

Подвесовский А.Г., Михалева О.А., Козлов Е.А., Вершинин А.А.

Брянский государственный технический университет, г. Брянск, Россия

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ЭКСПЕРТНЫХ СЕТЯХ

АННОТАЦИЯ

Рассмотрены особенности математического моделирования и программной поддержки принятия решений в распределенных экспертных сетях на примере задач группового экспертного оценивания. Приведен обобщенный алгоритм поддержки групповой экспертизы в распределенной среде, и предложены принципы математического моделирования его этапов. Рассмотрена архитектура и особенности реализации системы поддержки принятия решений в распределенной среде.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

Принятие решений; экспертные сети; экспертные оценки; групповая экспертиза; согласованность экспертных оценок; оценка компетентности экспертов; распределенная система; система поддержки принятия решений.

Podvesovskii A.G., Mikhaleva O.A., Kozlov E.A., Vershinin A.A.

Bryansk State Technical University, Bryansk, Russia

MATHEMATICAL MODELS AND INFORMATION TECHNOLOGIES FOR DECISION SUPPORT IN DISTRIBUTED EXPERT NETWORKS

ABSTRACT

The features of mathematical modeling and software support of decision making in distributed expert networks are discussed. The group expertise problem was taken as an example. The generalized algorithm of distributed group expertise support is presented, and the concepts of mathematical modeling of its stages are described. The architecture and implementation features of decision support system in distributed environment are also discussed.

KEYWORDS

Decision support; expert networks; expert judgements; group expertise; consistency of expert judgements; evaluation of expert competency; distributed system; decision support system.

Введение

Современный этап развития информационного общества создает основу для возникновения и развития новых информационных технологий поддержки управленческой деятельности. Одной из них является технология информационной и экспертно-аналитической поддержки разработки, анализа и принятия управленческих решений в распределенной среде. 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. Под экспертами обычно понимают специалистов, способных, опираясь на собственные знания, опыт и интуицию, сформулировать свою точку зрения относительно решаемой проблемы или дать оценку ситуации и при этом обладающих независимостью суждений [5]. Современный уровень развития информационно-коммуникационных технологий дает возможность организации распределенного взаимодействия экспертов между собой, а также с ЛПР и организатором экспертизы с использованием современных сетей связи, в первую очередь Интернет.

Благодаря перечисленным обстоятельствам происходит становление нового явления, называемого сетевой экспертизой, в рамках которого создаются и активно развиваются экспертные сети и сетевые экспертные сообщества [1, 8, 10, 16]. Об экспертных сетях говорят как о «фабриках мысли» [8] и моделях «коллективного интеллекта» [10]. Возникает новая технология поддержки

принятия решений в распределенной среде, в рамках которой к традиционным моделям и методам анализа и обоснования решений подключаются сетевые экспертные процедуры.

В то же время сетевая экспертная деятельность имеет ряд особенностей, среди которых наиболее значимыми являются изолированность экспертов друг от друга, возможность несовпадения графиков работы экспертов и полная автоматизация процесса подготовки и принятия решений. В связи с этими особенностями, а также с учетом временных ограничений усложняется задача обеспечения согласованности суждений экспертов и сходимости их мнений к некоторой общей агрегированной оценке. Таким образом, в случае территориально распределенной работы экспертов эффективность традиционных методов организации экспертной деятельности и поддержки принятия решений снижается. Требуется разработка новых подходов, учитывающих специфику сетевого взаимодействия экспертов и ЛПР, и информационных технологий, обеспечивающих поддержку данного взаимодействия.

Проблемы информатизации распределенной экспертной деятельности относятся к числу приоритетных направлений исследований ряда ведущих научных коллективов России и стран СНГ, что подтверждается множеством научных работ последних лет (см., например, [1, 4, 5, 8, 10, 12]). Также в настоящее время появляется и анонсируется ряд коммерческих программных проектов поддержки распределенной экспертизы, например, стартап-проект UniSample [15], программные решения группы компаний «АйТи» [9] и др. Вместе с тем, анализ рынка программных продуктов позволяет сделать вывод о том, что в настоящее время 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. Также наблюдается недостаток программных средств учебно-исследовательского характера, пригодных для обучения соответствующим подходам и методам.

С учетом изложенного можно сделать вывод об актуальности разработки моделей, методов и программных средств поддержки принятия решений в распределенных экспертных сетях.

Задача группового экспертного оценивания в распределенных экспертных сетях: концептуальная модель и особенности

Одной из важных и широко распространенных задач принятия решений, наряду с задачами формирования целей и долгосрочных прогнозов, поиска и генерирования альтернативных решений, является задача группового экспертного оценивания объектов. Применительно к сетевой экспертной деятельности можно выделить следующие закономерности и свойства, присущие данной задаче:

- в качестве участников процесса групповой экспертизы помимо ЛПР и группы экспертов выступают аналитик, модератор и тематический куратор. При этом взаимодействие участников может быть распределенным как в территориальном, так и во временном отношении;
- спектр задач, решаемых в рамках одной экспертной сети, достаточно многообразен и затрагивает множество предметных областей;
- одним из требований, предъявляемых к модели экспертного оценивания и обработки его результатов, является учет компетентности экспертов. При этом важно иметь в виду, что компетентность каждого эксперта существенно зависит от рассматриваемой задачи, т.е. модель задачи должна учитывать компетентность экспертов не вообще, а в контексте предметной области, к которой данная задача относится;
- в качестве объектов экспертного оценивания могут выступать различные компоненты задачи принятия решений: альтернативы, исходы, критерии, риски и др.;
- экспертные оценки различной природы могут принимать значения, выраженные в различных шкалах. При этом каждая шкала допускает определенные операции над представляемыми в ней оценками объектов;
- результатом решения задачи может быть ранжирование объектов с учетом предпочтений ЛПР, выделение лучшего объекта или распределение объектов по классам решений в соответствии с каким-либо условием.

С учетом выделенных свойств, можно предложить следующую концептуальную модель задачи группового оценивания объектов в условиях экспертной сети. 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 $W_s = (w_{s1}, w_{s2}, \dots, w_{sk})$ 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. Задача группового экспертного оценивания допускает следующее формальное представление:

$$\langle T, D, X, K, F, H, C; X^* \rangle,$$

где T – тип задачи (отбор, ранжирование или оценка); $D \in U$ – предметная область задачи; $X = \{x_1, x_2, \dots, x_m\}$ – множество объектов экспертного оценивания; K – критерий, на основании которого осуществляется отбор, ранжирование или оценка; F – дополнительная информация, зависящая от типа задачи (см. далее); $H = \{H_1, H_2, \dots, H_n\} \subset E$ – множество экспертов, отобранных для решения задачи; C – формализованная информация о компетентности экспертов в контексте решаемой задачи; X^* – итоговое решение задачи.

Информация C играет важную роль при определении состава и численности экспертной группы H и может быть представлена в виде набора степеней относительной компетентности экспертов в предметной области D либо иметь более сложное представление. Дополнительная информация F зависит от типа задачи и, как правило, задается в форме ограничений, связанных с параметрами процедуры оценивания.

Таким образом, технология поддержки группового экспертного оценивания в распределенной среде должна обеспечивать решение таких задач, как формирование экспертной группы, выбор типа экспертных оценок и способа их получения, оценка согласованности экспертных суждений, определение итоговой (агрегированной) согласованной экспертной оценки. Помимо перечисленных задач возникает важная задача, связанная с оценкой компетентности экспертов в соответствующей предметной области и ее учетом в модели оценивания как на этапе формирования агрегированной оценки, так и на этапе оценки согласованности экспертных суждений. При этом, поскольку экспертную сеть можно рассматривать как группу экспертов, действующую на постоянной основе, становится возможной не только статическая, но и динамическая оценка компетентности экспертов, которая подразумевает возможность уточнения показателей компетентности каждого эксперта на основе фактических данных о его работе в группе. Например, компетентность эксперта в некоторый момент времени может зависеть от эффективности его участия в предыдущих задачах оценивания, т.е. от того, как часто оценки, получаемые от данного эксперта, совпадали либо не совпадали с мнением группы.

Кроме того, важно иметь в виду, что оценка согласованности множества экспертных суждений не является самоцелью, а применяется для того, чтобы принять обоснованное решение о возможности использования данного множества в качестве основы для определения итоговой агрегированной групповой оценки. Тем самым наряду с определением степени согласованности множества экспертных оценок необходимо также оценивать ее достаточность для дальнейшей работы с данным множеством и, если она окажется недостаточной, предусматривать процедуры, направленные на повышение согласованности.

Обобщенный алгоритм поддержки групповой экспертизы в распределенной среде

С учетом рассмотренных выше постановки и особенностей задачи группового экспертного оценивания в распределенной среде процесс поддержки групповой экспертизы в распределенных экспертных сетях можно представить в виде обобщенного алгоритма, схема которого приведена на рис. 1. Данный алгоритм включает шесть основных этапов. Стрелками показаны связи между этапами и сетевыми экспертными процедурами, отражающие возможные последовательности их выполнения и направления передачи информации. Кратко охарактеризуем каждый этап.

Этап 1. Формирование экспертной группы

Задача формирования экспертной группы была и остается одной из наиболее сложных в теории и практике экспертного оценивания, и ее решение предполагает решение следующих подзадач:

- определение численности экспертной группы;
- составление списка возможных кандидатов в эксперты;
- формирование экспертной группы из множества кандидатов на основе анализа их компетентности в соответствующей предметной области.

Следует особо отметить важность задачи определения численности экспертной группы. Уменьшение количества экспертов может привести к недостоверности результата группового оценивания, а чрезмерное увеличение количества экспертов в группе затрудняет процесс оценки согласованности экспертных суждений.

Источником для формирования экспертной группы является экспертная сеть. Формирование экспертной группы начинается с целевого запроса к сети для получения информации об экспертах в заданной предметной области и их компетентности в этой области. Полученная информация позволяет проранжировать кандидатов в порядке убывания их компетентности и на основе этого выделить подмножество экспертов, мощность которого

соответствует рекомендованной численности экспертной группы. Если информация о предыдущем опыте работы экспертов в данной предметной области отсутствует, то для оценки компетентности экспертов на данном этапе можно применять априорные или тестовые методы [3]. При наличии такой информации (ее источниками могут быть, например, реестры экспертов, привлекавшихся ранее для аналогичной работы) можно использовать апостериорные методы оценки компетентности (см. далее).

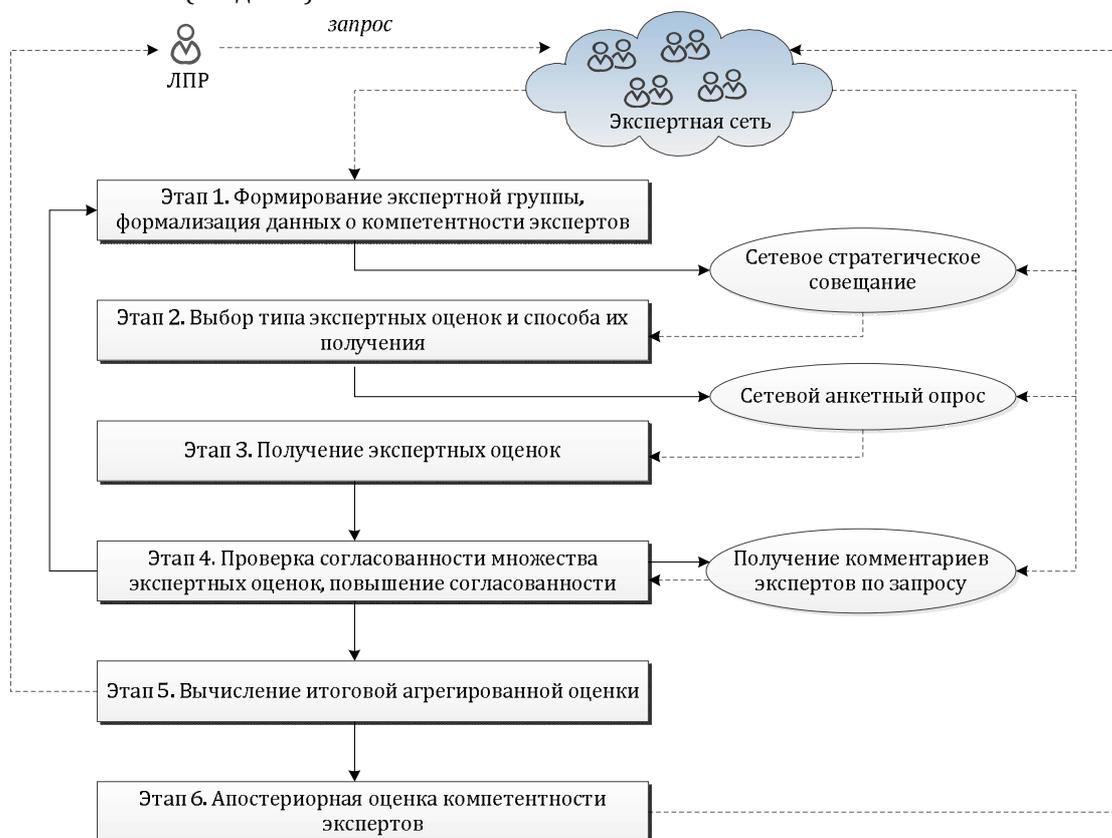


Рис.1. Схема обобщенного алгоритма поддержки групповой экспертизы в распределенной среде

Этап 2. Выбор типа экспертных оценок и способа их получения

Целью данного этапа является информационное обеспечение последующих этапов экспертного исследования, что подразумевает создание необходимых условий для дальнейшей формализации экспертных оценок, а также выбор алгоритмов и процедур оценивания.

Возможны два подхода к экспертной оценке объектов с последующим агрегированием индивидуальных оценок для получения итоговой групповой оценки: ординальный и кардинальный [13]. При ординальном подходе каждый эксперт ранжирует объекты по некоторому признаку, а задача оценивания состоит в определении результирующих рангов объектов. Кардинальный подход обеспечивает решение более общей задачи – определение количественных показателей абсолютной либо относительной эффективности объектов в отношении заданного свойства. Соответственно кардинальной абсолютной оценкой называется число, измеряющее характеристику отдельно взятого объекта вне его связи с остальными, а кардинальной относительной оценкой – число, характеризующее степень выраженности оцениваемого свойства по отношению к остальным объектам.

Определившись с типом экспертных оценок, следует разработать оценочную систему, в состав которой входят шкала, используемая для представления оценок, алгоритм получения и формализации оценок, а также множество ограничений, связанных с параметрами процедуры оценивания.

Этап 3. Получение и формализация экспертных оценок

Результатом данного этапа является формализованное представление оценок объектов, полученных от экспертов. Конкретный вид формализованного представления оценок зависит от выбранного на предыдущем этапе подхода к оцениванию. При ординальном подходе экспертные оценки будут представлены в виде множества индивидуальных ранжирований, при кардинальном подходе – в виде множества числовых значений (для случая абсолютных оценок) либо множества индивидуальных матриц парных сравнений [13] (для случая относительных оценок).

Этап 4. Проверка согласованности множества экспертных оценок, повышение согласованности

Целью данного этапа является решение вопроса о возможности использования полученного на предыдущем этапе множества экспертных оценок для нахождения итоговой агрегированной оценки либо о выделении некоторого значимого его подмножества, на основе которого можно вычислить состоятельную агрегированную оценку.

Существует множество методов оценки согласованности, каждый из которых ориентирован на работу с конкретным типом экспертных оценок [3, 13]. Определившись с методом оценки согласованности множества экспертных суждений, следует выбрать критерий оценки ее достаточности (устанавливающий возможность использования данного множества для дальнейшей обработки), а также сформировать процедуру повышения согласованности на основе технологии обратной связи с экспертами.

В традиционных задачах групповой экспертизы общая идея методов обработки экспертных оценок заключается в аккумуляции мнений экспертов «в одной комнате». При распределенной работе экспертов возможность непосредственной коммуникации отсутствует, что приводит к затруднению процесса согласования оценок и увеличению времени на достижение согласованности. Кроме того, как отмечалось ранее, модель оценки согласованности экспертных суждений и методы повышения согласованности должны учитывать различия уровня компетентности экспертов в предметной области решаемой задачи. С учетом этого механизм обратной связи с экспертами реализуется с помощью сетевой экспертной процедуры – получения комментариев экспертов по запросу.

В результате выполнения данного этапа может быть получен один из следующих результатов:

- е) множество экспертных оценок было согласованным изначально;
- ж) изначально множество оценок не было согласованным, но его удалось согласовать за счет пересмотра некоторыми экспертами своих суждений;
- з) множество оценок согласовать не удалось, и группа экспертов подлежит замене.

Этап 5. Вычисление итоговой агрегированной оценки

Данный этап представляет собой заключительное звено процесса группового экспертного оценивания, и основным его содержанием является выбор агрегирующей функции и ее применение к согласованному множеству экспертных оценок.

Агрегирующая функция выбирается с учетом типа экспертных оценок и шкалы, используемой для их представления, поскольку эти параметры определяют возможность и правомерность применения тех или иных методов агрегирования [3, 13]. Кроме того, данная функция должна учитывать показатели компетентности экспертов.

Информация о решенной задаче передается в базу знаний и сохраняется в ней для обеспечения возможности повторного использования.

Этап 6. Апостериорная оценка компетентности экспертов

Как уже отмечалось, компетентность экспертов оценивается в контексте предметной области, к которой относится рассматриваемая проблема. Как правило, априорной информации для оценки компетентности экспертов недостаточно и требуется ее уточнение, которое может производиться на основе фактических данных о работе эксперта в группе. Например, компетентность эксперта в некоторый момент времени может зависеть от эффективности его работы в предыдущих задачах оценивания. В качестве показателя эффективности можно рассматривать относительную частоту случаев, когда индивидуальное мнение эксперта совпадало с итоговым мнением группы. Очевидно, что получаемые таким образом оценки компетентности являются динамическими и их точность будет зависеть от длительности работы группы, т.е. от количества рассмотренных совместно проблем, по которым принимались групповые решения.

Таким образом, на данном этапе следует оценить фактическую эффективность работы эксперта в контексте решенной задачи и на основе этого произвести уточнение показателя компетентности эксперта в соответствующей предметной области.

Принципы построения математических моделей поддержки групповой экспертизы

С целью обеспечения программной поддержки процесса групповой экспертизы в распределенной среде требуется разработка и исследование математических моделей его этапов.

Анализ описанного выше обобщенного алгоритма и позволяет сделать вывод, что в рамках общей задачи математического моделирования поддержки групповой экспертизы можно выделить две относительно независимые подзадачи: построение формализованной процедуры проведения групповой экспертизы и разработка комплекса математических моделей обработки результатов

экспертизы. Первая из этих подзадач связана с этапами 1-3 и включает в себя построение моделей формирования оптимального состава экспертной группы и непосредственного проведения экспертного оценивания с представлением результатов в выбранной шкале. Вторая подзадача связана с этапами 4-6 и направлена на построение комплекса моделей, целью которых является получение итогового результата в соответствии с целью экспертизы, а также оценка фактической эффективности работы экспертов.

Задача разработки формализованной процедуры проведения групповой экспертизы достаточно широко освещена в литературе, и к настоящему моменту разработано множество методов ее решения (см., например, [3, 7, 14]). Здесь следует особо отметить работу [14], в которой показано, что все многообразие проблем экспертного оценивания в различных предметных областях может быть сведено к конечному набору формализованных задач определения экспертных оценок различных типов, что позволяет разработать соответствующие алгоритмы и программы для их решения. Также можно отметить работу [7], в которой дается обзор существующих методов формирования экспертной группы и предлагается общий концептуальный подход к выбору и априорному оцениванию компетентности экспертов.

Рассмотрим более подробно задачу обработки результатов групповой экспертизы и построения комплекса математических моделей для ее информационной и программной поддержки. Обобщая содержание соответствующих этапов обобщенного алгоритма, можно выделить следующие основные цели обработки результатов экспертизы:

- 1) обеспечение возможности использования индивидуальных экспертных оценок для формирования итоговой групповой оценки, удовлетворяющей требованиям непротиворечивости и состоятельности;
- 2) непосредственное вычисление итоговой групповой оценки;
- 3) оценка фактической эффективности работы каждого эксперта в группе.

При этом, как отмечалось ранее, при достижении первой из перечисленных целей необходимо не просто оценивать согласованность экспертных суждений, но и обеспечивать меры, направленные на ее повышение. Кроме того, долгосрочный характер существования экспертной сети и возможность многократного привлечения каждого эксперта к оценочной деятельности позволяют осуществлять динамическую оценку его компетентности по результатам предыдущей работы.

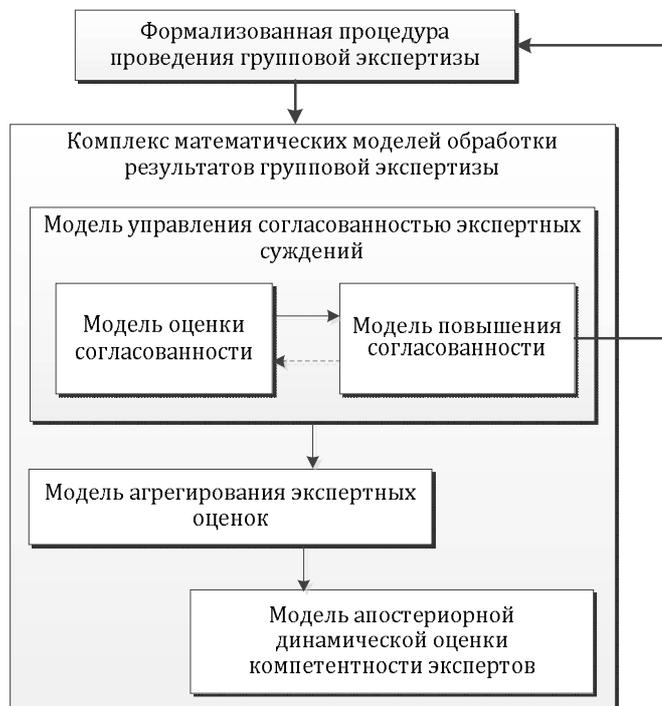


Рис 2. Обобщенная математическая модель поддержки групповой экспертизы

Таким образом, комплекс моделей обработки результатов экспертизы должен включать в себя:

- модель управления согласованностью экспертных суждений, обеспечивающую как механизмы оценки согласованности для множеств экспертных оценок различных типов

с учетом компетентности экспертов, так и механизмы повышения согласованности с использованием формализованных процедур обратной связи с экспертами;

- модель агрегирования экспертных оценок, позволяющую обрабатывать экспертные оценки различных типов с учетом компетентности экспертов;
- модель апостериорной динамической оценки компетентности экспертов, предоставляющую механизм уточнения значений показателя компетентности каждого эксперта в предметной области на основе фактической эффективности его работы.

Структура обобщенной математической модели поддержки групповой экспертизы с детализированным представлением комплекса моделей обработки результатов экспертизы показана на рис. 2.

Рассмотрим принципы построения математических моделей обработки результатов групповой экспертизы.

Модель управления согласованностью экспертных суждений

В основе данной модели лежит вычисление количественного показателя согласованности множества оценок, данных экспертами, сравнение его с пороговыми значениями и, в случае отклонения от требуемого уровня согласованности, применение механизма обратной связи с экспертами, направленного на повышение согласованности оценок на выходе.

Механизм обратной связи обеспечивает возможность оперативно корректировать экспертные оценки в режиме интерактивного взаимодействия с экспертами. Обращение к выбранному эксперту с предложением пересмотреть данные им оценки может рассматриваться в качестве управляющего воздействия. Таким образом, модель управления согласованностью экспертных суждений можно представить в виде замкнутого контура управления, реализующего принцип управления по отклонению. Структурная схема данного контура показана на рис. 3. Здесь X – множество объектов, оцениваемых по критерию K с использованием шкалы S ; H – множество экспертов, выполняющих оценивание; $V(X)$ – формализованное представление множества индивидуальных оценок, полученных от экспертов; A – процедура оценки согласованности множества $V(X)$; Y – критерий оценки достаточности согласованности; Z – вычисленная оценка достаточности согласованности; B – процедура обратной связи с экспертами; U – управляющее воздействие.

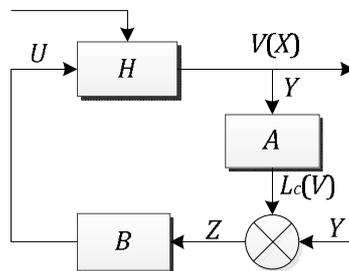


Рис. 3. Представление модели управления согласованностью экспертных суждений в виде контура управления

Первым шагом после получения множества индивидуальных оценок объектов $V(X)$ является проверка согласованности данного множества с учетом компетентности экспертов. Количественной характеристикой степени согласованности экспертных суждений выступает коэффициент согласованности $L_c(V)$. Для ординальных оценок (ранжирований) в качестве такого коэффициента можно использовать модифицированный коэффициент конкордации [11], основным отличием которого от классического коэффициента конкордации Кендалла является возможность учета компетентности экспертов. Согласованность множества кардинальных оценок можно оценивать с помощью спектрального метода [13], основная идея которого состоит в определении количества информации, содержащейся во множестве оценок, полученных от экспертов, с учетом компетентности экспертов.

После вычисления коэффициента согласованности $L_c(V)$ необходимо установить, является ли степень согласованности множества экспертных оценок достаточной для того, чтобы его можно было использовать для вычисления агрегированной оценки. С этой целью вводим критерий оценки достаточности согласованности Y , основанный на двух показателях [11, 13]: пороге обнаружения и пороге применения, устанавливающие соответственно наличие информации во множестве экспертных оценок $V(X)$ и достаточность ее для того чтобы результатам оценивания можно было доверять.

Более конкретно, 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. Для каждого типа оценок (ординальные, кардинальные) используются свои методы вычисления пороговых значений [6, 11, 13].

Сопоставление значения коэффициента согласованности $L_c(V)$ с пороговыми значениями T_o и T_u выполняется в блоке сравнения. Результат сопоставления Z может быть использован для принятия решения о возможности дальнейшего использования множества $V(X)$. Здесь возможны три случая. Если $L_c(V) < T_o$, то $V(X)$ не содержит информации, и необходимо предложить всем экспертам пересмотреть данные ими оценки объектов, либо заменить экспертную группу. Если $T_o \leq L_c(V) < T_u$, 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. Если же $L_c(V) \geq T_u$, то согласованность множества $V(X)$ достаточна, чтобы использовать его для вычисления итоговой агрегированной оценки.

Очевидным способом повышения согласованности является корректировка оценок, данных некоторыми экспертами. Но здесь приходится сталкиваться с еще одной весьма непростой задачей определения того, какие эксперты должны пересматривать свои оценки, а также оценки каких объектов им следует изменить, и в каком направлении. Учитывая этот факт, можно говорить, что одним из важных аспектов организации группового экспертного оценивания в распределенной среде является процедура B обратной связи с экспертами. Данная процедура основана на реализации управляющего воздействия U , заключающегося в обращении к выбранным экспертам с запросом о возможности изменения данных ими оценок и рекомендациями, направленными на повышение согласованности множества индивидуальных оценок. Если эксперт согласен изменить свою оценку, то по результатам изменения происходит перерасчет коэффициента согласованности. При этом каждому эксперту должно быть предоставлено право не изменять свое суждение. Процедура продолжается до тех пор, пока степень согласованности не превысила значение порога применения, либо пока не будет исчерпан лимит экспертов. В последнем случае делается вывод о невозможности получения согласованной оценки в условиях имеющейся экспертной группы.

Модель агрегирования экспертных оценок

Целью агрегирования экспертных оценок является получения итогового распределения предпочтений на множестве оцениваемых объектов. Важным требованием к модели агрегирования является учет компетентности экспертов. Кроме того, задача выбора агрегирующей функции тесно связано с вопросом допустимости операций и преобразований над оценками объектов, выражаемых в соответствующих шкалах. Для агрегирования кардинальных оценок можно использовать операцию взвешенного усреднения. В случае ординальных оценок возможны два подхода к агрегированию:

- мажоритарный подход, в рамках которого оцениваемые объекты ранжируются в соответствии с числом поданных за них голосов. К таким методам относятся методы Борда и Кондорсе, а также их модификации, позволяющие учитывать компетентность экспертов [11];
- усредняющий подход, в основе которого лежит обработка множества экспертных оценок с использованием меры близости на основе медианы Кемени, либо других метрик в пространстве ранжировок, например, меры Гуляницкого-Малышко [2].

Модель апостериорной динамической оценки компетентности экспертов

Один из способов апостериорной оценки компетентности эксперта основан на определении отклонения его индивидуальной оценки от итоговой групповой агрегированной оценки [3]. При этом, поскольку экспертную сеть можно рассматривать как группу экспертов, действующую на постоянной основе, то становится возможной не только статическая, но и динамическая оценка компетентности экспертов, которая подразумевает возможность уточнения показателей компетентности каждого эксперта на основе фактических данных о его работе в группе. В рамках данного метода введем понятие потенциала эксперта s_i , под которым будем понимать текущее значение эффективности работы эксперта в соответствующей предметной области, зависящее от следующих факторов:

- 1) начального значения s_0 показателя компетентности эксперта в данной области, определяющего его начальный потенциал;

- 2) эффективности работы эксперта при решении задач в данной области, которая определяется на основе частоты случаев, когда мнение эксперта совпадало с итоговым мнением группы.

Корректировку значений компетентности c будем выполнять, руководствуясь следующим 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 должно уменьшиться. При этом независимо от количества сеансов оценивания, должно оставаться справедливым неравенство $0 < c < 1$ (иными словами, должно иметь место асимптотическое стремление значений c 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:

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

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.

При этом потенциал эксперта, компетентность которого оценивается как средняя ($c = 0,5$), принимается равным 0,5.

Если, дополнительно к этому, принять, что потенциал эксперта, считающегося высоко компетентным в данной предметной области, должен принимать значения, больше либо равные 1, а потенциал эксперта, компетентность которого в данной предметной области хоть и признается, но оценивается как крайне низкая, должен принимать значения, меньше либо равные 0, то нормировочный коэффициент b определяется из следующего условия:

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

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

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

Для определения потенциала эксперта используется следующая формула:

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

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.

Для задач ранжирования отклонение d_k вычисляется по формуле:

$$d_k = \sum_{i=1}^n |r_i - r_i^*|,$$

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

Для случая кардинальных оценок отклонение d_k вычисляется по формуле:

$$d_k = \sqrt{\sum_{i=1}^n (v_i - v_i^*)^2},$$

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

Значение T (контрольное число задач) определяется как минимальное количество задач, в которых должен принять участие эксперт, чтобы повысить значение своего потенциала на величину 0,5 (например, с 0,5 до 1). Это же значение можно определить, как минимальное количество задач, в которых должен принять участие эксперт, чтобы уменьшить значение своего

потенциала на величину 0,5 (например, с 0,5 до 0).

Начальный потенциал s_0 определяется как значение потенциала, соответствующее начальному значению c_0 коэффициента компетентности эксперта в данной предметной области. Таким образом, его можно определить из следующего условия:

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

откуда

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

Предложенный метод апостериорной оценки компетентности экспертов позволяет учитывать динамику изменения компетентности экспертов по результатам мониторинга эффективности работы каждого эксперта.

Архитектура и особенности реализации программного комплекса поддержки принятия решений в распределенной среде

Предложенные модели и алгоритмы поддержки групповой экспертизы были реализованы в составе распределенной системы поддержки принятия решений (СППР). СППР представляет собой программный комплекс, ориентированный на решение задач группового экспертного оценивания, с обеспечением возможности распределенного взаимодействия лиц, участвующих в процессе решения – в первую очередь ЛПР, экспертов и аналитиков. Такое взаимодействие становится возможным, благодаря функционированию СППР в сети Интернет и возможности удаленного доступа к ней для всех групп пользователей. Поддерживаются следующие типы задач: отбор объектов из множества по определенным признакам; ранжирование объектов (формирование групповой ординальной оценки); оценивание объектов (формирование групповой относительной либо абсолютной кардинальной оценки). СППР охватывает все этапы процесса групповой экспертизы, предусмотренные обобщенным алгоритмом (см. рис. 1). При этом особое внимание уделяется обеспечению согласованности множества экспертных суждений, с применением разработанных моделей управления согласованностью на основе механизмов обратной связи с экспертами. Также поддерживается описанный выше метод апостериорной динамической оценки компетентности экспертов.

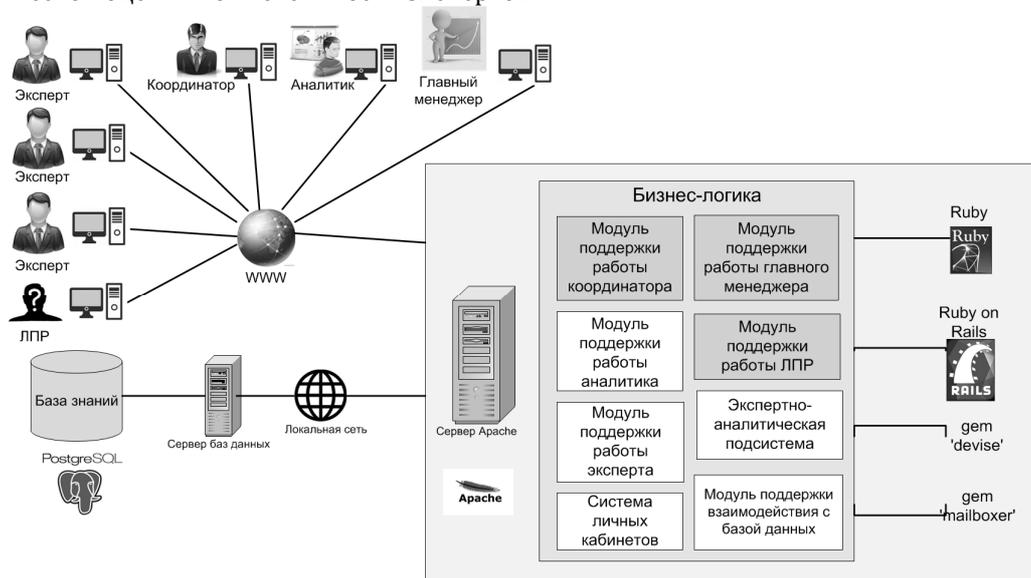


Рис 4. Архитектура программного комплекса поддержки принятия решений в распределенной среде

Архитектура программного комплекса представлена на рис. 4. В основу ее построения была положена трехзвенная модель «клиент – сервер приложений – сервер баз данных». Вся бизнес-логика, основу которой составляет комплекс рассмотренных выше математических моделей поддержки групповой экспертизы реализована на уровне сервера приложений, что значительно упрощает дальнейшее расширение функциональности СППР. В основу реализации программного комплекса были положены следующие решения. В качестве СУБД была выбрана система PostgreSQL – свободно распространяемая объектно-реляционная СУБД, являющаяся одной из наиболее развитых открытых СУБД. В качестве языка программирования был выбран язык Ruby, при этом

использовался фреймворк Ruby on Rails и шаблон проектирования MVC («модель – представление – контроллер»).

СППР предполагает взаимодействие со следующими категориями пользователей:

1. ЛПР. Представляет собой заказчика, «владельца проблемы». Является инициатором всего процесса и «потребителем» его результатов;
2. координатор (модератор). Управляет всем процессом решения задачи (от подбора группы экспертов до выдачи согласованного решения);
3. аналитик. В его функции входят формализация задачи, подбор альтернатив, выбор критериев, оценочных шкал и др., а также интерпретация и проверка корректности получаемых результатов;
4. эксперт. Принимает непосредственное участие в процессе подготовки решений, оценивании объектов. Данная категория пользователей является основной и самой многочисленной;
5. главный менеджер. Осуществляет общее руководство процессами решения задач, в частности выполняет назначения координаторов и аналитиков;
6. администратор. Отвечает за разработку, поддержку, сопровождение программной части комплекса.

На рис. 5 показана UML-диаграмма взаимодействия различных категорий пользователей в режиме решения задачи. На клиентском уровне все взаимодействие осуществляется с помощью web-интерфейса.

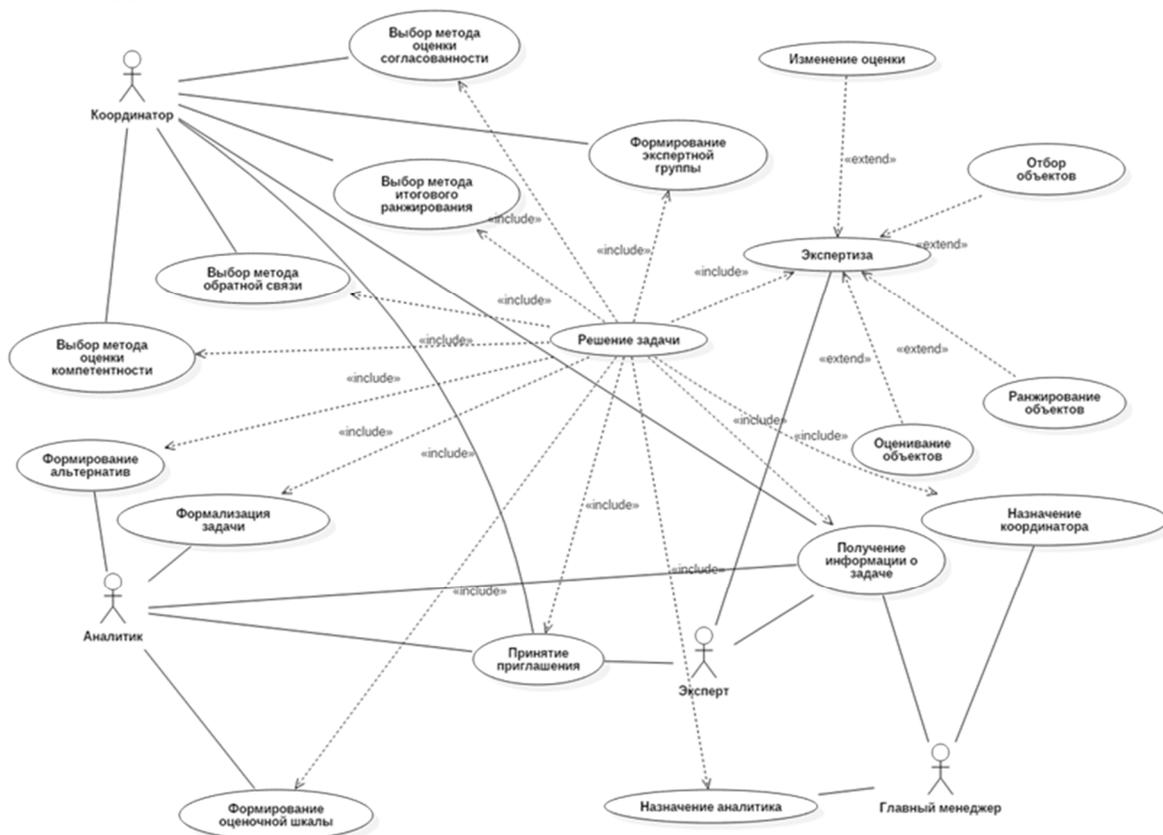


Рис 5. Диаграмма взаимодействия различных категорий пользователей в режиме решения задачи

Заключение

Разработка научно-методических основ и создание информационно-аналитических систем поддержки принятия групповых решений в распределенной среде в настоящее время является актуальным направлением исследований, в рамках которого ставятся и решаются задачи, связанные с созданием новых и развитием существующих математических моделей принятия групповых решений, учитывающих распределенный характер взаимодействия ЛПР, экспертов, аналитиков и других участников данного процесса. В статье рассмотрен подход к математическому моделированию и программной поддержке процесса группового экспертного оценивания в условиях распределенного взаимодействия его участников. В настоящее время создан пилотный

прототип СППР, и выполняется комплекс исследований, связанных с апробацией как самой СППР, так и реализованных в ней математических моделей при решении прикладных задач. К направлениям дальнейшего развития СППР относятся расширение спектра поддерживаемых задач и математических методов, журналирование процессов, связанных с работой экспертной группы, реализация методов априорного оценивания компетентности экспертов и формирования рекомендаций по составу и численности экспертной группы.

Литература

1. 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.
2. 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.
3. Литвак, Б.Г. Экспертные технологии в управлении / Б.Г. Литвак. – М.: Дело, 2004. – 400 с.
4. Павлов, А.Н. Информационные технологии для формирования коллективной экспертной оценки / А.Н. Павлов // Ситуационные центры: модели, технологии, опыт практической реализации: материалы науч.-практ. конф. РАГС / Под общ. ред. А.Н. Данчула. – М.: Изд-во РАГС, 2007. – С. 150-159.
5. 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.
6. Подвесовский, А.Г. Обобщенный алгоритм определения согласованных групповых кардинальных оценок с учетом компетентности экспертов / А.Г. Подвесовский, О.А. Михалева // Информационные технологии интеллектуальной поддержки принятия решений: труды II междунар. конф. – Уфа: УГАТУ, 2014. – Т. 1. – С. 58-64.
7. Постников, В.М. Анализ подходов к формированию состава экспертной группы, ориентированной на подготовку и принятие решений // Наука и образование: электрон. науч.-техн. журнал. – 2012. – № 5. – URL: <http://technomag.edu.ru/doc/360720.html>.
8. Райков, А.Н. Сетевая экспертная поддержка решений / А.Н. Райков // Управление большими системами. – 2010. – № 30-1. – С. 758-773.
9. Славин, Б.Б. Облачный сервис интеллектуальной групповой экспертизы. URL: <http://www.myshared.ru/slide/260122>,
10. 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/>.
11. Тоценко, В.Г. Групповые ранжирования с обратной связью с экспертами с учетом их компетентности / В.Г. Тоценко // Проблемы управления и информатики. – 2006. – № 5. – С. 92-99.
12. Тоценко, В.Г. Исследование методов группового экспертного оценивания экспертами, работающими в INTERNET / В.Г. Тоценко, В.В. Цыганок // Реестрация, зберігання та оброб. даних. – 2004. – Т. 6. – № 2. – С. 81-87.
13. Тоценко, В.Г. Методы и системы поддержки принятия решений. Алгоритмический аспект / В.Г. Тоценко. – Киев : Наукова думка, 2002. – 378 с.
14. Тоценко, В.Г. Об унификации алгоритмов организации экспертиз / В.Г. Тоценко // Проблемы правовой информатизации. – 2006. – № 2 (12). – С. 96-101.
15. Универсальная сервисная платформа для экспертных исследований UniSample. URL: <http://www.slideshare.net/kiselevdb/uni-sample>.
16. Экспертные сети и технология посткраудсорсинга. – URL: <http://www.starbase.ru>.

References

1. Gubanov, D.A. Setevaya ekspertiza / D.A. Gubanov, N.A. Korgin, D.A. Novikov, A.N. Raykov. – 2-e izd. – M.: Egves, 2011. – 166 s.
2. Gulyanitskiy, L.F. Odin pokhod k formalizatsii i issledovaniyu zadach gruppovogo vybora / L.F. Gulyanitskiy, O.V. Volkovich, S.A. Malyshko // Kibernetika i sistemnyy analiz. – 1994. – №3. – S. 120-127.
3. Litvak, B.G. Ekspertnye tekhnologii v upravlenii / B.G. Litvak. – M.: Delo, 2004. – 400 s.
4. Pavlov, A.N. Informatsionnye tekhnologii dlya formirovaniya kollektivnoy ekspertnoy otsenki / A.N. Pavlov // Situatsionnye tsentry: modeli, tekhnologii, opyt prakticheskoy realizatsii: materialy nauch.-prakt. konf. RAGS / Pod obshch. red. A.N. Danchula. – M.: Izd-vo RAGS, 2007. – S. 150-159.
5. Pavlov, A.N. Osobennosti raboty s ekspertami v vychislitel'nykh setyakh / A.N. Pavlov // Nauchno-tekhnicheskaya informatsiya. Seriya 1, Organizatsiya i metodika informatsionnoy raboty. – 2006. – №7. – S. 14-23.
6. Podvesovskiy, A.G. Obobshchennyy algoritm opredeleniya soglasovannykh gruppovykh kardinal'nykh otsenok s uchedom kompetentnosti ekspertov / A.G. Podvesovskiy, O.A. Mikhaleva // Informatsionnye tekhnologii intellektual'noy podderzhki prinyatiya resheniy: trudy II mezhdunar. konf. – Ufa: UGATU, 2014. – T. 1. – S. 58-64.
7. Postnikov, V.M. Analiz podkhodov k formirovaniyu sostava ekspertnoy gruppy, orientirovannoy na podgotovku i prinyatie resheniy // Nauka i obrazovanie: elektron. nauch.-tekhn. zhurnal. – 2012. – № 5. – URL: <http://technomag.edu.ru/doc/360720.html>.
8. Raykov, A.N. Setevaya ekspertnaya podderzhka resheniy / A.N. Raykov // Upravlenie bol'shimi sistemami. – 2010. – № 30-1. – S. 758-773.
9. Slavin, B.B. Oblachnyy servis intellektual'noy gruppovoy ekspertizy. URL: <http://www.myshared.ru/slide/260122>,
10. Slavin, B.B. Sovremennye ekspertnye seti / B.B. Slavin // Otkrytye sistemy. – 2014. – №7. – S. 30-33. – URL: <http://www.osp.ru/os/2014/07/13042916/>.
11. Totsenko, V.G. Gruppovye ranzhirovaniya s obratnoy svyaz'yu s ekspertami s uchedom ikh kompetentnosti / V.G. Totsenko // Problemy upravleniya i informatiki. – 2006. – № 5. – S. 92-99.
12. Totsenko, V.G. Issledovanie metodov gruppovogo ekspertnogo otsenivaniya ekspertami, rabotayushchimi v INTERNET / V.G. Totsenko, V.V. Tsyganok // Reestratsiya, zberigannya ta obrob. danikh. – 2004. – T. 6. – № 2. – S. 81-87.
13. Totsenko, V.G. Metody i sistemy podderzhki prinyatiya resheniy. Algoritmicheskyy aspekt / V.G. Totsenko. – Kiev: Naukova dumka, 2002. – 378 s.
14. Totsenko, V.G. Ob unifikatsii algoritmov organizatsii ekspertiz / V.G. Totsenko // Problemy pravovoy informatizatsii. – 2006.

–№ 2 (12). – S. 96-101.

15. Universal'naya servisnaya platforma dlya ekspertnykh issledovaniy UniSample. URL: <http://www.slideshare.net/kiselevdb/uni-sample>.
16. Ekspertnye seti i tekhnologiya postkraudsorsinga. – URL: <http://www.starbase.ru>.

Поступила 14.10.2016

Об авторах:

Подвесовский Александр Георгиевич, заведующий кафедрой «Информатика и программное обеспечение» Брянского государственного технического университета, кандидат технических наук, доцент, apodv@tu-bryansk.ru;

Михалева Оксана Алексеевна, старший преподаватель кафедры «Информатика и программное обеспечение» Брянского государственного технического университета;

Козлов Евгений Александрович, магистрант факультета информационных технологий Брянского государственного технического университета;

Вершинин Андрей Александрович, магистрант факультета информационных технологий Брянского государственного технического университета.