

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**

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Брянск – 2020

Работа выполнена на кафедре «Информатика и программное обеспечение»
ФГБОУ ВО «Брянский государственный технический университет»

Научный руководитель

Подвесовский Александр Георгиевич,
кандидат технических наук, доцент

Официальные оппоненты

Кравец Алла Григорьевна,
доктор технических наук, профессор, профессор
кафедры «Системы автоматизированного
проектирования и поискового конструирования»
ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный
технический университет»

Сазонов Михаил Анатольевич,
кандидат технических наук, сотрудник
ФГКВОУ ВО «Академия Федеральной службы
охраны Российской Федерации» (г. Орел)

Ведущая организация

ФГБОУ ВО «Рязанский государственный
радиотехнический университет имени
В.Ф. Уткина»

Защита диссертации состоится 18 мая 2020 года в 14.00 часов на заседании диссертационного совета Д 212.021.03, созданного на базе ФГБОУ ВО «Брянский государственный технический университет», по адресу: г. Брянск, ул. Харьковская, д. 10-Б, ауд. Б101.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «Брянский государственный технический университет» и на сайте университета по адресу: <https://www.tu-bryansk.ru/mainpage/dissertatsii/mikhaleva-oksana-alekseevna>

Отзывы на автореферат присылать по адресу: 241035, г. Брянск, бульвар 50 лет Октября, д. 7, ФГБОУ ВО «Брянский государственный технический университет».

Автореферат разослан « ____ » _____ 2020 года.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
кандидат технических наук, доцент

М.Ю. Рытов

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. 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 является результатом 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. Аргоу, J.C. Borda, I.A. Condorset, A. Gloor Peter, J. Surowiecki.

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 работы 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 работы 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 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.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении приводится обоснование актуальности темы диссертации, формулируются цель и задачи исследования, определяются научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы, рассматривается структура работы, приводятся основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе проанализированы функции управления социальными и экономическими системами. Одной из ключевых функций управления является принятие решений. В процессе принятия решений чаще всего приходится иметь дело с задачами, относящимися к классу слабоструктурированных. Отмечено усиление роли экспертных сетей и сетевых экспертных сообществ как источников интеллектуальной информации для таких задач. Поэтому эффективным инструментом поддержки принятия решений в социальных и экономических системах является сетевая экспертиза.

Проведен анализ подходов к моделированию задач принятия решений. Исследованы особенности процесса поддержки принятия решений в условиях распределенного взаимодействия участников экспертизы. Приведен краткий обзор экспертных технологий, и обоснован выбор объекта исследования.

По результатам анализа работ выделены типовые этапы процесса поддержки групповой экспертизы, соответствующие таким задачам, как: формирование

экспертной группы, выбор типа экспертных оценок и способа их получения, оценка согласованности экспертных суждений, определение итоговой (агрегированной) согласованной экспертной оценки. Проведены анализ и обобщение математических методов решения выделенных задач.

Сделан вывод о том, что математические модели и методы поддержки групповой экспертизы в настоящее время недостаточно адаптированы к их использованию в распределенной среде. В частности, необходимо предусмотреть меры, направленные на повышение согласованности для дальнейшей работы с данным множеством экспертных оценок. Кроме того, возникает задача, связанная с оценкой компетентности экспертов в соответствующей предметной области и ее учетом в модели оценивания. При этом, поскольку экспертную сеть можно рассматривать как группу экспертов, действующую на постоянной основе, становится возможной динамическая оценка компетентности экспертов.

Выполнено исследование рынка отечественных и зарубежных программных продуктов поддержки распределенной экспертизы и сравнительный анализ их функциональности. Выявлена ограниченность функциональных возможностей программных платформ поддержки оценочной и аналитической составляющих экспертной деятельности.

В результате проведенного анализа сформулированы цель и задачи диссертационной работы.

Вторая глава посвящена описанию предложенной информационной технологии поддержки групповой экспертизы в распределенной среде и разработанного математического обеспечения обработки результатов экспертного оценивания в рамках данной технологии.

Представлена общая концептуальная модель задачи группового экспертного оценивания объектов 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 ($s = 1, \dots, q$; $k = 1, \dots, p$). Таким образом, формируется матрица компетентности экспертов $W = \|w_{sk}\|$, каждая строка которой $W_s = (w_{s1}, w_{s2}, \dots, w_{sp})$ 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. Задача группового экспертного оценивания допускает следующее формальное представление:

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

где T – тип задачи (отбор, ранжирование или оценка); $P \subseteq U$ – подмножество предметных областей задачи; $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ – множество объектов экспертного оценивания; K – критерий, на основании которого осуществляется отбор, ранжирование или оценка; F – дополнительная информация, зависящая от типа задачи (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 о компетентности экспертов в контексте решаемой задачи (может быть задана, например, в виде набора степеней относительной компетентности экспертов); X^* – итоговое решение задачи.

На рис. 1 приведена *информационная технология поддержки групповой экспертизы в распределенной среде* с возможностью управления согласованностью экспертных суждений и динамической оценки компетентности экспертов. Схематически ее можно представить в виде обобщенного алгоритма с подключением сетевых экспертных процедур. Для каждого этапа алгоритма предложена информационная модель. Процесс начинается с постановки задачи, которую делает ЛПР на основе имеющейся проблемы и своих предпочтений.

Этап 1. Формирование экспертной группы. Данный этап начинается с целевого запроса к экспертной сети E для отбора экспертов, обладающих требуемым уровнем компетентности в подмножестве предметных областей P . По результатам запроса, с учетом матрицы W , формируется группа экспертов H , компетентность которых в контексте решаемой задачи задается информацией C .

Этап 2. Выбор типа экспертных оценок и способа их получения. По результатам сетевого стратегического совещания определяется тип экспертных оценок, и разрабатываются соответствующие оценочные системы. В состав оценочной системы входят: шкала S для представления оценок по критерию K ; алгоритм M получения и формализации экспертных оценок; множество F ограничений, связанных с процедурой оценивания.

Этап 3. Получение и формализация экспертных оценок. На данном этапе экспертные оценки формализуются и представляются множеством наборов оценок $V(X)$. Формализованное представление $V(X)$ зависит от выбранного на этапе 2 типа используемых оценок (номинальные, ординальные, кардинальные абсолютные, кардинальные относительные и др.).

Этап 4. Проверка согласованности множества экспертных оценок, определение ее достаточности. Данный этап предполагает выбор метода оценки согласованности экспертных суждений и реализацию алгоритма A оценки согласованности множества $V(X)$ с учетом информации C о компетентности экспертов, с последующим применением критерия оценки достаточности согласованности Y . В случае, когда степень согласованности множества экспертных оценок является недостаточной, реализуется процедура обратной связи с экспертами B , целью которой является повышение согласованности множества $V(X)$. В результате формируется согласованное множество экспертных оценок $V^*(X)$, пригодное для вычисления итоговой агрегированной оценки.

Этап 5. Вычисление итоговой агрегированной оценки. Основным содержанием этапа является выбор агрегирующей функции φ и ее применение к согласованному множеству оценок $V^*(X)$. Функция φ выбирается с учетом типа задачи T и шкалы S , используемой для представления экспертных оценок. Результатом данного этапа является набор итоговых агрегированных оценок объектов $K^*(X) = \{K^*(x_1), K^*(x_2), \dots, K^*(x_n)\}$ множества X и выбор итогового решения X^* .

Этап 6. Апостериорная оценка компетентности экспертов. На данном этапе происходит оценка фактической эффективности работы экспертов в контексте решенной задачи, и на основе этого происходит корректировка матрицы компетентности экспертов W'_D для подмножества предметных областей P .

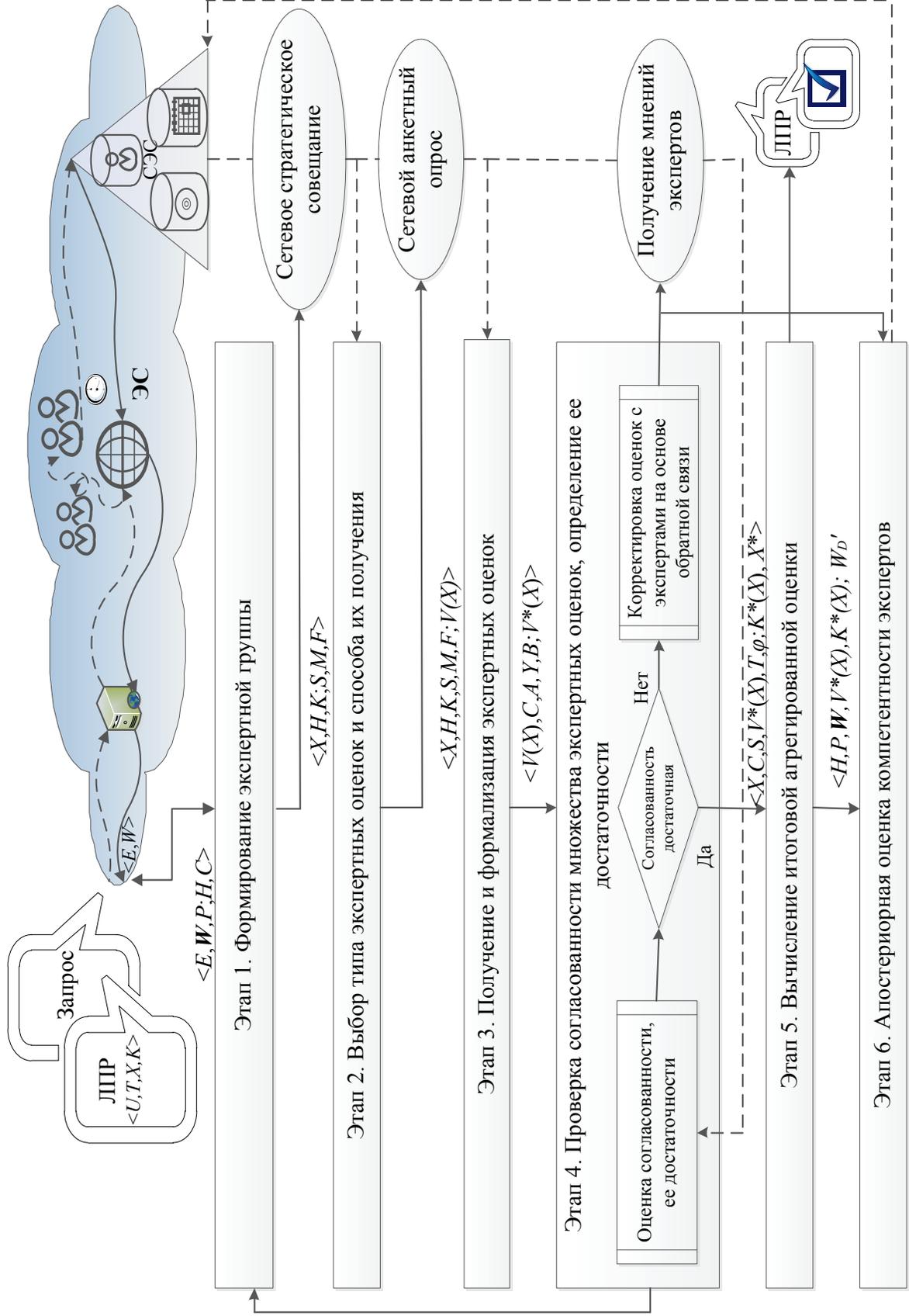


Рисунок 1. Информационная технология поддержки групповой экспертизы в распределенной среде

Для реализации предложенной информационной технологии поддержки групповой экспертизы требуется разработка и исследование математических моделей ее этапов. В рамках общей задачи математического моделирования поддержки групповой экспертизы можно выделить две относительно независимые подзадачи: построение формализованной процедуры проведения групповой экспертизы и обработка результатов экспертизы. В рамках исследования рассматривается вторая подзадача, связанная с этапами 4-6 и направленная на построение комплекса математических моделей и методов, включающего в себя: методы оценки и повышения согласованности экспертных суждений; модель агрегирования экспертных оценок; модель апостериорной динамической оценки компетентности экспертов.

Для повышения согласованности экспертных суждений и снижения влияния случайной экспертной ошибки на итоговый результат оценивания разработан **метод**, включающий **оценку согласованности и определение ее достаточности**, а также **алгоритм повышения согласованности на основе процедуры обратной связи с экспертами**.

Для оценки согласованности множества индивидуальных ранжирований обоснована целесообразность применения модифицированного коэффициента конкордации:

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

где n – число оцениваемых объектов; m – число экспертов; r_{ij} – ранг, присвоенный j -му объекту i -м экспертом; c_i – относительный коэффициент компетентности i -го эксперта.

В качестве показателя согласованности множества абсолютных кардинальных оценок обоснована целесообразность применения спектрального коэффициента согласованности:

$$K_S(W) = \left(1 - \frac{\sum_{k=1}^p \sigma_k \left| k - \frac{\sum_{k=1}^p k \sigma_k}{\sum_{k=1}^p \sigma_k} \right| - \sum_{k=1}^p \sigma_k \ln(\sigma_k)}{G \sum_{k=1}^p \left| k - (p+1)/2 \right| + \ln(p)} \right) z, \quad (3)$$

где $G = m / \ln(m) p \ln(p)$ – масштабный коэффициент, z – нормировочный множитель; n – количество делений шкалы; σ_i – сумма коэффициентов относительной компетентности экспертов, оценки которых представлены i -м делением шкалы.

Условия достаточности согласованности экспертных суждений формируются на основании определения пороговых значений показателя согласованности. К ним относятся порог обнаружения T_o (показатель согласованности множества экспертных оценок, содержащего минимальное количество информации) и порог применения T_u (показатель согласованности множества экспертных оценок, обеспечивающего вычисление агрегированной экспертной оценки с допустимой точностью).

Пусть $L_C(V)$ – показатель согласованности множества экспертных суждений, полученный на основе вычисления модифицированного коэффициента конкордации либо спектрального коэффициента согласованности. Если $L_C(V) < T_o$, то множество $V(X)$ не содержит информации, и необходимо предложить всем экспертам пересмотреть данные ими оценки объектов, либо заменить экспертную группу. Соотношение $L_C(V) \geq T_u$ говорит о достаточной согласованности множества $V(X)$. Если же $T_o \leq L_C(V) < T_u$, 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.

Методы вычисления пороговых значений T_o и T_u зависят от типа экспертных оценок. Алгоритм повышения согласованности экспертных суждений представлен на рис. 2. В его основе лежит процедура обратной связи с экспертами, в рамках которой происходит обращение к выбранным экспертам с запросом о возможности изменения данных ими оценок и рекомендациями, направленными на повышение общей согласованности множества оценок.

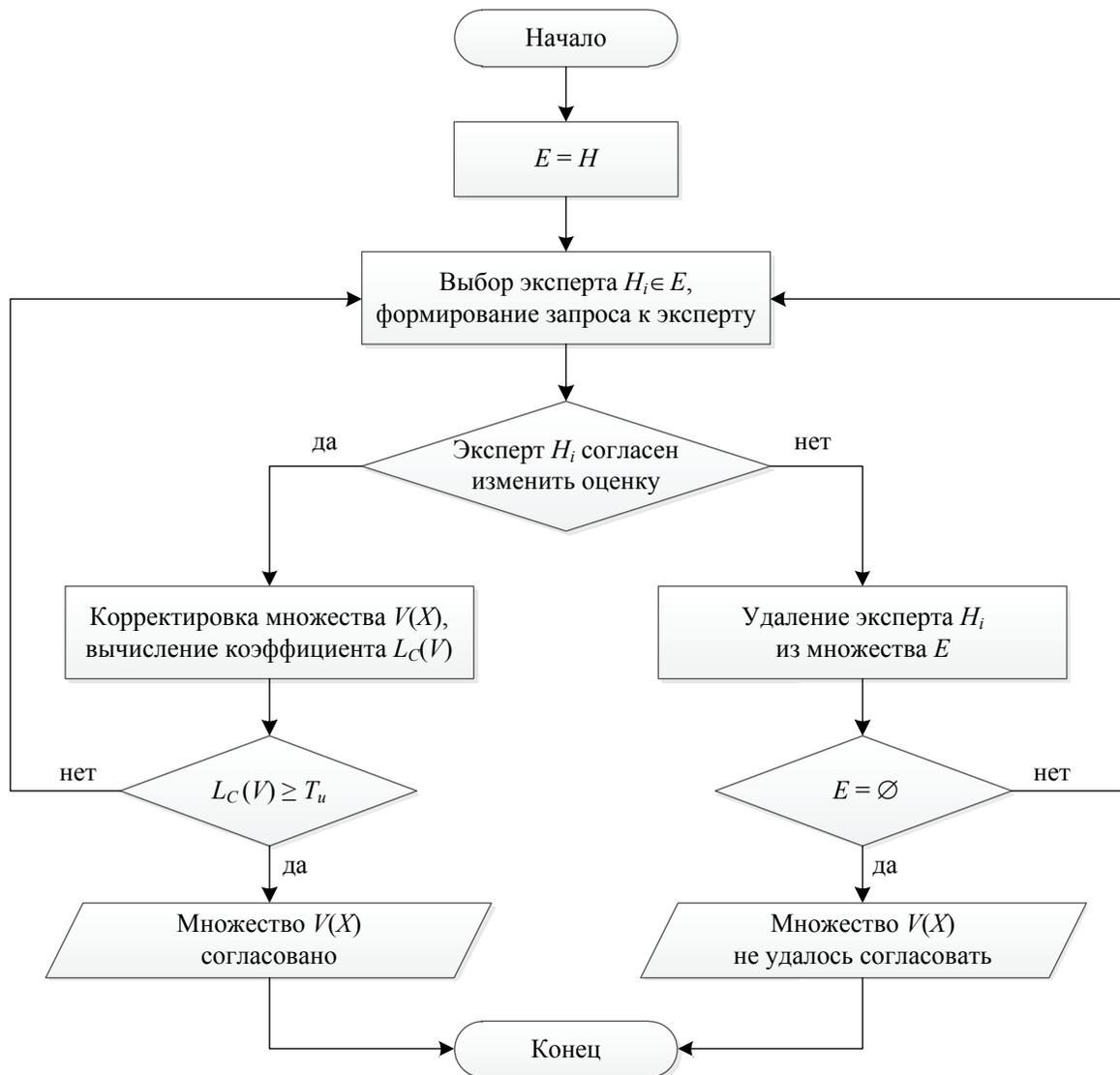


Рисунок 2. Алгоритм повышения согласованности множества экспертных оценок

Правила выбора экспертов зависят от типа оценок. Для ordinalных оценок выбирается эксперт с наименьшим коэффициентом компетентности. В случае кардинальных оценок выбирается эксперт с наибольшим значением величины

$$\delta_i = \frac{|w_i - w_0|}{c_i}. \quad (4)$$

Для проверки сходимости предлагаемого алгоритма повышения согласованности вводится приведенный коэффициент согласованности:

$$R_c(V) = \min \left(\max \left(0, \frac{L_c(V) - T_o}{T_u - T_o} \right), 1 \right). \quad (5)$$

Данная величина обеспечивает независимость показателя согласованности от типа экспертных оценок и количества экспертов, участвующих в оценивании.

Далее во второй главе описана *модель агрегирования экспертных оценок*, целью которой является получение итогового распределения предпочтений на множестве оцениваемых объектов. Установлены требования к данной модели: учет различия в компетентности экспертов; допустимость операций и преобразований над оценками объектов, выраженных в соответствующих шкалах.

Для агрегирования кардинальных оценок предложено использовать средние по Колмогорову, где весовые коэффициенты связаны с компетентностью экспертов. Примером такой оценки является взвешенное усреднение вида:

$v_j^* = \sum_{i=1}^m c_i w_{ij}$, где w_{ij} – оценка объекта x_j , данная i -м экспертом, c_i – компетентность i -го эксперта, v_j^* – агрегированная оценка объекта x_j .

Модель агрегирования ordinalных оценок основана на использовании модифицированной медианы Кемени, которая была предложена в работах Л.Ф. Гуляницкого и соавторов. Метод выбора итогового ранжирования заключается в решении следующей оптимизационной задачи:

$$\sum_{i=1}^m c_i d(r, r^i) \rightarrow \min, r \in R, \text{ где } d(r, r^i) = \sum_{j=1}^n |r_j - r_j^i|.$$

В работе предложен новый способ решения данной оптимизационной задачи, основанный на ее сведении к классической задаче о назначениях. Для этого вводятся переменные:

$$x_{jk} = \begin{cases} 1, & \text{если } r_j = k; \\ 0, & \text{иначе,} \end{cases} \quad (6)$$

где k – ранг объекта. Если предположить, что все индивидуальные ранжирования являются строгими, то необходимо ввести следующие ограничения:

$$\sum_{j=1}^n x_{jk} = 1 \quad (k = 1, \dots, n); \quad \sum_{k=1}^n x_{jk} = 1 \quad (j = 1, \dots, n), \quad (7)$$

первое из которых означает, что k -й ранг имеет один и только один объект, а второе – каждый объект имеет один и только один ранг. Вводя вспомогательные

коэффициенты $\alpha_{jk} = \sum_{i=1}^m c_i |k - r_j^i|$, получаем задачу о назначениях с целевой функцией

$$\sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^n \alpha_{jk} x_{jk} \rightarrow \min. \quad (8)$$

Данная задача не требует обязательного совпадения итогового группового ранжирования с мнением одного из экспертов, кроме того, известны эффективные алгоритмы для ее решения.

Для обеспечения возможности корректировки значений показателя компетентности каждого эксперта по результатам мониторинга эффективности его оценочной деятельности предложена *модель апостериорной динамической оценки компетентности экспертов*. За основу взят способ апостериорной оценки компетентности эксперта, основанный на определении отклонения индивидуальной оценки эксперта от итоговой групповой агрегированной оценки.

Отмечено, что существующие способы апостериорной оценки компетентности экспертов не позволяют учитывать временной аспект изменения компетентности эксперта. В рамках данной модели введено понятие потенциала эксперта s_t , под которым понимается текущее значение эффективности работы эксперта в соответствующей предметной области, зависящее от начального значения потенциала s_0 и эффективности работы эксперта при решении задач в данной области, которая определяется на основе частоты случаев, когда мнение эксперта совпадало с итоговым мнением группы.

Для определения потенциала эксперта используется следующая формула:

$$s_t = s_0 + \frac{t}{2T} - \frac{1}{T} \sum_{k=1}^t \frac{d_k}{d_k^{\max}}, \quad (9)$$

где 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.

Корректировка значений компетентности c определена правилом: если оценка, полученная от данного эксперта, совпала с итоговой оценкой группы, то значение s_t должно увеличиться и значение компетентности c увеличивается, если же оценка отклонилась в согласованном множестве оценок, то значение s_t уменьшается и значение c уменьшается. При этом независимо от количества сеансов оценивания, должно оставаться справедливое неравенство $0 < c < 1$.

Формула для вычисления апостериорной оценки компетентности эксперта в предметной области имеет вид:

$$c = \frac{1}{1 + \exp(-b(s_t - 0,5))}, \quad (10)$$

где t – число задач, относящихся к данной предметной области, в решении которых принимал участие эксперт; b – нормировочный коэффициент.

Третья глава посвящена описанию программной реализации предложенного математического обеспечения поддержки групповой экспертной деятельности в составе программного комплекса (ПК) поддержки принятия решений «ЭКСПРЕСС» с обеспечением возможности распределенного взаимодействия лиц, участвующих в процессе решения – в первую очередь ЛПР, экспертов, аналитиков и координаторов. В главе описаны функциональные требования к ПК, его архитектура и этапы программной реализации.

Архитектура ПК «ЭКСПРЕСС» представлена на рис. 3. ПК предполагает взаимодействие со следующими категориями пользователей: ЛПР (инициатор процесса групповой экспертизы и потребитель его результатов), аналитик (формализация задачи экспертного оценивания, интерпретация и проверка корректности получаемых результатов), координатор (управление всем процессом решения задачи), эксперт (оценивание объектов).

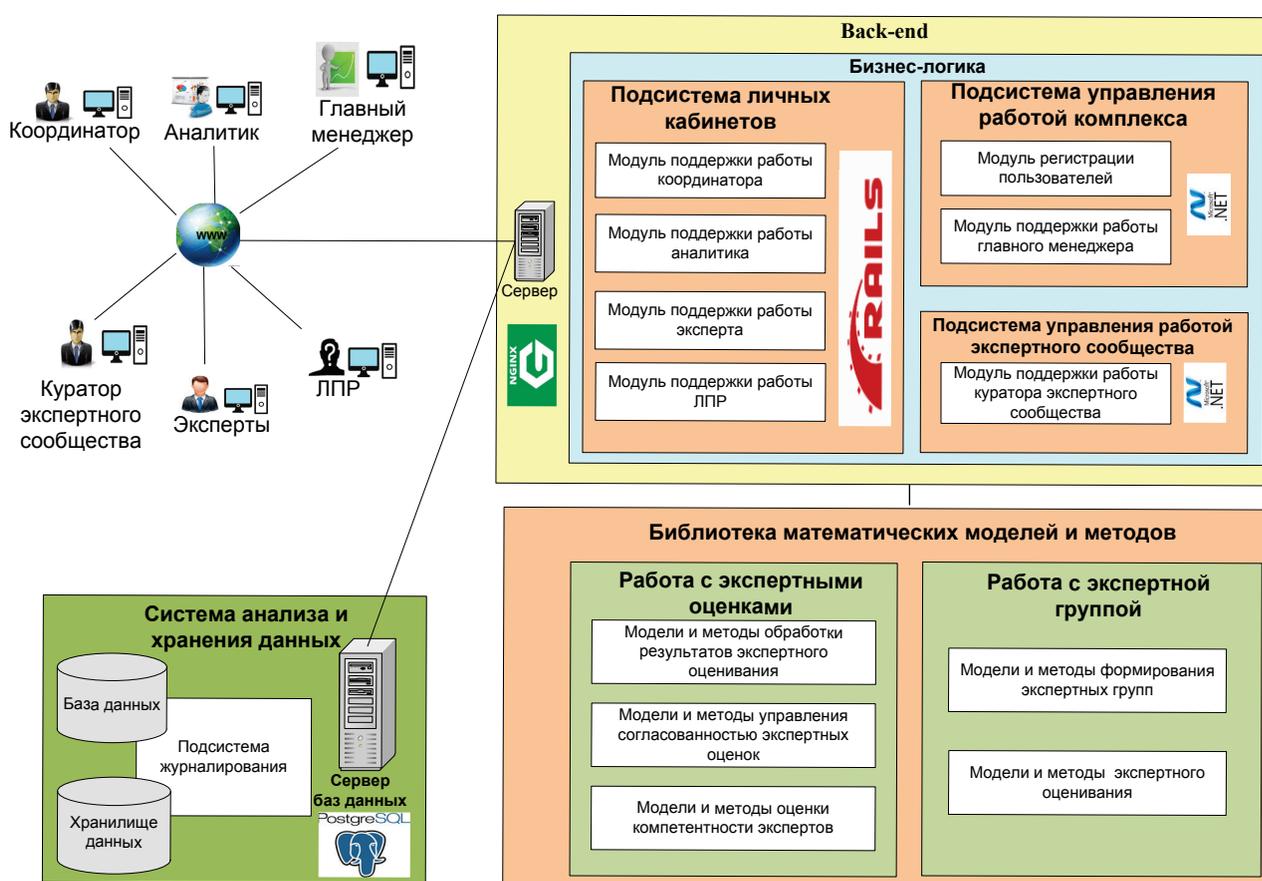


Рисунок 3. Архитектура программного комплекса «ЭКСПРЕСС»

Важнейшим компонентом ПК является библиотека математических моделей и методов обработки результатов групповой экспертизы, в которой реализованы все компоненты математического обеспечения поддержки групповой экспертизы, в том числе разработанные во второй главе авторские модели и методы обработки результатов оценивания. Взаимодействие библиотеки с ПК осуществляется через систему личных кабинетов. Библиотека вынесена в отдельный блок, что позволяет использовать ее вне ПК, а также обеспечивает возможность расширения функциональности и набора поддерживаемых математических методов.

В четвертой главе представлены результаты экспериментальной проверки и апробации полученных теоретических результатов и выполненных программных разработок.

Экспериментальная проверка предложенных моделей проводилась на тестовой задаче выбора архитектуры в рамках проекта разработки комплексной информационной системы (КИС) кафедры «Информатика и программное обеспечение» Брянского государственного технического университета. Группа экспертов состояла из семи специалистов, которые находились в условиях распределенного взаимодействия. Каждый эксперт имел свою степень компетентности в соответствующей предметной области.

В рамках тестирования была проведена серия экспериментов с различными наборами оценок, получаемых от экспертов – было решено порядка 100 задач оценивания по различным сценариям. С учетом сформированных требований к КИС, по каждому предложенному критерию от экспертов были получены ординальные оценки предпочтительности типа архитектуры в соответствии с порядковой шкалой от 1 до 4, а также кардинальные абсолютные оценки с числовым значением от 1 до 10.

По итогам решения тестовых задач были получены следующие результаты. При высоких значениях коэффициента согласованности (более 0,66) для получения согласованного множества оценок было достаточно не более двух обращений к наименее компетентным экспертам. Для меньших значений число запросов к экспертам составляло 3 и более. При этом отказ одного или нескольких экспертов изменить свою оценку приводил к увеличению числа обращений к экспертам, и в некоторых случаях множество оценок согласовать не удавалось, однако окончательное значение коэффициента согласованности было близким к порогу применения.

Для тестирования модели апостериорной динамической оценки компетентности экспертов была проведена ее экспериментальная проверка на 50 синтетических задачах группового экспертного оценивания с участием экспертов разной компетентности.

Моделировались следующие сценарии:

- 1) во всех задачах оценка эксперта совпадает с агрегированной итоговой оценкой ($d_k = 0$);
- 2) при решении всех задач оценка эксперта в наибольшей степени отличается от агрегированной итоговой оценки ($d_k = d_k^{\max}$);
- 3) для некоторых задач оценка эксперта совпадает с агрегированной итоговой оценкой, для остальных отличается незначительно;
- 4) для большинства задач оценка эксперта значительно отличается от агрегированной итоговой оценки, для остальных отличается незначительно.

В результате применения сценария 1 значение потенциала эксперта повысилось на величину 0,5 (максимально возможную при решении контрольного числа задач), в результате применения сценария 2 – понизилось на эту же величину. Для сценариев 3 и 4 значение потенциала соответственно увеличивалось и уменьшалось пропорционально величине d_k / d_k^{\max} .

Результаты экспериментальной проверки комплекса математических моделей обработки результатов групповой экспертизы позволили сделать вывод об его адекватности и достоверности.

Апробация предложенных моделей, методов и программных решений в рамках информационной технологии поддержки групповой экспертизы в распределенной среде осуществлялась при проведении VI Всероссийского конкурса творческих и исследовательских работ на базе Национального исследовательского Томского политехнического университета. Задача конкурса состояла в оценке творческих и исследовательских работ участников разных возрастных групп в области инновационных идей, технологий, материалов, конструктивных и дизайнерских решений новых форм и объектов. Критериями оценки выступали целостность, выразительность и новизна представленных работ. Таким образом, предметная область относилась к деятельности художественных школ, архитектурно-художественных, политехнических университетов, Союза дизайнеров России. На конкурс было представлено 656 работ, при этом особенностью проведения конкурса являлись широта территориального охвата представленных работ и территориально-распределенное взаимодействие членов экспертной комиссии, с учетом географии их проживания (Санкт-Петербург, Екатеринбург, Томск, Северск).

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.

В заключении сформулированы выводы по результатам проведенного исследования.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

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.

ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в изданиях, входящих в Перечень рецензируемых научных изданий ВАК

1. 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.
2. 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.
3. 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.

Публикации в изданиях, индексируемых в Web of Science Core Collection и Scopus

4. Podvesovskii A., Mikhaleva O., [et. al.] Model of Control of Expert Estimates Consistency in Distributed Group Expertise // A. Kravets et al. (Eds.): CIT&DS 2017, Communications in Computer and Information Science, Vol. 754. – Springer International Publishing AG 2017. – Pp. 361-374.

Публикации в других изданиях

5. 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.
6. 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.
7. 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.
8. 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.
9. 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. – 2016. – Т.12. – № 2. – С. 134-146.

Свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ

10. Программный комплекс поддержки принятия решений «ЭКСПРЕСС» (ЭКСПертиза и Принятие РЕшений в Сетевых Сообществах – свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2020610044 от 09.01.2020.

*Подписано в печать 16.03.2020. Формат 60×84 1/16. Бумага офсетная.
Офсетная печать. Печ. л. 1. Т. 100 экз. Заказ № _____. Бесплатно.*

*Брянский государственный технический университет
241035, Брянск, бульвар 50 лет Октября, 7
Лаборатория оперативной печати БГТУ, ул. Институтская, 16*