

ОРГАНИЗАЦИЯ КОЛЛЕКТИВНОЙ ЭКСПЕРТНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В ЭНЕРГЕТИКЕ НА ОСНОВЕ ИНТЕГРАЦИИ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ И ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ РЕСУРСОВ

Л.В. Массель, А.Н. Копайгородский, А.Г. Массель

Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева СО РАН

Аннотация. В статье рассматриваются предложенный авторами и развиваемый ими в Институте систем энергетики им. Л.А. Мелентьева СО РАН методический подход к организации поддержки коллективной экспертной деятельности (как при выработке рекомендаций по развитию систем энергетики, так и в экстремальных ситуациях в энергетике) и поддерживающие этот подход программные инструментальные средства. Описываются предлагаемая в качестве прообраза единой информационной среды ИТ-инфраструктура системных исследований в энергетике и входящая в ее состав интеллектуальная ИТ-среда. Предлагается технология поддержки коллективной экспертной деятельности, основанная на концепциях сетцентричности и интеграции распределенных информационных и интеллектуальных ресурсов.

Введение. В настоящее время развивается специфическое направление суперкомпьютерных технологий – технология экстренных вычислений (Urgent Computing (UC)). Спецификой UC является интерактивность поддержки принятия решений, в котором могут принимать участие несколько лиц, принимающих решения (ЛПР), имеющих доступ к общей информации и одним и тем же инструментальным средствам. При этом ЛПР могут самостоятельно формулировать и исследовать разные сценарии развития ситуации в процессе обоснования принимаемого решения. Технологии UC находят, в частности, применение в системах раннего предупреждения о нагонных наводнениях в Санкт-Петербурге [1]. При этом делается акцент на применении суперкомпьютерных вычислений, основанных на использовании сложных математических моделей.

Представляется, что технологии UC могут быть полезны также при поддержке принятия решений в энергетике, причем под экстремальными ситуациями понимаются как чрезвычайные (ЧС), так и критические ситуации (КС) (в соответствии со шкалой «норма – предкризис (КС) – кризис (ЧС)»). Очевидно, что в случае КС и ЧС необходима организация коллективной экспертной деятельности для подготовки и обоснования рекомендуемых решений.

Учитывая, что критические, а тем более чрезвычайные ситуации в энергетике, как правило, связаны с перебоями в энергоснабжении, при реализации UC не всегда можно надеяться на работу вычислительных кластеров. Авторы предлагают применение в экстремальных ситуациях в энергетике двухуровневой технологии поддержки принятия решений, которая является развитием технологии, разработанной ранее для поддержки принятия решений в исследованиях и обеспечении энергетической безопасности России и ее регионов [2] и предполагает возможность ее использования как на мобильных вычислительных устройствах, так и в рамках корпоративного облака.

Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева СО РАН является признанным лидером в области исследований энергетики и регулярно привлекается вышестоящими организациями или органами власти для оказания консультаций, формирования рекомендаций, разработки энергетических стратегий и др. Как правило, эти работы требуется выполнить в ограниченные сроки, при этом необходима интеграция усилий разных специалистов. Таким образом, коллективная экспертная деятельность является важной составляющей в работе института. До последнего времени эта деятельность выполнялась преимущественно на основе переговорного процесса между экспертами, привлеченными для решения поставленной задачи, с применением программных комплексов для обоснования предлагаемых решений. Авторами предлагаются методы, модели и инструментальные средства для поддержки коллективной экспертной деятельности в энергетике, которые рассматриваются в этой статье.

Предлагаемый подход и базовые технологии. Для организации коллективной экспертной деятельности в энергетике предлагается использовать сетцентрический подход [3]. *Сетцентричность* – принцип организации систем управления, позволяющий реализовать режим *ситуационной осведомленности* благодаря формированию и поддержанию единой для всех ярусов управления целостной, контекстной информационной среды [4].

В качестве прообраза единой информационной среды в сетцентрической концепции предлагается использовать разработанную ранее при активном участии авторов ИТ-инфраструктуру системных исследований в энергетике [5, 6].

Под ИТ-инфраструктурой понимается телекоммуникационная распределенная информационно-вычислительная инфраструктура, а именно, совокупность технических и программных средств, телекоммуникаций и информационной базы научных исследований; технологий их разработки и использования; стандартов (как внутренних, так и внешних) для разработки информационных и программных продуктов в

области исследований энергетики, обмена ими и их представления на информационный рынок. ИТ-инфраструктура, являясь интеграционной информационной и вычислительной средой для проведения исследований в энергетике, облегчает построение распределенных баз данных и программных комплексов, создание Web-ориентированных программных комплексов и оказание информационных услуг на основе наукоемких информационных и программных продуктов.

ИТ-инфраструктура включает интеллектуальную инфраструктуру, интеграционную информационную инфраструктуру, распределенную вычислительную инфраструктуру и телекоммуникационную инфраструктуру.

Интеграционная информационная инфраструктура исследований энергетики, разработанная в ИСЭМ СО РАН [7], используется для хранения:

- данных о сотрудниках, проводимых ими научных исследованиях и их результатах, информации обо всех разрозненных базах данных и хранилищах данных, используемых для хранения базовой (основной), промежуточной и результирующей информации, необходимой для исследований;
- информации о методах (алгоритмах), выполняющих какие-либо действия над информацией (программных комплексах, пакетах прикладных программ, различных сервисах).

Информационная инфраструктура также содержит модели программ и баз данных, представленные в виде ER-диаграмм, UML-диаграмм, XML-описаний и др.

Под интеллектуальными ресурсами понимаются знания, которыми обладает институт, представленные как в традиционном виде (электронные тексты статей, отчетов и монографий), так и в виде моделей данных и моделей программ и онтологий предметных областей энергетики.

Для поддержки научной деятельности научных групп и отдельных исследователей разработаны специализированные хранилища данных и хранилища знаний для каждой системы энергетики, что позволяет значительно упростить построение единого корпоративного хранилища для решения комплексных проблем энергетики.

Процесс исследования отдельной энергетической системы начинается со сбора массива исходных данных, который может быть получен из различных статей, отчетов, статистических сборников, также в качестве исходных данных могут выступать результаты предыдущих исследований. Для поддержки этой деятельности создается хранилище данных и знаний, интегрирующее данные и декларативные знания и разработанное на единой концептуальной основе с использованием базовых программных средств.

Хранилище данных и знаний обеспечивает информационную поддержку исследований в энергетике, хранение описаний размещенных документов, предоставляет возможность быстрого поиска и извлечения любого документа на основе метаданных, поддерживает использование виртуальных коллекций (витрин) документов в соответствии с конкретными потребностями исследователей, а также обеспечивает выполнение других задач на уровне оперирования документами, группами документов и данными [8]. В Репозитории ИТ-инфраструктуры описываются хранилища данных и знаний отдельных систем энергетики, указывается их расположение (адреса серверов) и интерфейсы взаимодействия (описания Web-сервисов).

После внесения данных исследователь имеет возможность выполнить их анализ, выгрузку в различные форматы, использовать полученные данные в качестве исходной информации для специализированных программ моделирования, и, таким образом, использовать общие, согласованные данные для поддержки принятия коллективных решений.

Интеллектуальная ИТ-среда как инструмент обоснования коллективных решений в энергетике.

Интеллектуальная инструментальная среда была разработана при активном участии и руководстве авторов [2] для реализации двухуровневой информационной технологии поддержки принятия решений в исследованиях и обеспечении энергетической безопасности России и ее регионов, интегрирующей:

- первый (верхний) уровень – интеллектуальные вычисления, с целью качественного анализа («экспресс»-анализа) возможных стратегий развития топливно-энергетического комплекса (ТЭК);
- второй (нижний) уровень – расчеты, с помощью традиционных программных комплексов, с целью детализации стратегий развития ТЭК с учетом требований энергетической безопасности, выбранных на первом уровне (рис. 1).

Под *интеллектуальной инструментальной средой* (интеллектуальной ИТ-средой) понимается совокупность пространства знаний (онтологии, базы знаний и базы данных) и инструментальных средств (интеллектуальных систем и программных комплексов), совместное использование которых для решения поставленной задачи осуществляется с помощью экспертов и/или интеллектуальных вычислений. Под *интеллектуальными вычислениями (Intelligent Computing)* понимаются методы и системы искусственного интеллекта, направленные на усиление и поддержку естественного интеллекта (поддержку принятия решений экспертами).

Авторами предложено решение о создании интеллектуальной инструментальной среды в виде композитного приложения (рис. 2), а не монолитного программного комплекса, с тем, чтобы обеспечить гибкое использование инструментальных средств, как отдельных, так и в различных сочетаниях, с одновременным уменьшением функциональной сложности в каждом конкретном случае. Кроме того, обеспечивается возможность привлечения экспертов для анализа выходной и корректировки входной информации при переходе от одного инструментального средства к другому.

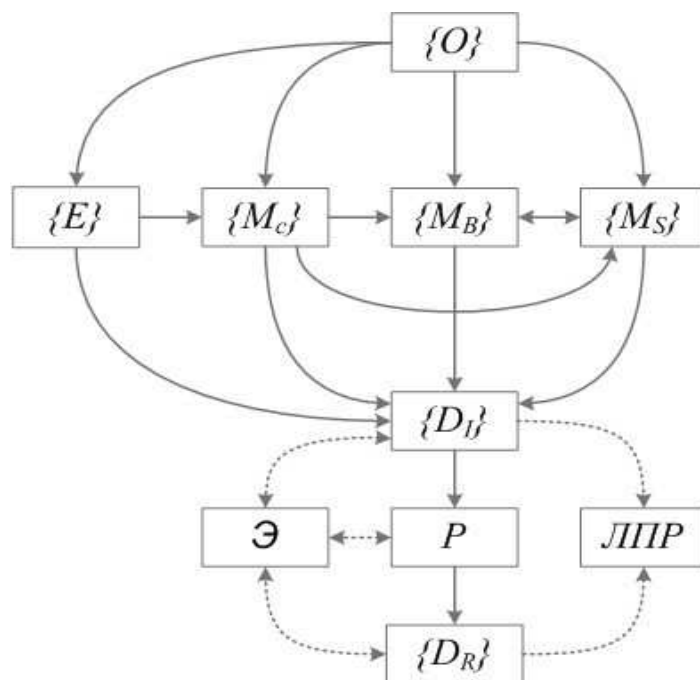


Рис. 1. Двухуровневая информационная технология поддержки принятия решений в исследованиях и обеспечении энергетической безопасности.

Обозначения: $\{O\}$ – множество онтологий, $\{E\}$ – множество описаний прецедентов чрезвычайных ситуаций, $\{M_C\}$ – множество когнитивных моделей, $\{M_B\}$ – множество моделей на основе Байесовских сетей доверия (БСД-моделей), $\{M_S\}$ – множество событийных моделей, $\{D_I\}$ – информация, необходимая для поддержки принятия решений при выборе стратегии проведения вычислительного эксперимента, $\{D_R\}$ – информация, полученная в результате проведения вычислительных экспериментов и предназначенная для поддержки принятия решений в области обеспечения энергетической безопасности, $\{M_S\}$ – программный комплекс ИНТЭК-М для проведения количественных расчетов (обоснования вариантов развития ТЭК с учетом требований энергетической безопасности), Э – эксперт-исследователь, ЛПР – лицо, принимающее решения.

На рис. 2 представлена схема взаимодействия инструментальных средств в интеллектуальной инструментальной среде. Причем предполагается, что с данной ИТ-средой будут работать такие группы пользователей, как:

1. Эксперты. Поскольку освоить одновременно весь набор представленных в ИТ-среде инструментальных средств одному эксперту сложно, предполагается, что будет работать группа экспертов, каждый из которых, в свою очередь, будет использовать только некоторые из инструментальных средств. В связи с этим в ИТ-среду заложена возможность поддержки коллективной работы.
2. Инженеры по знаниям. Эта группа пользователей следит за пополнением баз знаний и занимается непосредственно внесением в них новых знаний.
3. ЛПР. Интеллектуальная ИТ-среда может использоваться лицами, принимающими решения, при анализе решений, рекомендуемых экспертами.

В свою очередь, инструментальные средства интеллектуальной ИТ-среды включают:

- Репозиторий интеллектуальной ИТ-среды, который является частью репозитория ИТ-инфраструктуры.
- OntoMap – инструментальные средства онтологического моделирования.
- CogMap – инструментальные средства когнитивного моделирования [9].
- EventMap – инструментальные средства событийного моделирования [10].
- Bayesian Net – инструментальные средства для оценки рисков с помощью Байесовских сетей доверия [11].
- ЭС «Emergency» – экспертная система, основанная на прецедентах чрезвычайных ситуаций в энергетике.
- Геокомпонент – средство работы с KML-файлами для 3D-визуализации результатов исследований [12].
- ПК «ИНТЭК-М» – многоагентный программный комплекс, предназначенный для выполнения расчетов по выбранному варианту с целью обоснования предлагаемых решений.

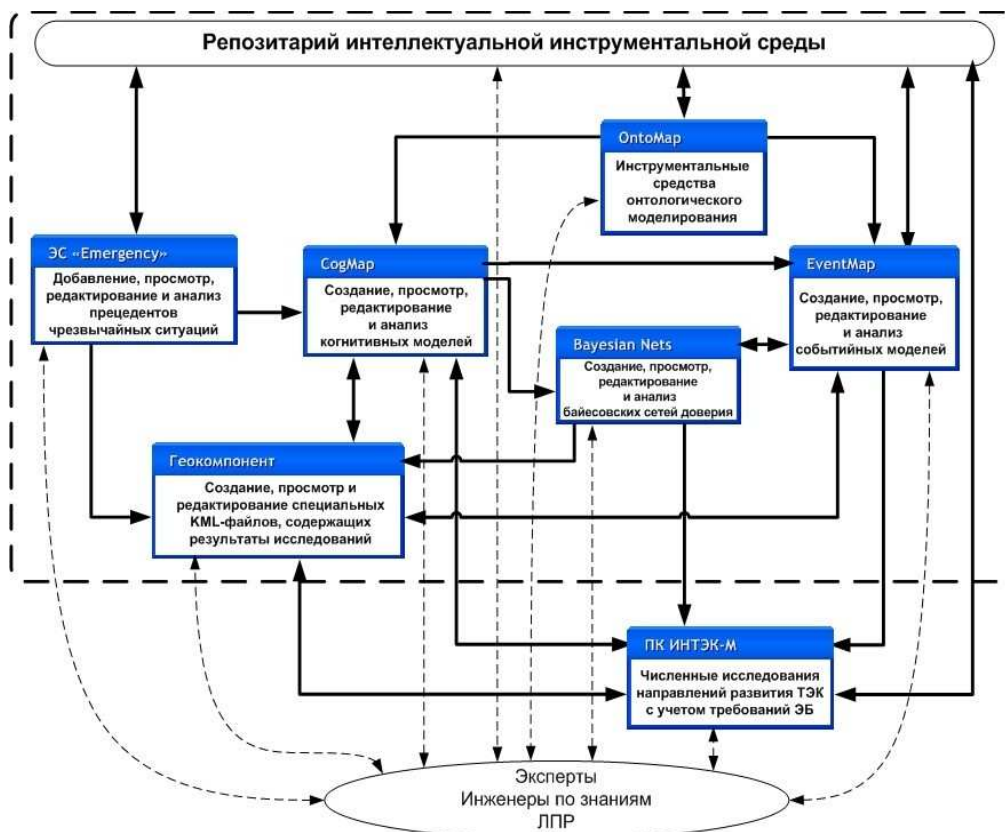


Рис. 2. Схема интеллектуальной инструментальной ИТ-среды.

Технология поддержки коллективной экспертной деятельности. В процессе принятия решений выделяются следующие основные этапы: определение множества альтернатив; определение критериев оценки и оценка альтернатив; выбор наилучшего решения; реализация выбранного решения и анализ его последствий. Выбор наилучшего решения, как правило, осуществляют лица, принимающие решения (ЛПР), реализацию – лица, реализующие решения (ЛРР). Первые два этапа связаны с обоснованием и выработкой решений – как правило, на этих этапах и привлекаются эксперты. При этом большое значение имеет согласование предлагаемых индивидуальных решений [13].

Технология поддержки принятия коллективных (согласованных) решений включает девять основных этапов:

- 1) формирование задания, которое ЛПР передает Эксперту (будем понимать под этим группу экспертов, деятельность которых требуется согласовывать);
- 2) анализ задания, который выполняют эксперты с использованием семантических технологий (в нашем случае это онтологическое и когнитивное моделирование), результаты которого используются для обоснования необходимости проведения численных расчетов;
- 3) сбор данных и/или извлечение их из баз данных и проведение многовариантных расчетов с использованием имеющихся программных комплексов;
- 4) анализ и интерпретация результатов расчетов, рекомендации по обоснованию предлагаемых решений;
- 5) компьютерный анализ динамики развития ситуации на основе предложенных вариантов с использованием событийного моделирования и анализ рисков с использованием БСД-моделирования;
- 6) согласование вариантов решений, предложенных разными экспертами, и формирование коллективного решения;
- 7) анализ предложенного решения Лицом, принимающим решения (ЛПР); по результатам анализа осуществляется либо переход на следующий этап, либо корректировка задания (этап 1);
- 8) реализация принятого решения (Лицами, реализующими решения – ЛРР);
- 9) анализ последствий принятых решений, на этом этапе принимают участие ЛПР, ЛРР и эксперты-энергетики.

В таблице 1 приведено краткое описание этапов с указанием инструментальных средств поддержки этапов и получаемых результатов. Следует учесть, что этап 3 выполняется исследователями-энергетиками, владеющими современными информационными технологиями; на этапах 2, 4, 5, возможно, потребуются привлечение исследователей-энергетиков, если использование предлагаемых инструментальных средств потребует от экспертов-энергетиков дополнительного времени или окажется сложным для самостоятельного их использования.

На всех этапах технологии используется принцип ситуационной осведомленности, которая достигается привлечением информационных образов, иллюстрирующих обосновываемые, вырабатываемые и принимаемые решения с привлечением средств 3D-визуализации [12]. Этапы технологии иллюстрируются на рис. 3 в нотации BPMN.

Таблица 1. Основные этапы технологии поддержки принятия коллективных решений.

№	Наименование	Уровень	Инструментальное средство	Результат
1	Формирование задания	ЛПР		Задание экспертам
2	Анализ задания	Эксперты-энергетики	Интеллектуальная ИТ-среда	Онтологии и когнитивные карты; Обоснование необходимости численных расчетов, план проведения вычислительных экспериментов
3	Сбор данных (извлечение из баз данных), проведение многовариантных расчетов	Исследователи-энергетики	Программные комплексы	Варианты расчетов
4	Анализ и интерпретация результатов расчетов, рекомендации по обоснованию предлагаемых решений	Эксперты-энергетики, Исследователи-энергетики	Аналитические и графические средства интерпретации и визуализации	Выводы по расчетам; рекомендации, предлагаемые отдельными экспертами
5	Компьютерный анализ динамики развития ситуации и анализ рисков на основе предложенных вариантов	Эксперты-энергетики, Исследователи-энергетики	Аппарат событийного моделирования, Байесовские сети доверия (Интеллектуальная ИТ-среда)	Варианты решений, предлагаемые отдельными экспертами
6	Согласование вариантов решений и формирование предлагаемого решения	Эксперты-энергетики	Информационная поддержка переговорного процесса (Репозитарий)	Согласованное решение, предлагаемое группой экспертов
7	Анализ предложенного решения Лицом, принимающим решения	ЛПР	Средства визуализации предлагаемого решения	Принятое решение или корректировка задания
8	Реализация решения	ЛПР (лица, реализующие решения)	Средства реализации решений	Реализованное решение
9	Анализ последствий принятых решений	ЛПР, ЛПР, эксперты-энергетики		Выводы об эффективности принятого решения, возвращение на этапы 4- 6.

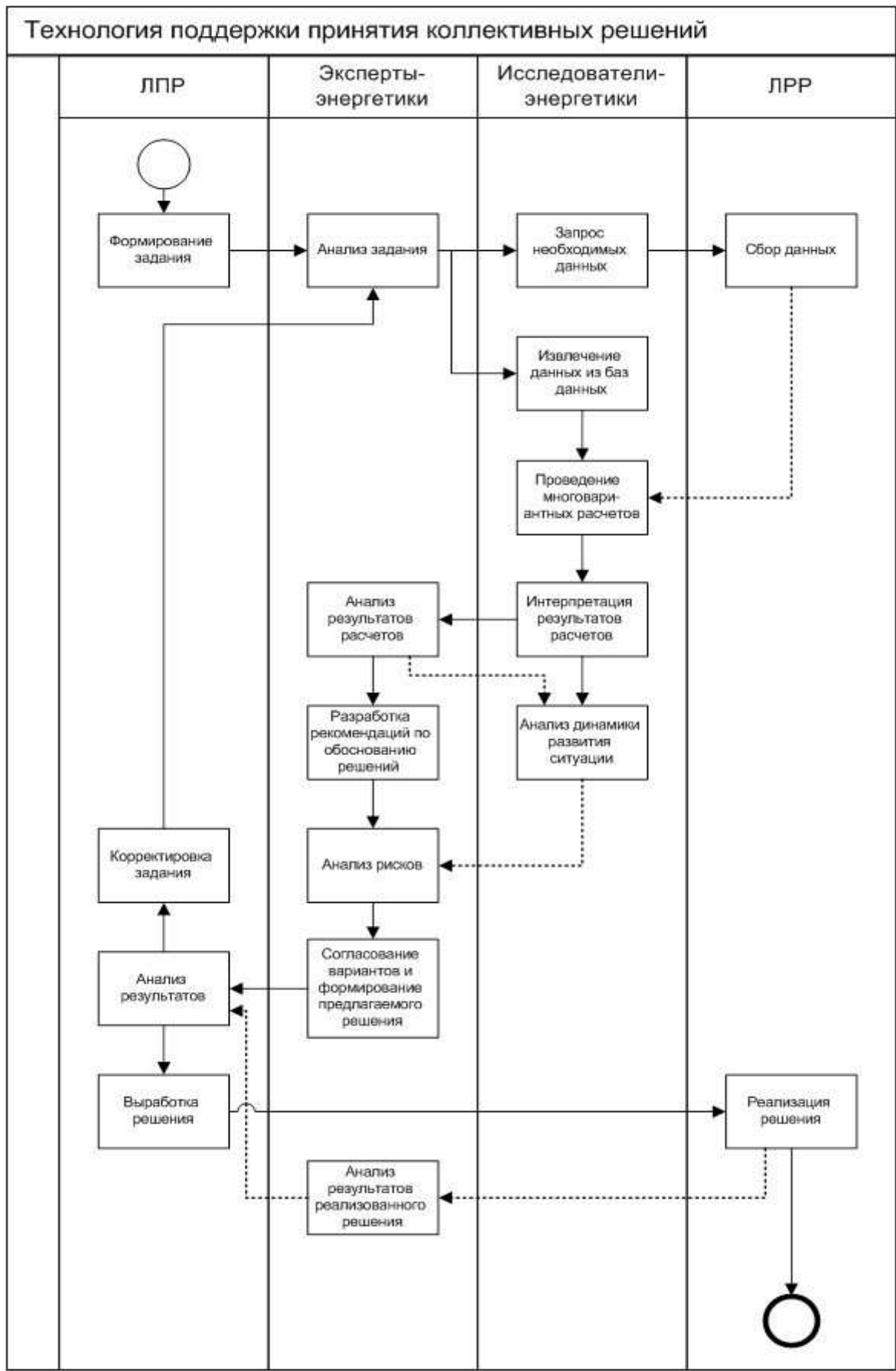


Рис. 3. Технология поддержки принятия коллективных решений.

Заключение. В статье рассмотрен предлагаемый методический подход к поддержке коллективной экспертной деятельности в энергетике, который базируется на концепциях сетцентричности и ситуационной

осведомленности. В качестве прообраза единой информационной среды – основы сетцентрического подхода – предлагается рассматривать ИТ-инфраструктуру исследований в энергетике, в которую интегрирована интеллектуальная ИТ-среда. Предложена технология принятия коллективных решений, включающая девять основных этапов. Разработанные инструментальные средства могут быть использованы для отладки предложенной технологии, а впоследствии – как прототипы инструментальных средств, которые будут реализованы как агенты и/или Web-сервисы в рамках корпоративного облака для поддержки коллективной экспертной деятельности.

Проект выполняется при частичной финансовой поддержке грантов РФФИ № 12-07-00359, № 13-07-00140, № 13-07-00422, № 14-07-00116, гранта Программы Президиума РАН № 229 и гранта интеграционной программы СО РАН и НАН Беларуси № 18Б.

ЛИТЕРАТУРА:

1. А.В. Бухановский, А.Н. Житников, С.Г. Петросян, П. М. А. Слоот. Высокопроизводительные технологии экстренных вычислений для предотвращения угрозы наводнений // Приборостроение. – 2011. – Том 4. – №10. Перспективные технологии распределенных вычислений. – С. 14-20.
2. Л.В. Массель, А.Г. Массель. Интеллектуальные вычисления в исследованиях направлений развития энергетики // Известия Томского политехнического университета. – 2012. – Т. 321. – № 5. Управление, вычислительная техника и информатика.- С. 135-141.
3. Л.В. Массель, Р.А. Иванов, А.Г. Массель. Моделирование этапов принятия решений на основе сетцентрического подхода / Вестник ИрГТУ . - №10 (81). – 2013. – С. 16-22.
4. Mica R.Endsley, Daniel J. Garland, Situation awareness: analysis and measurement, Lawrence Erlbaum Associates, 2000, ISBN 0805821341, 9780805821345.
5. Л.В. Массель, Е.А. Болдырев, Н.Н. Макагонова, А.Н. Копайгородский, А.В. Черноусов. ИТ-инфраструктура научных исследований: методический подход и реализация // Вычислительные технологии, т.11, 2006.- С.59-67.
6. Н.И. Воропай, Л.В. Массель. ИТ-инфраструктура системных исследований в энергетике и предоставление ИТ-услуг. – Известия АН – Энергетика, №3, 2006.- С. 86-93.
7. А.Н. Копайгородский, Л.В. Массель. Разработка и интеграция основных компонентов информационной инфраструктуры научных исследований // Вестник ИрГТУ.-2006.- № 2 (26), т.3.- С.23-29.
8. А.Н. Копайгородский, Л.В. Массель. Методы, технологии и реализация хранилища данных и знаний для исследований энергетики / Вестник Южно-Уральского государственного университета, №4 (221), 2011, серия «Математическое моделирование и программирование», вып. 7. – С. 47-55.
9. А.Г. Массель. Когнитивное моделирование угроз энергетической безопасности // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал), отд. вып. №17. – М.: Изд-во «Горная книга», 2010. – С. 194 – 199.
10. В.Л. Аршинский. Событийное моделирование чрезвычайных ситуаций в энергетике // Информационные технологии в науке, образовании, телекоммуникации и бизнесе: Труды Международной конференции – Украина, Гурзуф, 2010. – С. 299–301.
11. Л.В. Массель, Е.В. Пяткова. Применение байесовских сетей доверия для интеллектуальной поддержки исследований проблем энергетической безопасности // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2012. – №2 – С. 8-13.
12. Р.А. Иванов. Методика 3D-визуализации для поддержки принятия решений в энергетических исследованиях // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2013. №1(37). – с. 116-121.
13. Э.А. Трахтенгерц. Компьютерная поддержка переговоров при согласовании управленческих решений. – М.: СИНТЕГ, 2003.- 284 с.