

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОДУКЦИОННЫХ ЭКСПЕРТНЫХ СИСТЕМ ДЛЯ АНАЛИЗА КОГНИТИВНЫХ МОДЕЛЕЙ

Пестерев Дмитрий Вячеславович

Аспирант, Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева СО РАН  
664130, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 130. e-mail: pesterev.dmitriy@gmail.com

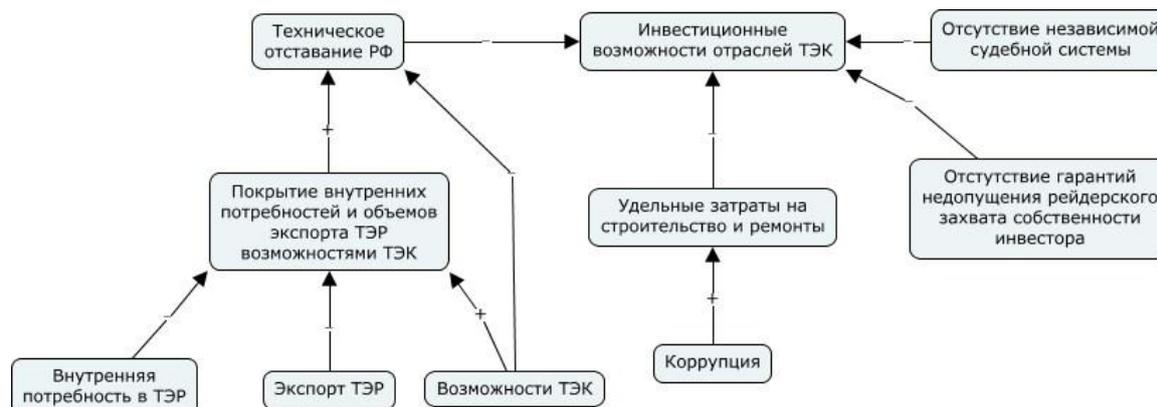
**Аннотация.** Статья посвящена вопросам применения когнитивного моделирования в исследованиях энергетической безопасности. Автор рассматривает проблему, заключающуюся в ручном анализе когнитивных моделей, и предлагает использовать для автоматизации анализа возможности продукционных экспертных систем. Для реализации данного подхода автором разработан первый вариант методики построения, верификации и конвертирования когнитивных моделей в продукционные базы знаний, предложен алгоритм преобразования когнитивных моделей в продукционные базы знаний, а также выполнена модификация инструментального средства когнитивного моделирования CogMap.

**Ключевые слова:** когнитивное моделирование, экспертные системы, продукционные правила, онтологии

**Введение.** Когнитивное моделирование – один из видов семантического моделирования – используется для выявления структуры причинно-следственных связей между элементами системы, составляющими проблемы и т.п., а также для оценки последствий, происходящих под влиянием воздействия на эти элементы или изменения характера связей [3, 1]. Когнитивное моделирование нашло применение в исследованиях проблем энергетической безопасности (ЭБ) [6], однако анализ и интерпретация когнитивных моделей (в графическом виде – когнитивных карт) выполняются экспертом-исследователем вручную. Этому процессу характерны следующие недостатки: появление ошибок, необъективность автора. Для исключения их влияния на результат анализа когнитивных моделей, предлагается автоматизировать процесс анализа. Поскольку когнитивную карту можно описать совокупностью продукционных правил (правил типа "Если. . . . То. . ."), предложено выполнять преобразование когнитивных моделей во фрагменты продукционных баз знаний, что позволит выполнять логический вывод на этих моделях с помощью машины вывода продукционной экспертной системы.

**1. Когнитивное моделирование.** Когнитивное моделирование – 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. Когнитивная карта (рис. 1) – графическое представление когнитивной модели, она позволяет отобразить основные концепты и их отношения, связанные с конкретной угрозой ЭБ. Когнитивное моделирование широко используется как в нашей стране [1], так и за рубежом [11, 12, 10], но преимущественно в таких слабоструктурированных областях, как

социология, экономика, медицина. Коллектив, представляемый автором, рассматривает применение когнитивных моделей в исследованиях энергетической безопасности.



**Рис. 1.** Пример когнитивной карты, иллюстрирующий влияние мероприятий и угроз на инвестиционные возможности отраслей ТЭК

Стоит отметить, что когнитивное моделирование получило признание специалистов-энергетиков, а также нашло применение в выполняемых ими работах, в частности, в [9]. Вместе с тем все выводы по взаимовлиянию концептов и развитию ситуаций лицо, принимающее решение, делает самостоятельно без применения специализированных инструментальных средств.

**2. Интеллектуальная ИТ-среда.** В лаборатории Информационных технологий ИСЭМ СО РАН разработана двухуровневая технология проведения исследований в области энергетики, схема которой изображена на рис. 2, где приняты следующие обозначения:  $O$  – множество онтологий,  $E$  – множество описаний прецедентов чрезвычайных ситуаций,  $M_C$  – множество когнитивных 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,  $P$  – программный комплекс для проведения количественных расчетов (обоснования вариантов развития ТЭК с учетом требований энергетической безопасности),  $\mathcal{E}$  – эксперт-исследователь, ЛПР – лицо, принимающее решения.  $O$ ,  $E$ ,  $M_C$ ,  $M_S$  находятся на верхнем уровне, а  $\mathcal{E}$ , ЛПР,  $P$ ,  $D_R$  – на нижнем, в качестве программного комплекса для проведения количественных расчетов комплекс ИНТЭК-М [5, 7]. В рамках данной технологии используется четыре вида семантического моделирования: онтологическое, когнитивное, событийное и вероятностное.

Для поддержки данной технологии предложена концепция интеллектуальной ИТ-среды [8] (рис. 3), интегрирующей инструментальные средства семантического моделирования.

В данной концепции когнитивное моделирование предполагается использовать для выявления структуры причинно-следственных связей между факторами, составляющими угрозу ЭБ, а также для оценки последствий, происходящих под влиянием воздействия на эти факторы или изменения характера связей между ними. В то же время, анализ когнитивных моделей выполняется экспертом-исследователем вручную, без применения специальных

инструментальных средств, вследствие чего в результаты анализа могут закрадываться ошибки. Решение этой проблемы видится в использовании для анализа когнитивных моделей возможностей продукционных экспертных систем.

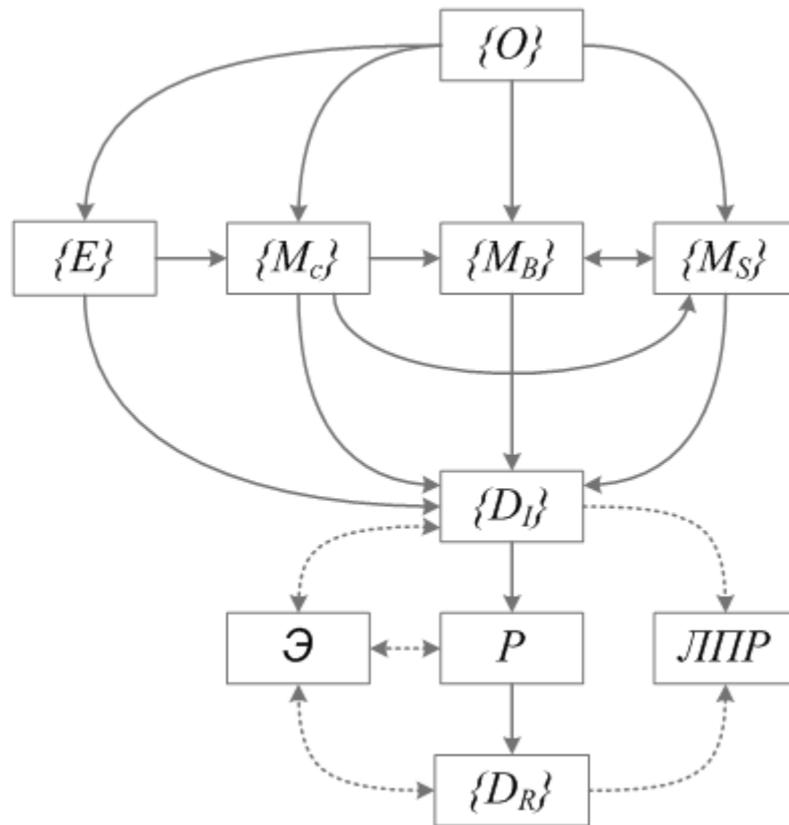


Рис. 2. Схема двухуровневой информационной технологии интеллектуальной поддержки принятия решений в исследованиях и обеспечении ЭБ

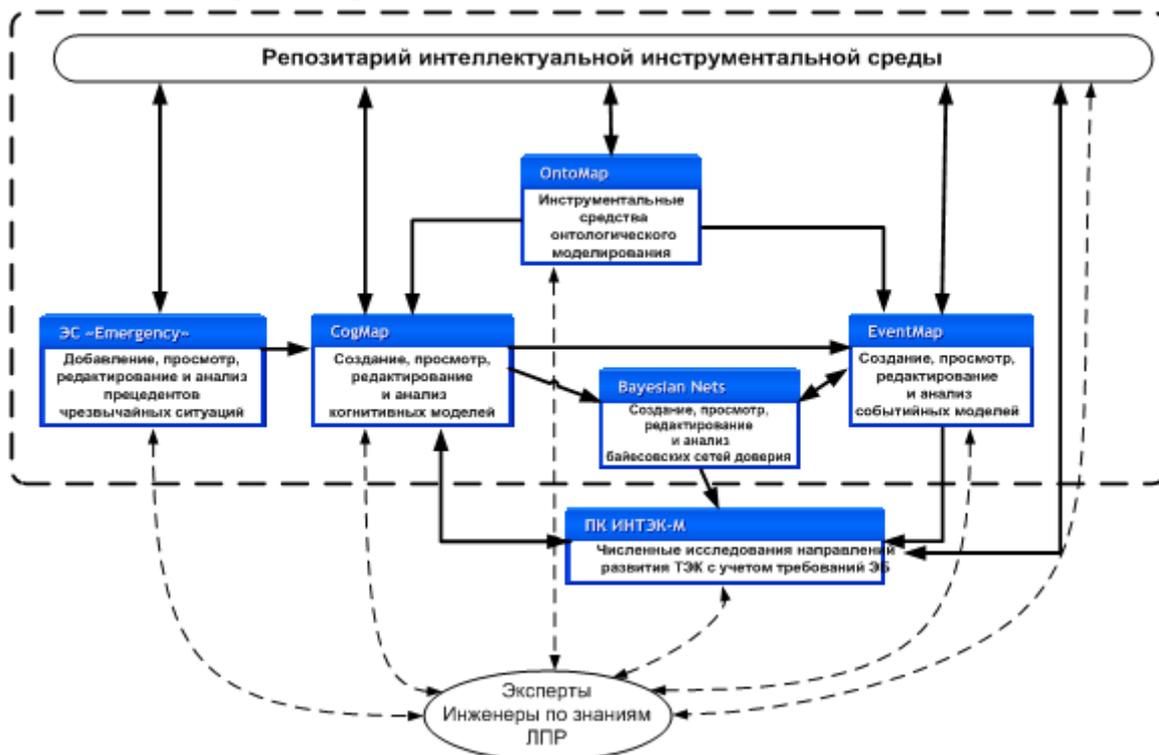


Рис. 3. Взаимосвязь инструментальных средств интеллектуальной ИТ-среды

Отношения между концептами можно описать в виде производственных правил (правил типа "Если. . . То. . . "), а эти правила, описывающие конкретную когнитивную модель, в свою очередь, могут быть организованы в виде фрагмента базы знаний производственной экспертной системы. Как правило, в состав экспертной системы входит машина вывода, которая обеспечивает логический вывод на правилах базы знаний. Предварительный анализ когнитивной модели и выводы на совокупности правил может осуществлять экспертная система, а лицо, принимающее решение, впоследствии может проанализировать и/или скорректировать эти выводы. Таким образом, создание производственной базы знаний на основе когнитивных моделей позволит выполнять логический вывод на построенных когнитивных моделях, что будет обеспечивать их интерпретацию и способствовать получению новых знаний для обоснования рекомендуемых решений. Другими словами, ставится задача: разработать принципы и методы построения программного компонента преобразования когнитивных моделей в базу знаний производственной экспертной системы. Предполагается, что этот компонент будет включен в состав Интеллектуальной ИТ-среды. Для реализации предлагаемого автором подхода к преобразованию когнитивных моделей в производственные правила требуется решить ряд задач:

1. Разработать методику построения, верификации и конвертирования когнитивных моделей в производственные базы знаний (усовершенствовать существующую методику когнитивного моделирования [2] ).

2. Разработать алгоритм преобразования когнитивных моделей в производственные базы знаний.

3. Разработать программный компонент, реализующий конвертирование когнитивных моделей (выполнить модификацию инструментального средства CogMap) и их хранение в Репозитории.

4. Интегрировать этот программный компонент в интеллектуальную ИТ-среду.

Для автоматизации преобразования когнитивной модели в производственную базу знаний автором разработан следующий алгоритм:

1. Выбрать концепт преобразуемой когнитивной модели.

2. Выбрать связь преобразуемой когнитивной модели.

3. Если связь исходящая, то записать в матрице инцидентности на пересечении строки концепта и столбца связи "1", если входящая – "-1", иначе "0";

4. Выбрать следующую связь и повторять п. 3 до перебора всех связей;

5. Выбрать следующий концепт и повторять п. 2-4 до перебора всех концептов;

6. Выбрать ячейку первой (очередной) строки матрицы инцидентности;

7. Если в ней "1", то пометить концепт, связанный с этой ячейкой, как "предпосылка", если "-1", как "результат".

8. Переход на п.6. Если строка последняя, то переход к п. 9.

9. Составить правило по шаблону: если "предпосылка", то "результат".

10. Перейти в следующий столбец и повторить п. 6-9 до последнего столбца матрицы.

Фактически данный алгоритм можно разбить на две части. При выполнении первой части (п. 1-5, рис. 4) выполняется обход графа, который представляет когнитивную модель, и формируется матрица инцидентности данного графа. При выполнении второй части (п. 6-10, рис. 5) данная матрица проходится по столбцам и формируется набор производственных правил.

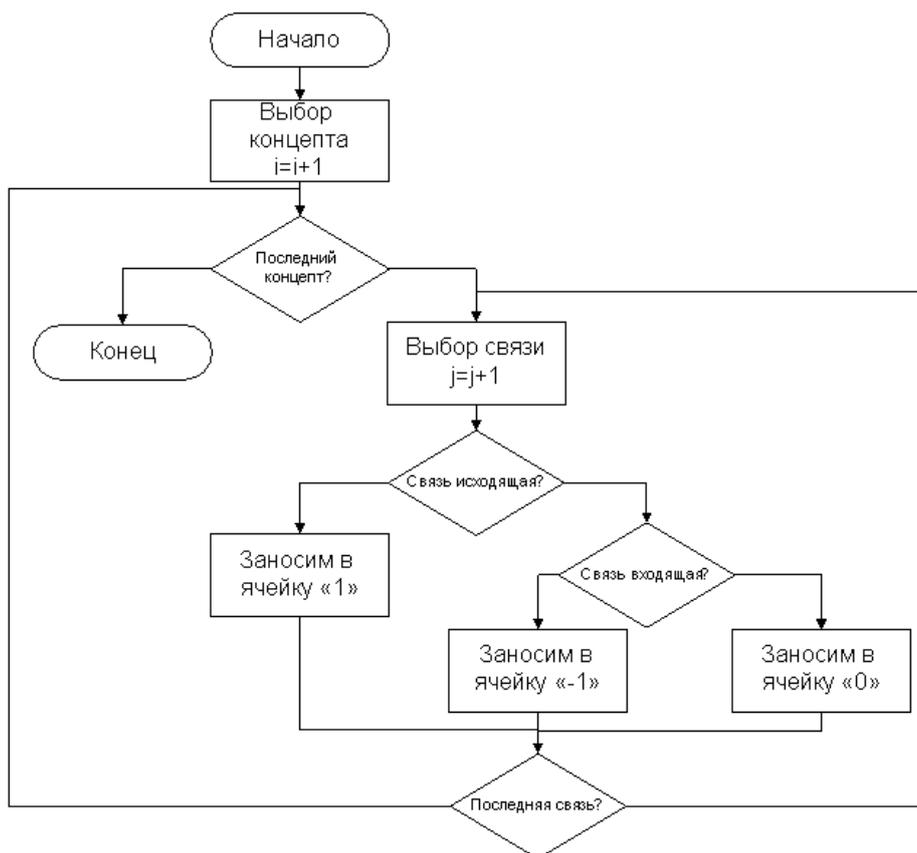


Рис. 4. Алгоритм обхода графа

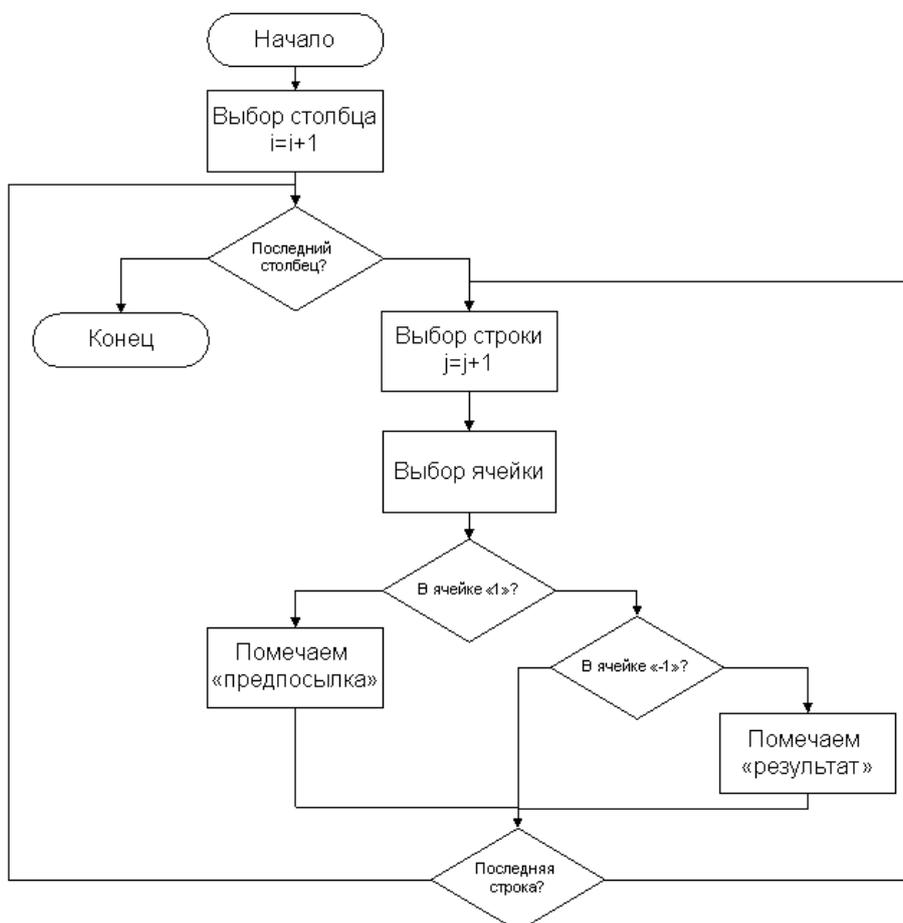


Рис. 5. Алгоритм формирования продукционных правил

**3. Модификация методики когнитивного моделирования.** В [2] разработана методика когнитивного моделирования, включающая пять этапов (перечислены ниже). Автор предлагает модифицировать методику с учетом поставленной задачи (добавить этапы 6-9). Модифицированная методика выглядит следующим образом:

1. Выявление основных факторов концептов, влияющих на развитие ТЭК или энергетической системы (ЭС) страны либо ее региона.
2. Установление причинно-следственных связей между факторами, расстановка весов этих связей и построение когнитивной модели ТЭК или ЭС (страны либо региона). В простейшем случае, веса могут иметь значения +1 или -1.
3. Выявление стратегических угроз факторов, негативно влияющих на развитие ТЭК/ЭС или на развитие чрезвычайной ситуации в ТЭК/ЭС.
4. Определение факторов превентивных, оперативных и ликвидационных мероприятий, влияющих на сценарии развития ТЭК/ЭС, непосредственно для каждой угрозы.
5. Изменение весов (или знаков) причинно-следственных связей, в зависимости влияния угроз и мероприятий на факторы развития ТЭК/ЭС.
6. Верификация когнитивной модели, выявление ложной транзитивности связей.
7. Преобразование когнитивной модели во фрагмент производственной базы знаний по предложенному алгоритму.
8. Загрузка полученного фрагмента базы знаний в Репозиторий.
9. Вызов экспертной системы, актуализация базы знаний (БЗ) экспертной системы (добавление фрагмента БЗ из Репозитория) и проведение анализа для получения выводов о взаимовлиянии концептов когнитивной модели.

**4. Модификация инструментального средства CogMap.** Коллективом лаборатории Информационных технологий в энергетике, при участии автора, выполнен онтологический инжиниринг предметной области. Результаты описаны, в частности, в [4]. В составе системы онтологий автором разработана исходная онтология когнитивного моделирования, структурирующая основные концепты, используемые в когнитивных моделях (рис. 6).

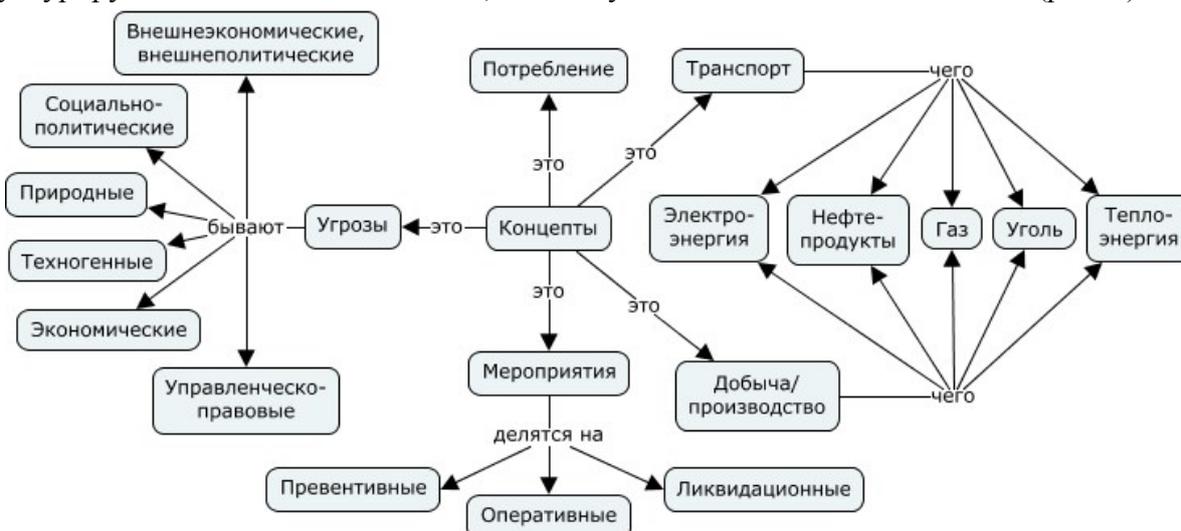


Рис. 6. Метаонтология для когнитивного моделирования

Данная онтология была учтена при модификации инструментального средства когнитивного моделирования CogMap, выполненного автором. Каждый концепт принадлежит к определенной группе и имеет свой набор характеристик и параметров.

Каждая "иконка" в графическом интерфейсе обозначает конкретную группу концептов: угрозы, потребление, транспорт, мероприятия, добыча/производство, а также концепты со свободными характеристиками. Интерфейс CogMap на примере иллюстративной когнитивной модели в области энергетики, показан на рис. 7.

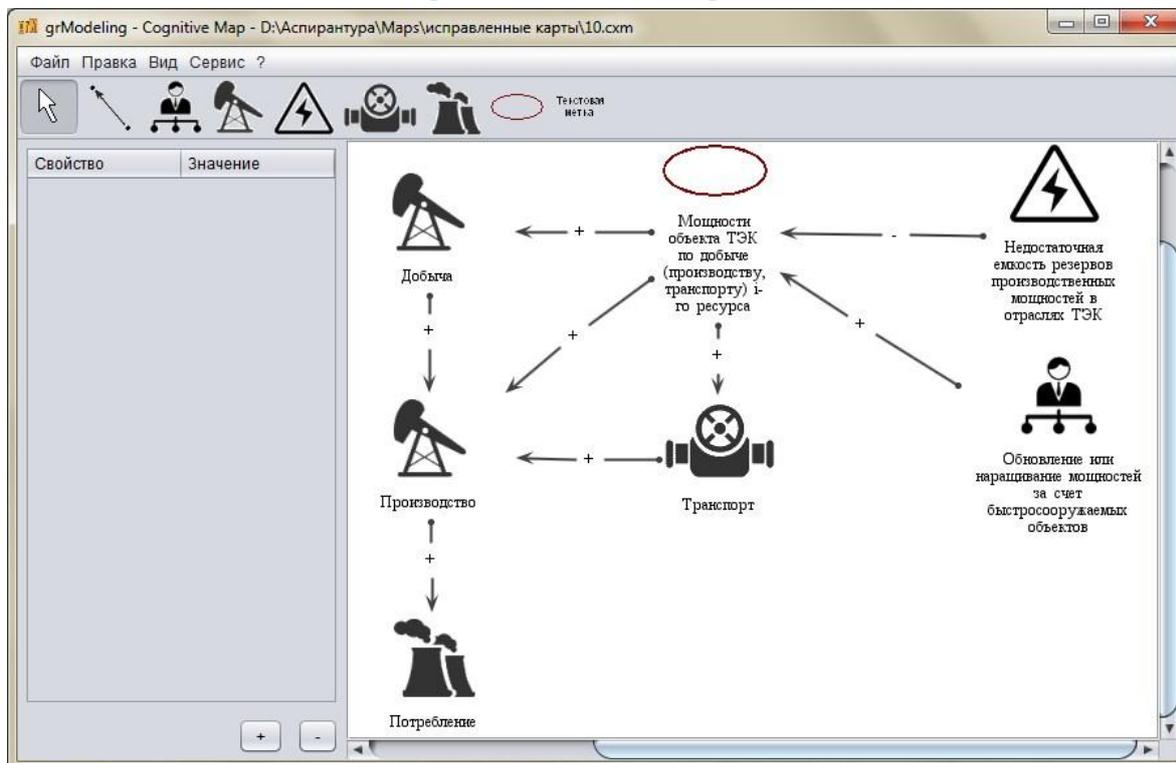


Рис. 7. Инструментальное средство когнитивного моделирования CogMap

Также были уточнены и дополнены наборы характеристик для каждой из групп концептов. Выполненная модификация является подготовительным этапом перед конвертированием когнитивных моделей, также это позволит создавать более адекватные когнитивные модели, что отразится на качестве проводимого анализа и выдаче более точных рекомендаций для поддержки принятия решений.

**Заключение.** В статье рассмотрена задача автоматизации преобразования когнитивных моделей в базу знаний продукционной экспертной системы. Для ее решения построена исходная онтология когнитивного моделирования, предложен алгоритм преобразования когнитивной карты в базу знаний, усовершенствованы предложенная ранее методика когнитивного моделирования, а также инструментальное средство когнитивного моделирования CogMap. Реализация программных средств автоматизации преобразования когнитивных моделей в правила продукционной экспертной системы позволит выполнять логический вывод на построенных когнитивных моделях, что будет обеспечивать их интерпретацию и обоснование рекомендуемых решений в области энергетики.

Работа выполнена в рамках научного проекта программы фундаментальных исследований СО РАН III.17.2, рег. № АААА-А17-117030310444-2 и при частичной финансовой поддержке грантов РФФИ № 16-07-00474, № 17-07-01341, № 18-07-00714.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Авдеева З.К., Коврига С.В. Эвристический метод концептуальной структуризации знаний при формализации слабоструктурированных ситуаций на основе когнитивных карт // Управление большими системами. 2010. №. 31. С. 6 – 34.
2. Массель А.Г. Когнитивное моделирование угроз энергетической безопасности // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). М.: "Горная книга". 2010. отдельный выпуск №. 17. С. 194 – 199.
3. Трахтенгерц Э.А. Компьютерная поддержка принятия решений. М.: СИНТЕГ, 1998. 376 с.
4. Массель Л.В., Ворожцова Т.Н., Макагонова Н.Н. Методологические аспекты ситуационного управления на основе системы онтологий // Труды XX Байкальской Всероссийской конференции «Информационные и математические технологии в науке и управлении». Иркутск: ИСЭМ СО РАН. 2015. Т. 3. С. 124 – 131.
5. Массель Л.В., Массель А.Г. Интеллектуальные вычисления в исследованиях направлений развития энергетики // Известия Томского политехнического университета. Управление, вычислительная техника и информатика. 2012. Т. 321. №. 5. С. 135 – 141.
6. Массель Л.В., Массель А.Г. Технологии и инструментальные средства интеллектуальной поддержки принятия решений в экстремальных ситуациях в энергетике // Вычислительные технологии. 2013. Т. 18. С. 37 – 44
7. Массель Л.В., Массель А.Г. Ситуационное управление и семантическое моделирование в энергетике // Труды IV Международной конференции OSTIS. Беларусь. Минск: БГУИР. 2014. С. 111 – 116.
8. Массель Л.В., Массель А.Г. Интеллектуальная ИТ-среда для интеграции семантических моделей в исследованиях энергетики // Труды 24-й Международной Крымской конференции «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии» (СтiMiKo' 2014). Севастополь. 2014. Т. 1. С. 441 – 442.
9. Пяткова Н.И., Славин Г.Б., Пяткова Е.В. Недостаточный уровень инвестиций в отраслях ТЭК - одна из стратегических угроз энергетической безопасности страны // Известия Российской академии наук. Энергетика. 2015. №. 2. С. 42 – 48.
10. P. Groumpos and A. Anninou. A theoretical mathematical modeling of Parkinson's disease using Fuzzy Cognitive Maps // In: 12th IEEE International Conference on Bioinformatics and Bioengineering. Cyprus. 2012. Pp. 677 – 682.
11. P.Groumpos and C. Stylios. Modelling supervisory control systems using fuzzy cognitive maps // Chaos, Solitons & Fractals. 2000. Vol. 11. №. 1-3. Pp. 329 – 336.
12. E. Papageorgiou, C. Stylios and P. Groumpos. An integrated two-level hierarchical system for decision making in radiation therapy based on fuzzy cognitive maps // IEEE Transactions on Biomedical Engineering. 2003. Vol. 50. №. 12. Pp. 1326 – 1339.

## USE OF PRODUCTION EXPERT SYSTEM FOR THE ANALYSIS OF COGNITIVE MODELS

Dmitriy V. Pesterev

Graduate student, Melentiev Energy Systems Institute

Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences

664033, Irkutsk, Lermontov Str., 130, e-mail: pesterev.dmitriy@gmail.com

**Abstract.** The paper deals with the application of cognitive modeling in energy security research. The author highlights the problem of manual analysis of cognitive models and suggests using the capabilities of production expert systems to automate the analysis. To implement this approach, the author developed the first version of the methodology for constructing and verifying cognitive models into the production knowledge bases, proposed an algorithm for converting cognitive models into production knowledge bases, and also modified the CogMap cognitive modeling tool.

**Keywords:** cognitive modeling, expert systems, production rules, ontologies.

### References

1. Avdeeva Z.K., Kovriga S.V. Jevristicheskiy metod konceptual'noj strukturizacii znanij pri formalizacii slabostrukturirovannyh situacij na osnove kognitivnyh kart [Heuristic method for conceptual structurization of knowledge in the course of ill-structured situations formalization based on cognitive map] // Upravlenie bol'shimi sistemami = Large-scale Systems Control. 2010. №. 31. Pp. 6 – 34. (In Russian)
2. Massel A.G. Kognitivnoe modelirovanie ugroz jenergeticheskoj bezopasnosti [Cognitive modeling of threats to energy security] // Mining informational and analytical bulletin (scientific and technical journal). M: Gornaja kniga = Mountain book. 2010. Vol. 17. Pp. 194 – 199. (In Russian)
3. Trahtengerz E.A. Komp'juternaja podderzhka prinjatija reshenij [Computer support of decision-making]. M.: SINTEG. 1998. 376 p. (In Russian)
4. Massel L.V., Vorozhcova T.N., Makagonova N.N. Metodologicheskie aspekty situacionnogo upravlenija na osnove sistemy ontologij [Methodological aspects of situational management based on the ontology system] // Trudy XX Bajkal'skoj Vserossijskoj konferencii «Informacionnye i matematicheskie tehnologii v nauke i upravlenii» = Proceedings of the XX Baikal All-Russian Conference «Information and mathematical technologies in science and management». Irkutsk: ISJeM SO RAN = MESI SB RAS. 2015. Vol. 3. Pp. 124 – 131. (In Russian)
5. Massel L.V., Massel A.G. Intellektual'nye vychislenija v issledovanijah napravlenij razvitija jenergetiki [Intelligent computing in research of the energy sector development] // Izvestija Tomskogo politehnicheskogo universiteta. Upravlenie, vychislitel'naja tehnika i informatika = Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Management, Computer Science and Informatics. 2012. №. 5. Pp. 135 – 141. (In Russian)

6. Massel L.V., Massel A.G. Tehnologii i instrumental'nye sredstva intellektual'noj podderzhki prinjatija reshenij v jekstremal'nyh situacijah v jenergetike [Technologies and tools of intelligent decision-making support of in emergency situations in the energy sector] // Vychislitel'nye tehnologii = Computational technologies. 2013. Vol. 18. Pp. 37 – 44. (In Russian)
7. Massel L.V., Massel A.G. Situacionnoe upravlenie i semanticheskoe modelirovanie v jenergetike [Contingency management and semantic modeling in the energy sector] // Trudy IV Mezhdunarodnoj konferencii OSTIS = Proc. of IV International Conference OSTIS. Belarus. Minsk: BGUIR. 2014. Pp. 111 – 116. (In Russian)
8. Massel L.V., Massel A.G. Intellektual'naja IT-sreda dlja integracii semanticheskikh modelej v issledovanijah jenergetiki [Intelligent IT environment for the integration of semantic models in the energy studies] // Trudy 24-j Mezhdunarodnoj Krymskoj konferencii «SVCh-tehnika i telekommunikacionnye tehnologii» (CriMiKo' 2014) = Proc. of the 24th International Crimean Conference «Microwave & Telecommunication Technology» (CriMiKo' 2014). Sevastopol, 2014. Vol. 1. Pp. 441 – 442. (In Russian)
9. Pyatkova N.I., Slavin G.B., Pyatkova E.V. Nedostatochnyj uroven' investicij v otrasljah TJeK - odna iz strategicheskikh ugroz jenergeticheskoj bezopasnosti strany [Insufficient investment in the energy sector - one of the strategic threats to the energy security of the country] // Izvestija Rossijskoj akademii nauk. Jenergetika = Proceedings of RAS. Power Engineering. 2015. №. 2. Pp. 42 – 48. (In Russian)
10. Groumpos P. and Anninou A. A theoretical mathematical modeling of Parkinson's disease using Fuzzy Cognitive Maps // In: 12th IEEE International Conference on Bioinformatics and Bioengineering. Cyprus. 2012. Pp. 677 – 682.
11. Groumpos P. and Stylios C. Modelling supervisory control systems using fuzzy cognitive maps // Chaos, Solitons & Fractals. 2000. Vol. 11. №. 1-3. Pp. 329 – 336.
12. Papageorgiou E., Stylios C. and Groumpos P. An integrated two-level hierarchical system for decision making in radiation therapy based on fuzzy cognitive maps // IEEE Transactions on Biomedical Engineering. 2003. Vol. 50. №. 12. Pp. 1326 – 1339.