

УДК 004.8 + 620

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ В ИССЛЕДОВАНИЯХ НАПРАВЛЕНИЙ РАЗВИТИЯ ЭНЕРГЕТИКИ

Л.В. Массель, А.Г. Массель

Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева СО РАН, г. Иркутск

E-mail: massel@isem.sei.irk.ru; amassel@gmail.com

Рассматривается применение интеллектуальных вычислений для поддержки принятия решений в исследованиях направлений развития топливно-энергетического комплекса страны с учетом требований энергетической безопасности. В первую очередь к ним относятся вычисления, основанные на онтологическом, когнитивном и событийном моделировании. В последнее время интеллектуальные вычисления расширены применением байесовских сетей доверия для оценки рисков чрезвычайных ситуаций в энергетике и декларативных представлений процессов преобразования данных. Реализована интеллектуальная ИТ-среда, интегрирующая инструментальные средства интеллектуальных вычислений и обеспечивающая поддержку предлагаемой двухуровневой технологии исследований.

Ключевые слова:

Интеллектуальные вычисления, онтологическое, когнитивное и событийное моделирование, интеллектуальная ИТ-среда.

Key words:

Intelligent computing, ontology, cognitive and event modeling, intelligent IT-environment.

Введение

В системных исследованиях энергетики, которые выполняются в Институте систем энергетики им. Л.А. Мелентьева (г. Иркутск), выделяют исследования направлений развития как топливно-энергетического комплекса страны, так и отраслевых систем энергетики, и исследования функционирования этих систем. К первому направлению относятся исследования направлений развития топливно-энергетического комплекса (ТЭК) страны с учетом требований энергетической безопасности, для поддержки которых выполнена предлагаемая работа.

Традиционно эти исследования выполнялись с привлечением разных версий больших программных комплексов, основанных на решении общей задачи линейного программирования, использующих экономико-математические модели ТЭК страны большой размерности, включающие несколько сотен уравнений и десятки тысяч переменных. Исследования носят многовариантный характер, причем многовариантность существенно возрастает в связи с необходимостью учета требований энергетической безопасности: на базовые варианты накладываются сценарии возможных чрезвычайных ситуаций (ЧС), а также превентивных (предупреждающих возникновение ЧС), оперативных (выполняемых во время ЧС) и ликвидационных (устраняющих последствия ЧС) мероприятий.

Энергетическая безопасность (ЭБ) не является синонимом технической безопасности и рассматривается как составляющая национальной безопасности, в части защищенности граждан, общества, государства, экономики от угроз дефицита в обеспечении их обоснованных потребностей топливно-энергетическими ресурсами приемлемого качества в различных условиях.

В последние годы в исследованиях был принят комбинаторный подход, что приводило к получе-

нию 5–10 млн вариантов, из них экспертами выделялся «коридор» наиболее вероятных вариантов, далее выполнялся более детальный анализ этих вариантов. Несмотря на уменьшение количества анализируемых вариантов, нагрузка на экспертов очень высока, и требуются большие затраты времени для анализа вариантов и формирования требуемых рекомендаций.

Авторами была предложена двухуровневая информационная технология исследований, в которой на первом уровне выполняется качественный анализ с использованием интеллектуальных вычислений, а именно: онтологического, когнитивного и событийного моделирования [1, 2]. На основе результатов качественного анализа выбираются варианты развития ТЭК, которые необходимо рассчитать более детально. Эти варианты рассчитываются на втором уровне с использованием многоагентного программного комплекса (ПК) ИНТЭК-М для исследований направлений развития ТЭК с учетом требований ЭБ [3].

Интеллектуальные вычисления

Под интеллектуальными вычислениями (Intelligent Computing) понимаются методы и системы искусственного интеллекта, направленные на усиление и поддержку естественного интеллекта (поддержку принятия решений экспертами). Интеллектуальная инструментальная среда (интеллектуальная ИТ-среда) — это совокупность инструментальных средств (интеллектуальных систем и баз знаний, программных комплексов и баз данных), совместное использование которых для решения поставленной задачи осуществляется с помощью экспертов и/или интеллектуальных вычислений.

К интеллектуальным вычислениям в данной работе относятся, в первую очередь, вычисления, основанные на онтологическом, когнитивном и событийном моделировании.

Онтологии были предложены Т. Грубером (Т. Gruber) для декларативного представления знаний и определяются в общем виде как база знаний специального вида или как «спецификация концептуализации» предметной области. Это означает, что в предметной области на основе классификации базовых терминов выделяются основные понятия (концепты), и устанавливаются связи между ними (концептуализация). Затем онтология может быть представлена в графическом виде или описана на одном из формальных языков (формальная онтология) – это процесс спецификации онтологий. Вопросы онтологического моделирования рассматривались в работах Т. Грубера (Gruber Т.), Н. Гуарино (Guarino N.) и др., в нашей стране – Тавриловой Т.А., Загоруйко Ю.А., Калининко Л.А., Коголовского М.Р., Серебрякова В.А., Тузовского В.Ф., Хорошевского В.Ф., Ямпольского В.З. и др., а также в работах авторов и их коллег: Ворожцовой Т.Н., Скрипкина С.К., Копайгородского А.Н., Макагоновой Н.Н.

Под когнитивным моделированием понимается построение когнитивных моделей или, иначе, когнитивных карт (ориентированных графов), в которых вершины соответствуют факторам (концептам), а дуги – связям между факторами (положительным или отрицательным), в зависимости от характера причинно-следственного отношения. Математическим аппаратом для построения когнитивных моделей является теория графов.

Основы когнитивного моделирования были разработаны в свое время Ван Хао (1956 г.), Р. Аксельродом (1976 г.), Д.А. Поспеловым (1981 г.). Это направление получило свое развитие в работах Э.А. Трахтенгерца [4] и, в частности, активно развивается в Институте проблем управления РАН (Абрамова Н.А., Кульба В.В., Кулинич А.А., Максимов В.И. и др.) для анализа влияний при управлении слабоструктурированными ситуациями.

Вопросы когнитивного моделирования в энергетике рассматривались в работах авторов [5, 6]. В исследованиях проблем ЭБ когнитивное моделирование используется для ситуационного анализа проблемы ЭБ и моделирования угроз ЭБ, под которыми понимаются неблагоприятные для энергетике события. Реализованы инструментальные средства поддержки когнитивного моделирования – библиотека CogMap.

Под событийным моделированием понимается построение поведенческих моделей, причем в качестве объектов моделирования могут рассматриваться как люди, так и технические объекты. Сущность событийного метода моделирования заключается в отслеживании на модели последовательности событий в том же порядке, в каком они происходили бы в реальной системе. Задаваемые моделью последовательности реализаций событий – цепочки событий – описывают сценарии реакции системы на возникновение инициирующего события, стоящего в начале цепочки.

В качестве инструмента событийного моделирования используется аппарат Joiner-сетей (JN) – одной из разновидностей алгебраических сетей, предложенной Л.Н. Столяровым [7, 8]. Joiner-сети можно рассматривать как расширение сетей Петри, ориентированное на построение поведенческих моделей. В основе теории JN лежит описание логики взаимодействия асинхронных процессов в виде набора пусковых и флаговых функций, состоящих из булевых функций. Особенностью JN является то, что они предусматривают как графическое представление, так и описание в виде логических формул, обработку которых можно автоматизировать. Событийное моделирование в энергетике развивается авторами совместно с В.Л. Аршинским [6, 9]. Реализованы инструментальные средства поддержки когнитивного моделирования – библиотека EventMap.

В последнее время интеллектуальные вычисления расширены применением байесовских сетей доверия для оценки рисков чрезвычайных ситуаций [10] и средствами декларативных представлений процессов преобразования данных, обеспечивающих автоматизацию перехода от качественного к количественному анализу [11].

Интеллектуальная ИТ-среда и двухуровневая информационная технология исследований

Предложена концепция интеллектуальной ИТ-среды, поддерживающей двухуровневую технологию исследований направлений развития ТЭК с учетом требований ЭБ [12]. Интеллектуальная ИТ-среда определяется как $V_{IT} = \{O, E, M_C, M_S\} \cup T_V$, где $\{O\}$ – множество онтологий; $\{E\}$ – множество описаний прецедентов чрезвычайных ситуаций; $\{M_C\}$ – множество когнитивных моделей; $\{M_S\}$ – множество событийных моделей; T_V – инструментальные средства поддержки ИТ-среды, включающие описание знаний, представленных в виде онтологий, описаний прецедентов ЧС, когнитивных и событийных моделей и средства оперирования ими.

Таким образом, интеллектуальная ИТ-среда включает пространство знаний, интегрирующее: онтологические модели знаний в области исследований ЭБ, базу знаний о прецедентах ЧС в энергетике и базы знаний, содержащие когнитивные модели стратегических угроз ЭБ и событийные модели развития и последствий ЧС в энергетике (рис. 1), а также инструментальные средства описания знаний и оперирования ими (рис. 2).

Библиотеки OntoMap, CogMap и EventMap реализованы на основе среды графического моделирования GrModeling [13], разработанной в лаборатории информационных технологий в энергетике ИСЭМ СО РАН, возглавляемой Л.В. Массель. Экспертная система «Emergencsu» разработана под руководством А.Г. Масселя, в настоящее время ее база знаний содержит описания более 600 чрезвычайных ситуаций в энергетике России за последние 30 лет [14].

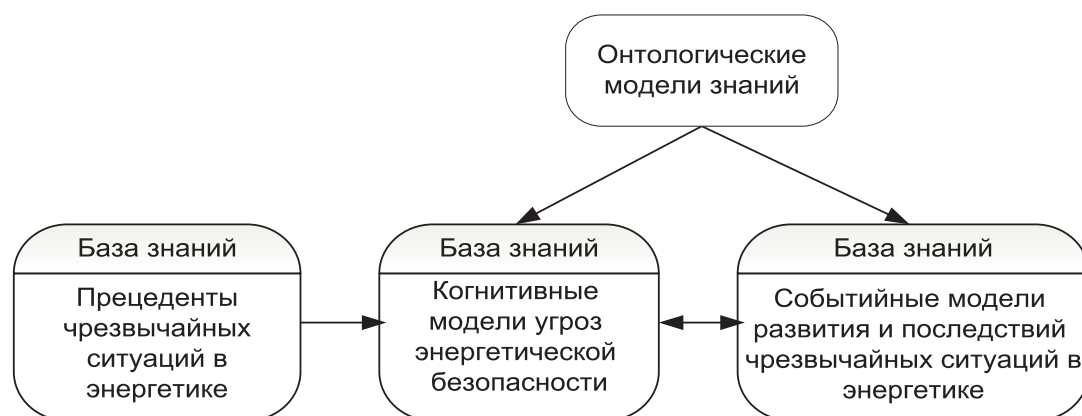


Рис. 1. Пространство знаний, поддерживаемое интеллектуальной ИТ-средой

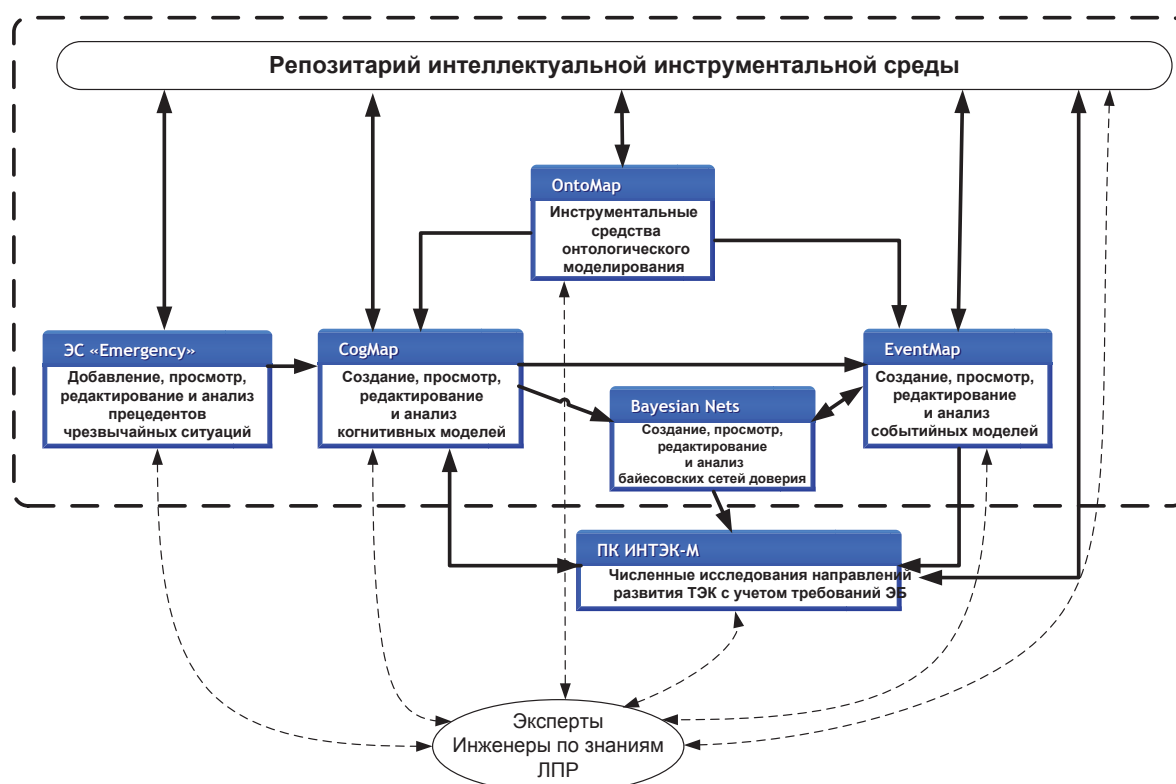


Рис. 2. Взаимосвязь инструментальных средств интеллектуальной ИТ-среды

Примеры когнитивных и событийных моделей, построенных с помощью библиотек CogMap и EventMap, приведены на рис. 3 и 4. На рис. 3 приведена когнитивная модель угрозы типа «Авария, взрыв, пожар» (АВП). Имеется возможность отображения основных концептов, самой угрозы и управляющих воздействий (превентивных, оперативных и/или ликвидационных мероприятий). Положительные или отрицательные причинно-следственные связи показаны знаками «+» или «-». Может быть введено более подробное описание угрозы.

Логические уравнения, описывающие передачу возбуждений в Joiner-сети, представленной на рис. 4, приведены в таблице; Joiner-сеть, соответ-

ствующая событийной карте, показанной на рис. 4, представлена на рис. 5.

Таблица. Логические уравнения, описывающие передачу возбуждений в Joiner-сети, представленной на рис. 4 (верхняя часть фрагмента)

Пусковые функции	Флаговые функции
$\psi_1(t+1) = \varphi_0(t) \cdot \overline{\varphi_1(t)}$	$\varphi_0(t+1) = 0; \varphi_1(t+1) = 1;$
$\psi_2(t+1) = \varphi_1(t) \cdot \overline{\varphi_2(t)}$	$\varphi_1(t+1) = 0; \varphi_2(t+1) = 1;$
$\psi_3(t+1) = \varphi_0(t) \cdot \overline{\varphi_3(t)} \cdot \overline{\varphi_4(t)}$	$\varphi_1(t+1) = 0; \varphi_3(t+1) = 1; \varphi_4(t+1) = 1;$
$\psi_4(t+1) = \varphi_3(t) \cdot \overline{\varphi_5(t)}$	$\varphi_3(t+1) = 0; \varphi_5(t+1) = 1;$
$\psi_5(t+1) = \varphi_4(t) \cdot \overline{\varphi_6(t)}$	$\varphi_4(t+1) = 0; \varphi_6(t+1) = 1;$

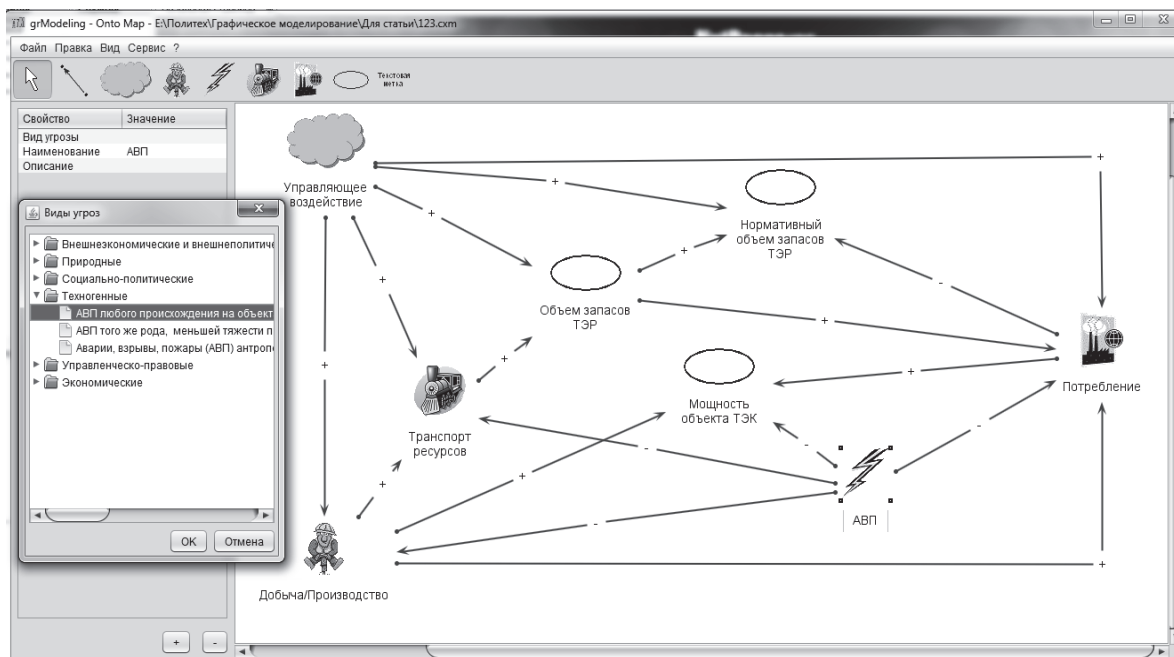


Рис. 3. Пример когнитивной модели угрозы «Авария, взрыв, пожар», построенной средствами библиотеки CogMap

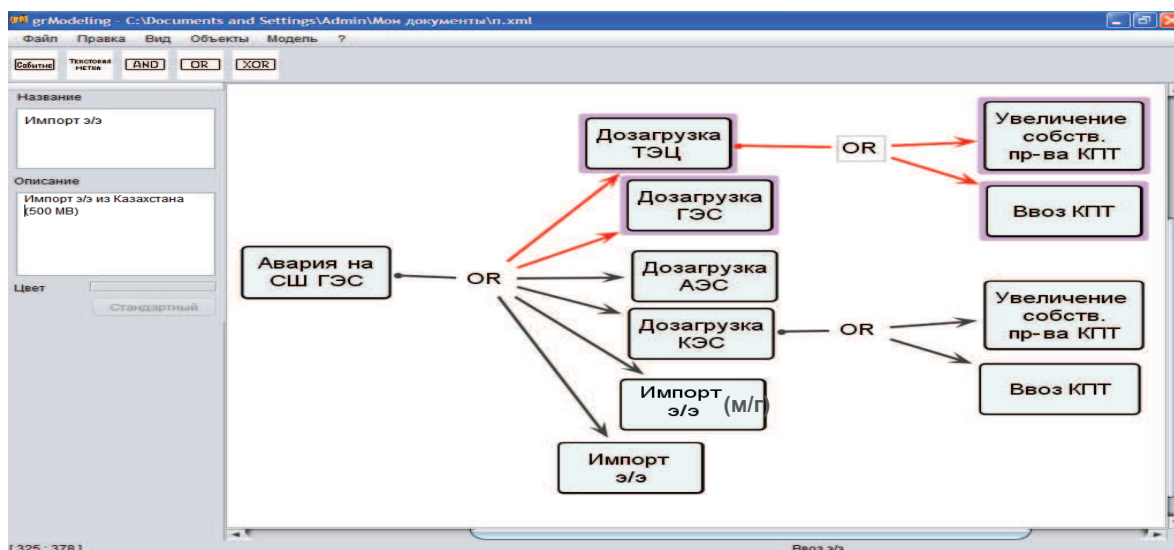


Рис. 4. Пример фрагмента событийной модели последствий ЧС на Саяно-Шушенской ГЭС, построенной средствами библиотеки EventMap

На рис. 6 приведена схема двухуровневой технологии интеллектуальной поддержки принятия решений в исследованиях направлений развития ТЭК с учетом требований ЭБ, поддерживаемая интеллектуальной ИТ-средой (рис. 2).

Заключение

В статье рассмотрено применение интеллектуальных вычислений для поддержки принятия решений в исследованиях направлений развития топливно-энергетического комплекса страны с учетом требований энергетической безопасности. В первую очередь к ним отнесены вычисления, ос-

нованные на онтологическом, когнитивном и событийном моделировании. В последнее время интеллектуальные вычисления расширены применением байесовских сетей доверия для оценки рисков чрезвычайных ситуаций в энергетике и декларативных представлений процессов преобразования данных в вычислительном эксперименте. Реализована интеллектуальная ИТ-среда, интегрирующая инструментальные средства интеллектуальных вычислений и обеспечивающая поддержку предлагаемой двухуровневой технологии исследований, включающей этапы качественного анализа с использованием интеллектуальных вычислений

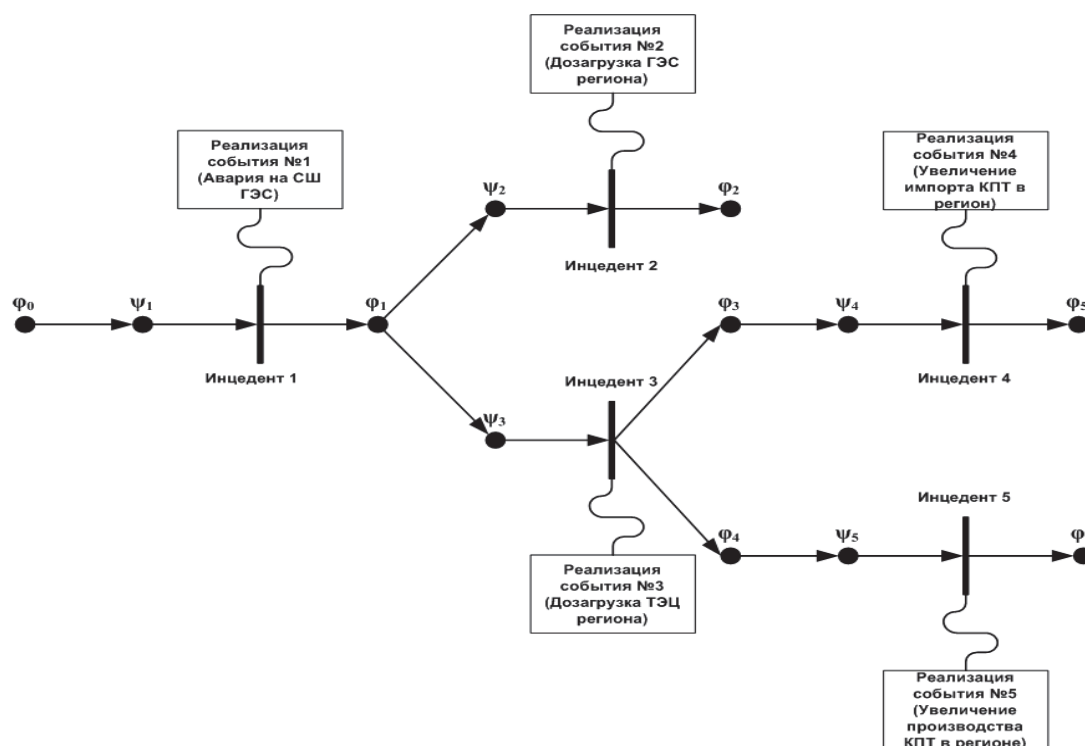
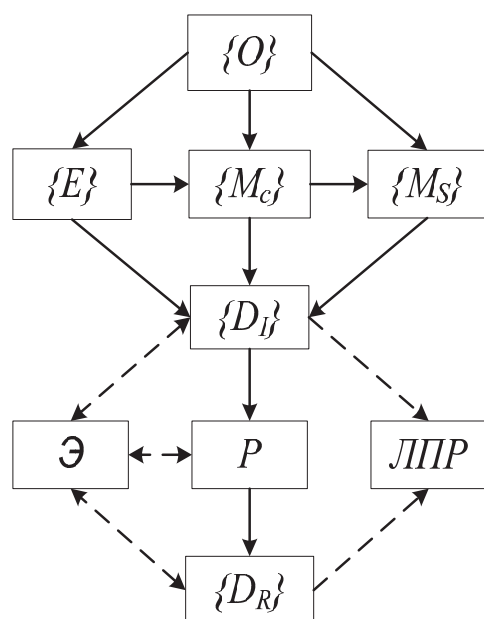


Рис. 5. Joiner-сеть для событийной модели, представленной на рис. 4 и описанной в таблице



- $\{O\}$ – множество онтологий;
- $\{M_C\}$ – множество когнитивных моделей;
- $\{M_S\}$ – множество событийных моделей;
- $\{E\}$ – множество описаний прецедентов ЧС;
- $\{D_I\}$ – информация для поддержки принятия решения при выборе стратегии проведения вычислительного эксперимента;
- $\{D_R\}$ – информация для принятия решений (формировании рекомендаций);
- P – программный комплекс для проведения вычислительных экспериментов (обоснования вариантов развития ТЭК с учетом требований ЭБ). На первом этапе это ПК «ИНТЭК-М»;
- \mathcal{E} – эксперт-исследователь;
- $ЛПР$ – лицо, принимающее решение

Рис. 6. Схема двухуровневой технологии интеллектуальной поддержки принятия решений в исследованиях направлений развития ТЭК с учетом требований ЭБ

и количественного анализа – численных расчетов с применением многоагентного ПК ИНТЭК-М. В настоящее время рассматриваются возможности применения интеллектуальных вычислений и реализующих их инструментальных средств как прототипов интеллектуальных компонентов при управлении режимами электроэнергетических систем

в Smart Grid – умных энергетических системах [15].

Работа выполняется при частичной финансовой поддержке грантов РФФИ № 10–07–00264, № 11–07–00192, № 12–07–00359, а также грантов Программы Президиума РАН № 15–2012 и интеграционного проекта СО РАН и НАН Беларуси № 18.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Массель Л.В. Применение онтологического, когнитивного и событийного моделирования для анализа развития и последствий чрезвычайных ситуаций в энергетике // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. – 2010. – № 2. – С. 34–43.
2. Массель А.Г. Методологический подход к организации интеллектуальной поддержки исследований проблемы энергетической безопасности // Информационные технологии. – 2010. – № 9. – С. 32–36.
3. Аршинский В.Л., Массель А.Г., Фартышев Д.А. Мультиагентный программный комплекс для исследований проблемы энергетической безопасности // Информационные и математические технологии в науке и управлении: Труды XIV Байкальской Всеросс. конф. – Иркутск, 2009. – Т. 3. – С. 283–289.
4. Трахтенгерц Э.А. Компьютерная поддержка принятия решений. – М.: СИНТЕГ, 1998. – 376 с.
5. Массель А.Г. Когнитивное моделирование угроз энергетической безопасности // Горный информационно-аналитический бюллетень. Отд. вып. № 17. – М.: Изд-во «Горная книга», 2010. – С. 194–199.
6. Массель Л.В., Аршинский В.Л., Массель А.Г. Интеллектуальные информационные технологии поддержки принятия решений в исследованиях и обеспечении энергетической безопасности // Интеллектуальные системы принятия решений и проблемы вычислительного эксперимента: Труды Междунар. конф. – Евпатория, 2010. – С. 192–196.
7. Столяров Л.Н., Новик К.В. Реализация параллельных процессов с помощью сетей Joiner-net // Информационные и математические технологии: Труды Байкальской Всеросс. конф. – Иркутск, 2004. – С. 11–14.
8. Столяров Л.Н. Философия событийного моделирования на примере энергетической катастрофы // Информационные технологии в науке, образовании, телекоммуникации и бизнесе: Труды Междунар. конф. – Украина, Гурзуф, 2010. – С. 197–200.
9. Аршинский В.Л. Событийное моделирование чрезвычайных ситуаций в энергетике // Информационные технологии в науке, образовании, телекоммуникации и бизнесе: Труды Междунар. конф. – Украина, Гурзуф, 2010. – С. 299–301.
10. Массель Л.В., Пяткова Е.В. Применение байесовских сетей доверия для интеллектуальной поддержки исследований проблем энергетической безопасности // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2012. – № 2. – С. 8–13.
11. Массель Л.В., Курганская О.В. Автоматизация вычислительного эксперимента на основе логических моделей // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2011. – № 2. – С. 8–14.
12. Массель А.Г. Интеллектуальная ИТ-среда для исследований проблемы энергетической безопасности // Информационные технологии в науке, образовании, телекоммуникации и бизнесе: Труды Междунар. конф. – Украина, Гурзуф, 2010. – С. 306–309.
13. Копайгородский А.Н. Проектирование и реализация системы графического моделирования // Информационные и математические технологии в науке и управлении: Труды XV Байкальской Всеросс. конф. – Иркутск, 2010. – Т. 3. – С. 22–28.
14. Массель А.Г., Кузнецких В.Р., Кушнарев А.С., Пономарев И.Д., Пантелеева Л.И. Разработка экспертной системы, основанной на прецедентах чрезвычайных ситуаций в энергетике. // Винеровские чтения: Труды IV Всеросс. конф. – Иркутск, 2011. – Т. 2. – С. 154–159.
15. Массель Л.В. Проблема построения интеллектуальных и программных компонентов Smart Grid и подход к ее решению на основе агентной технологии // Информационные технологии в науке, образовании, телекоммуникации и бизнесе: Труды XI Междунар. конф. (Приложение к журналу «Открытое образование»). – Украина, Гурзуф, 2012. – С. 22–25.

Поступила 29.11.2012 г.