_c(R)=0,708 < T_u$	$V_{cp}=7,263$ $\delta_1=5,048$; $\delta_2=2,248$; $\delta_3=4,665$; $\delta_4=3,941$; $\delta_5=8,375$; $\delta_6=14,323$; $\delta_7=1,801$
	$v_5 \downarrow$ Эксперт ДА $v_5=7$		
	$V=\{8;7;8;8;7;5;7\}$, $R=\{0;0;0;0;1;0;3;3;0;0\}$	$K_c(R)=0,707 < T_u$	<i>Уменьшение</i> $\delta_1=5,048$; $\delta_2=2,248$; $\delta_3=4,665$; $\delta_4=3,941$; $\delta_5=8,375$; $\delta_6=14,323$; $\delta_7=1,801$
	$v_1 \downarrow$ Эксперт ДА $v_1=7$		
	$V=\{7;7;8;8;8;5;7\}$, $R=\{0;0;0;0;1;0;3;3;0;0\}$	$K_c(R)=0,713 < T_u$	$V_{cp}=7,117$ $\delta_1=0,801$; $\delta_2=1$; $\delta_3=5,589$; $\delta_4=4,722$; $\delta_5=10,034$; $\delta_6=13,400$; $\delta_7=0,801$
	$v_5 \downarrow$ Эксперт ДА $v_5=7$		
	$V=\{7;7;8;8;7;5;7\}$, $R=\{0;0;0;0;1;0;4;2;0;0\}$	$K_c(R)=0,730 < T_u$	$V_{cp}=7,029$ $\delta_1=0,199$; $\delta_2=0,248$; $\delta_3=6,146$; $\delta_4=5,193$; $\delta_5=0,330$; $\delta_6=12,842$; $\delta_7=0,199$
	$v_3 \uparrow$ Эксперт <u>НЕТ</u>		$\delta_1=0,199$; $\delta_2=0,248$; $\delta_3=6,146$; $\delta_4=5,193$; $\delta_5=0,330$; $\delta_6=12,842$; $\delta_7=0,199$
	$v_4 \downarrow$ Эксперт ДА $v_4=7$	$K_c(R)=0,770 < T_u$	$V_{cp}=6,842$

Таблица П10. Диалог с экспертами для кардинального оценивания по критерию
«Простота развертывания тестовых площадок»

Наименование объекта	Спектры оценок	Коэффициент согласованности	Итоговая оценка
A1	$V=\{4;8;6;9;10;8;4\}$, $R=\{0;0;0;2;0;1;0;2;1;1\}$	$K_c(R)=0,437 < T_u$	$V_{cp}=6,879$ $\delta_1=19,719$; $\delta_2=9,581$; $\delta_3=5,563$; $\delta_4=11,342$; $\delta_5=35,466$; $\delta_6=7,095$; $\delta_7=19,719$
	$v_5 \downarrow$ Эксперт ДА $v_5=8$		
	$V=\{4;8;6;9;8;8;4\}$, $R=\{0;0;0;2;0;1;0;3;1;0\}$	$K_c(R)=0,495 < T_u$	$V_{cp}=6,703$ $\delta_1=18,514$; $\delta_2=11,085$; $\delta_3=4,449$; $\delta_4=12,283$; $\delta_5=14,739$; $\delta_6=8,209$; $\delta_7=18,514$

Наименование объекта	Спектры оценок	Коэффициент согласованности	Итоговая оценка
	$v_1 \uparrow$ Эксперт ДА $v_1=6$		
	$V=\{6;8;6;9;8;8;4\}$, $R=\{0;0;0;1;0;2;0;3;1;0\}$	$K_c(R)=0,548 < T_u$	$V_{cp}=6,995$ $\delta_1=6,815$; $\delta_2=8,590$; $\delta_3=6,297$; $\delta_4=10,722$; $\delta_5=11,420$; $\delta_6=6,361$; $\delta_7=20,512$
	$v_7 \uparrow$ Эксперт ДА $v_7=6$		
	$V=\{6;8;6;9;8;8;6\}$, $R=\{0;0;0;0;0;3;0;3;1;0\}$	$K_c(R)=0,646 < T_u$	$V_{cp}=7,287$ $\delta_1=8,815$; $\delta_2=6,094$; $\delta_3=8,146$; $\delta_4=9,160$; $\delta_5=8,102$; $\delta_6=4,513$; $\delta_7=8,815$
	$v_4 \downarrow$ Эксперт ДА $v_4=8$		
	$V=\{6;8;6;8;8;8;6\}$, $R=\{0;0;0;0;0;3;0;4;0;0\}$	$K_c(R)=0,730 < T_u$	$V_{cp}=7,10$ $\delta_1=7,534$; $\delta_2=7,692$; $\delta_3=6,962$; $\delta_4=4,813$; $\delta_5=10,227$; $\delta_6=5,696$; $\delta_7=7,534$
	$v_2 \downarrow$ Эксперт ДА $v_2=6$		
	$V=\{6;6;6;8;8;8;6\}$, $R=\{0;0;0;0;0;4;0;3;0;0\}$	$K_c(R)=0,731 < T_u$	$V_{cp}=6,866$ $\delta_1=5,932$; $\delta_2=7,402$; $\delta_3=5,481$; $\delta_4=6,064$; $\delta_5=12,886$; $\delta_6=7,177$; $\delta_7=5,932$
	$v_6 \downarrow$ Эксперт ДА $v_6=6$		
	$V=\{6;6;6;8;8;6;6\}$, $R=\{0;0;0;0;0;5;0;2;0;0\}$	$K_c(R)=0,777 < T_u$	$V_{cp}=6,550$ $\delta_1=3,767$; $\delta_2=4,701$; $\delta_3=3,481$; $\delta_4=7,754$; $\delta_5=16,477$; $\delta_6=3,481$; $\delta_7=3,767$
	$v_3 \uparrow$ Эксперт ДА $v_3=7$		
	$V=\{6;6;7;8;8;6;6\}$, $R=\{0;0;0;0;0;4;1;2;0;0\}$	$K_c(R)=0,715 < T_u$	Уменьшение
	$v_3 \uparrow$ Эксперт ДА $v_3=8$		
		$K_c(R)=0,714 < T_u$	Уменьшение
	Количество обращений к эксперту – 7		
A2	$V=\{2;3;2;2;2;3;2\}$ $R=\{0;5;2;0;0;0;0;0;0;0\}$	$K_c(R)=0,841 > T_u$	$V_{cp}=2,275$
A3	$V=\{1;1;1;1;1;1;1\}$ $R=\{7;0;0;0;0;0;0;0;0;0\}$	$K_c(R)=1 > T_u$	$V_{cp}=1$
A4	$V=\{6;5;5;6;6;6;4\}$, $R=\{0;0;0;1;2;4;0;0;0;0\}$	$K_c(R)=0,740 < T_u$	$V_{cp}=5,443$ $\delta_1=3,884$; $\delta_2=3,701$; $\delta_3=2,741$; $\delta_4=3,032$; $\delta_5=6,443$; $\delta_6=3,589$; $\delta_7=9,815$
	$v_7 \uparrow$ Эксперт ДА $v_7=5$		
	$V=\{6;5;5;6;6;6;5\}$, $R=\{0;0;0;0;3;4;0;0;0;0\}$	$K_c(R)=0,812 > T_u$	$V_{cp}=5,579$
	Количество обращений к эксперту – 1		

Таблица П11. Оценки согласованности объектов $A1-A4$ по критериям $C4- C5$

Критерий	Объект	Начальный коэффициент согласованности	Конечный коэффициент согласованности	Приведенный коэффициент согласованности
$C5$	$A1-A4$	$W(R)=0,258$	$W(R)=0,722$	$R_c=0,996$
$C4$	$A4$	$K_c(R)=0,582$	$K_c(R)=0,770$	$R_c=0,974$
$C5$	$A1$	$K_c(R)=0,437$	$K_c(R)=0,777$	$R_c=0,992$

**ПРИЛОЖЕНИЕ F. Оценки компетентности экспертов в конкурсе «Взгляд
в будущее 2018»**

Таблица П12. Компетентность экспертов по номинациям

Номинации Эксперты	lebron1 (Томск)	lebron2 (Санкт-Петербург)	lebron3. (Екатеринбург)	lebron4 (Томск)	lebron5 (Томск)	lebron6. (Северск)
Промышленный дизайн (игрушка, мебель, оболочки, станки, транспорт)	5/0,192	4/0,154	5/0,192	4/0,154	3/0,115	5/0,192
Дизайн одежды	3/0,125	3/0,125	4/0,167	5/0,208	4/0,167	5/0,208
Графический дизайн (книга, плакат, упаковка, фирменный стиль)	5/0,2	3/0,12	3/0,12	4/0,16	5/0,2	5/0,2
Дизайн архитектурной среды и средовых объектов (интерьер, МАФ, экстерьер)	5/0,192	3/0,115	5/0,192	3/0,115	5/0,192	5/0,192
Рисунок и различные виды графики	3/0,125	3/0,125	4/0,167	4/0,167	5/0,208	5/0,208
Живопись	3/0,125	3/0,125	4/0,167	4/0,167	5/0,208	5/0,208
2D Art и 3D Art	5/0,2	4/0,16	5/0,2	3/0,12	5/0,2	3/0,12
3D Моделирование (компьютерные технологии, макетирование)	4/0,167	5/0,208	4/0,167	5/0,208	3/0,125	3/0,125
Анимация	4/0,190	5/0,238	3/0,143	5/0,238	2/0,095	2/0,095

ПРИЛОЖЕНИЕ G. Документы о внедрении результатов работы



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ

ФГБОУ ВО «Брянский государственный технический
университет»

«УТВЕРЖДАЮ»

Первый проректор по учебной работе

Шкаберин В.А.

«05»

2019 г.



СПРАВКА

о внедрении в учебный процесс

результатов научно-исследовательской работы старшего преподавателя

Михалевой Оксаны Алексеевны

На основе результатов научно-исследовательской работы старшего преподавателя кафедры «Информатика и программное обеспечение» Михалевой Оксаны Алексеевны, связанной с созданием математических моделей, алгоритмов и программных средств обработки результатов групповой экспертизы в распределенной среде, разработан модуль «Модели и методы групповой экспертизы и принятия коллективных решений» учебной дисциплины «Теория принятия решений» в рамках образовательных программ подготовки магистров по направлениям 09.04.01 «Информатика и вычислительная техника» и 09.04.04 «Программная инженерия».

Декан факультета информационных
технологий, к.т.н., доцент

Дергачев К.В.

05 июля 2019 г.



Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation
Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education
«National Research Tomsk Polytechnic University» (TPU)
30, Lenin ave., Tomsk, 634050, Russia
Tel. +7-3822-606333, +7-3822-701779,
Fax +7-3822-606444, e-mail: tpu@tpu.ru, tpu.ru
OKPO (National Classification of Enterprises and Organizations):
02069303,
Company Number: 027000890168,
VAT/KPP (Code of Reason for Registration)
7018007264/701701001, BIC 046902001

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский
Томский политехнический университет» (ТПУ)
Ленина, пр., д. 30, г. Томск, 634050, Россия
тел.: +7-3822-606333, +7-3822-701779,
факс +7-3822-606444, e-mail: tpu@tpu.ru, tpu.ru
ОКПО 02069303, ОГРН 1027000890168,
ИНН/КПП 7018007264/701701001, БИК 046902001

на № 14.06.2018 № 263 от _____

СПРАВКА

об использовании результатов научно-исследовательской работы

Настоящим подтверждается, что результаты исследований, выполненных Михалевой Оксаной Алексеевной и к.т.н., доцентом Подвесовским Александром Георгиевичем, использованы в деятельности Инженерной школы информационных технологий и робототехники при проведении VI Всероссийского конкурса творческих и исследовательских работ студентов и школьников «Взгляд в будущее 2018».

К числу использованных результатов исследований относятся:

- 1) методы и алгоритмы управления согласованностью результатов групповой экспертизы (в том числе методы оценки согласованности экспертных суждений и алгоритмы повышения согласованности суждений на основе обратной связи с экспертами);
- 2) программный комплекс поддержки принятия решений в распределенной среде.

Использование результатов исследований позволило:

- уменьшить среднее время получения итоговой оценки конкурсной работы на 30% и, за счет этого, сократить общую продолжительность работы жюри с 10 до 7 рабочих дней;
- повысить среднюю согласованность результатов оценивания конкурсных работ членами жюри на 40% (с 0,6 до 0,84 в значениях приведенного коэффициента согласованности);
- полностью исключить ситуации, когда низкая согласованность результатов оценивания конкурсной работы членами жюри являлась следствием случайной ошибки оценивания (ранее число таких работ составляло до 10% от общего числа работ);
- обеспечить более удобную форму дистанционного взаимодействия членов жюри с организаторами экспертизы и координаторами номинаций.

Зам директора ИШИТР, к.т.н.



[Handwritten signature]

В.Е. Губин

Эксперт

Доцент, к.п.н.

[Handwritten signature]

Е.В. Вехтер

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2020610044

Программный комплекс поддержки принятия решений
«ЭКСПРЕСС» (ЭКСПертиза и Принятие РЕшений в
Сетевых Сообществах)

Правообладатели: *Подвесовский Александр Георгиевич (RU),
Михалева Оксана Алексеевна (RU), Вершинин Андрей
Александрович (RU), Козлов Евгений Александрович (RU)*

Авторы: *Подвесовский Александр Георгиевич (RU), Михалева
Оксана Алексеевна (RU), Вершинин Андрей Александрович (RU),
Козлов Евгений Александрович (RU)*

Заявка № 2019664503

Дата поступления 06 ноября 2019 г.

Дата государственной регистрации

в Реестре программ для ЭВМ 09 января 2020 г.



Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Г.П. Ивлиев