

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ КОГНИТИВНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ АНАЛИЗА УГРОЗ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Массель Алексей Геннадьевич

к.т.н., с.н.с. отдела «Систем искусственного интеллекта в энергетике»

e-mail: amassel@isem.irk.ru,

Пяткова Наталья Ивановна

к.т.н., с.н.с. лаборатории «Надежности топливо- и энергоснабжения»

e-mail: nata@isem.irk.ru,

Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева СО РАН,
664033 г. Иркутск, ул. Лермонтова 130

Аннотация. В статье рассматривается двухуровневая информационная технология исследований проблем энергетической безопасности, где сочетаются уровни качественного и количественного анализа. Более подробно рассматривается использование когнитивных моделей разного уровня. Описан уровень качественного анализа угрозы «Недостаток инвестиций». Описывается структура традиционных оптимизационных моделей топливно-энергетического комплекса. Показана возможность интеграции когнитивных и математических моделей.

Ключевые слова: Семантическое моделирование, когнитивное моделирование, энергетическая безопасность.

Цитирование: Массель А. Г., Пяткова Н. И. Применение методов когнитивного моделирования для анализа угроз энергетической безопасности // Информационные и математические технологии в науке и управлении. 2020. № 4 (20). С. 24-33. DOI: 10.38028/ESI.2020.20.4.002

Введение. В ИСЭМ СО РАН традиционно ведутся исследования проблем энергетической безопасности [8]; в исследованиях применяются линейные экономико-математические модели и традиционные программные комплексы, что доставляет определенные неудобства с точки зрения экспертов: при комбинаторном подходе к многовариантным расчетам на эксперта возлагалась задача выбрать из множества решений только определенные. В связи с этим была предложена двухуровневая технология, интегрирующая этапы качественного анализа (с использованием инструментальных средств семантического моделирования) и количественного анализа (с использованием линейных экономико-математических моделей и традиционных программных комплексов) [4]. Предполагается, что при использовании уровня качественного анализа может быть значительно снижена нагрузка на эксперта. В статье более подробно рассматривается применение методов когнитивного моделирования на уровне качественного анализа.

Понятие и возможности использования когнитивных моделей рассматриваются в [10,12]. Когнитивные карты представляют собой графы, а когнитивное моделирование осуществляется путем представления проблемной ситуации системы в виде наглядного визуального образа, причем использование графических представлений этих моделей можно отнести к области когнитивной графики [2]. Так, в процессе работы с экспертами-энергетиками особенно хорошо зарекомендовали себя когнитивные карты, которые

позволяют графически отобразить причинно-следственные отношения между различными объектами и факторами в определенных ситуациях.

Предпосылкой развития когнитивного подхода является сложность в использовании точных моделей для анализа и моделирования проблемных ситуаций, возникающих в процессе развития социальных и технико-экономических систем, из-за необходимости учета большого числа факторов, многие из которых оказываются трудно формализуемыми.

Помимо когнитивных моделей, в исследованиях проблем энергетической безопасности активно используется вероятностное моделирование (на основе Байесовских сетей доверия) [5], но в данной статье это направление не рассматривается

Двухуровневая технология. В ходе исследований было предложено перейти к двухуровневой технологии, которая включает этапы качественного и количественного анализа. Более подробно двухуровневая технология рассмотрена в [1, 4]. Иллюстрация интеграции математического и семантического (когнитивного) моделирования приведена на рис. 1.

К задачам качественного анализа относятся следующие этапы:

- Анализ факторов, формирующих угрозы.
- Определение причинно-следственных связей между факторами.
- Формирование критических и чрезвычайных ситуаций (КС и ЧС).

Для отображения и работы с этими этапами используются инструменты вероятностного и когнитивного моделирования.

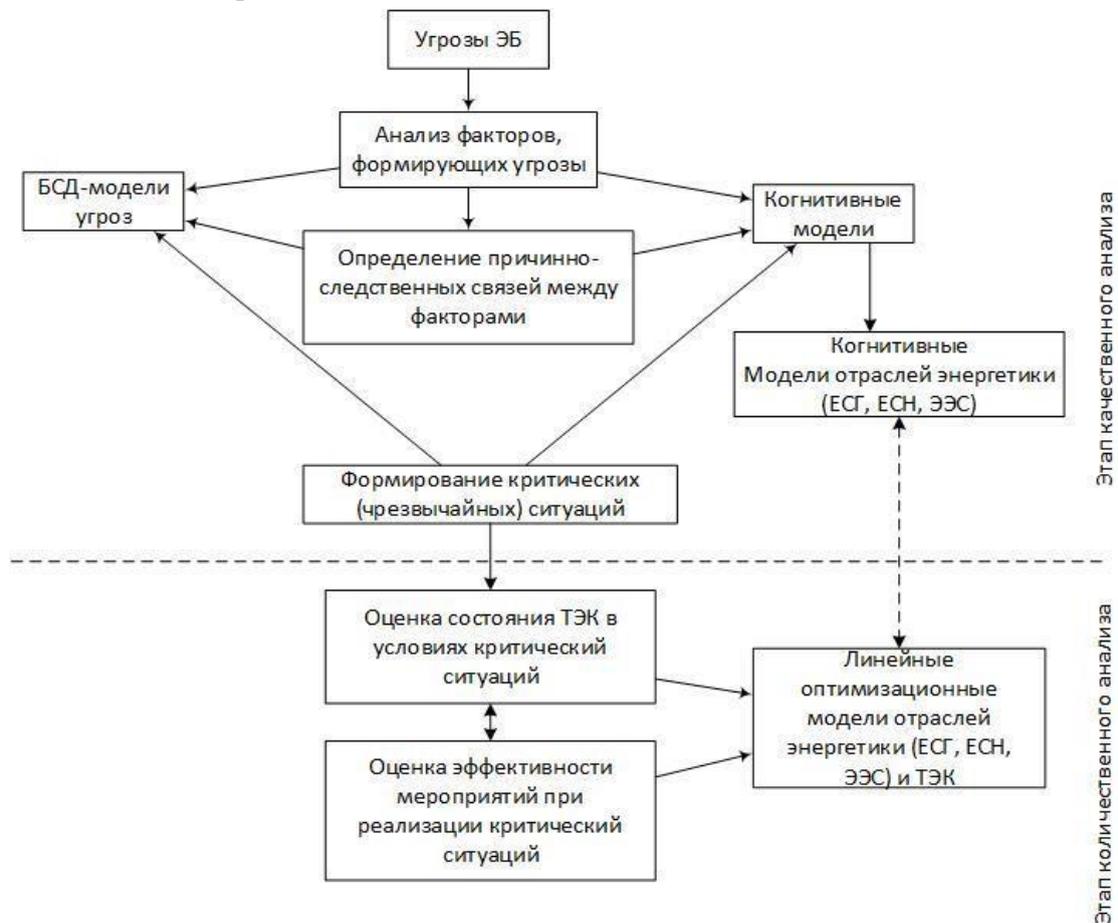


Рис. 1. Решаемые задачи и используемые методы моделирования при исследованиях оценки влияния угроз на состояние энергетической безопасности

В настоящее время ведутся исследования по построению когнитивных моделей отраслей энергетики, что позволит связать их с конкретными линейными оптимизационными моделями отраслей энергетики. Представляется, что на этом этапе необходимо, в дальнейшем, переходить к динамическим когнитивным картам [11].

Применение методов когнитивного моделирования. В современных условиях наибольшую значимость приобретает проблема изучения угроз энергетической безопасности и факторов, формирующих эти угрозы. При этом возможно обосновать возникновение тех или иных критических или чрезвычайных ситуаций и дать вероятностную оценку их возникновения.

На основе анализа состояния энергетического сектора страны и условий его развития были выделены основные стратегические угрозы энергетической безопасности [9]:

- недостаточный уровень инвестиций в отраслях ТЭК;
- недостаточные приросты разведанных запасов углеводородов;
- снижение возможностей по увеличению объемов добычи газа;
- высокая изношенность и низкие темпы обновления оборудования в отраслях ТЭК.

Анализ этих угроз и формирование КС и ЧС на их основе выполняется на уровне качественного анализа, на котором возможно использование методов семантического моделирования (рис. 1), рассматриваемых в качестве методов анализа и обоснования угроз энергетической безопасности, формирования КС и ЧС и методов ситуационного анализа и управления.

Для одной из важных стратегических угроз "Недостаток инвестиций " построена система моделей ухудшения/улучшения ситуации с использованием методов когнитивного моделирования (рис. 2).

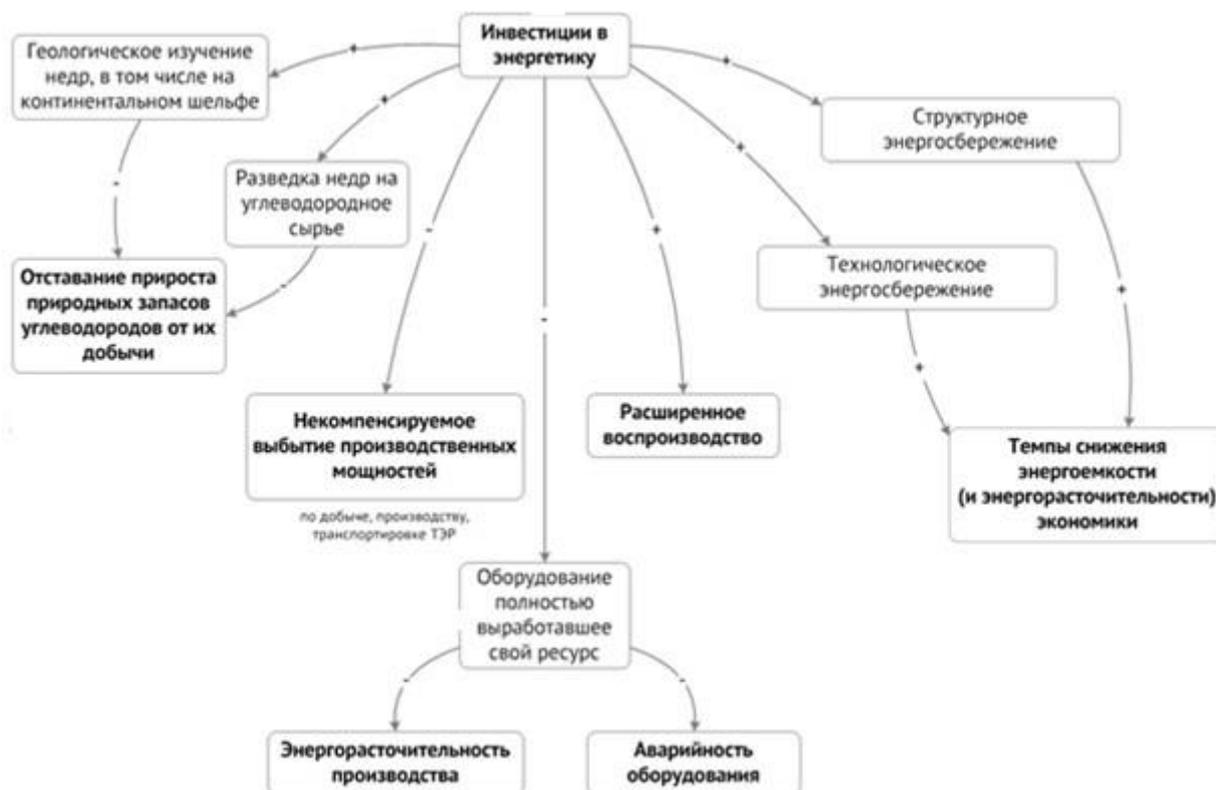


Рис. 2. Общая когнитивная модель угрозы «Недостаток инвестиций» (причинно-следственная связь факторов, образующих эту угрозу).

Итогом рассмотренного недофинансирования инвестиций в ТЭК (вместе с отвлечением значительных средств на сооружение экспортных трубопроводов, не имеющих прямого отношения к обеспечению энергетической безопасности России) были, остаются, и могут сохраниться в обозримой перспективе следующие *негативные явления (последствия)* [8, 9].

1. Некомпенсируемое выбытие производственных мощностей по добыче, производству, транспортировке и распределению ТЭР, либо, в других случаях, сохранение в работе оборудования (включая трубопроводы), полностью выработавшего свой ресурс (срок службы) или приближающегося к такому состоянию – низко-экономичного (в том числе энергорасточительного) и физически изношенного, ветхого, с повышенной аварийностью.

2. Использование ограниченных инвестиций преимущественно для обеспечения простого воспроизводства в отраслях ТЭК, без обеспечения расширенного воспроизводства и без необходимой модернизации производственного аппарата энергетики, повышения его экономической и энергетической эффективности.

3. Прогрессирующее снижение, или, по крайней мере, стагнация технического уровня предприятий ТЭК и соответственно ухудшение их технико-экономических показателей, отставание российской энергетики от мирового уровня, как негативный фактор, обусловленный в значительной мере дефицитом инвестиций и его рассмотренными последствиями (пп. 1, 2).

Следующая группа последствий недофинансирования состоит в обусловленности им других угроз ЭБ, в том числе:

4. Угроза энергорасточительности экономики (неприемлемо низких темпов снижения ее энергоемкости) обусловлена, во-первых, в значительной мере недостаточным финансированием мероприятий во всех отраслях народного хозяйства, прямо или косвенно направленных на повышение энергоэффективности используемых в них технологий, оборудования, зданий (финансирование технологического энергосбережения); и, во-вторых, опережающего развития малоэнергоемких (но наукоемких и трудоемких) отраслей материального производства и сферы услуг (структурное энергосбережение).

5. Недостаточными инвестициями в разведку недр на углеводородное сырье, в целом геологическое изучение недр, в том числе на континентальном шельфе, определяется, прежде всего, угрозой отставания прироста разведанных запасов углеводородов от объемов их добычи.

6. Угроза, сформулированная как доминирующая роль природного газа в ТЭБ европейских районов России, в значительной мере обусловлена недостаточными инвестициями в развитие атомной и возобновляемой энергетики, в техническое перевооружение угольной электро- и теплогенерации, в создание эффективной индустрии по производству качественных углепродуктов (включая обогащение энергетических углей) (рис. 3). Для этой угрозы построена когнитивная модель, представленная на рис. 3.

7. Угроза прогрессирующего снижения объемов добычи газа в России определяется не только экономическим риском освоения газовых ресурсов Ямала и шельфа северных морей (это, прежде всего, связано с привлекаемыми иностранными инвестициями), но и недостаточными собственными инвестициями в освоение указанных газовых ресурсов. В нефтяной отрасли состояние с инвестициями достаточно благополучное, но ухудшение состояния горно-геологических характеристик новых месторождений нефти, их качества, увеличения затрат на освоение этих месторождений, снижение коэффициента извлечения нефти на разработанных месторождениях влияет на величину требуемых инвестиций. По этим

причинам на основе рассуждений экспертов построена система когнитивных моделей ухудшения/улучшения ситуации по стратегической угрозе ЭБ «Недостаток инвестиций в в нефтяной и газовой отрасли» (рис. 4).

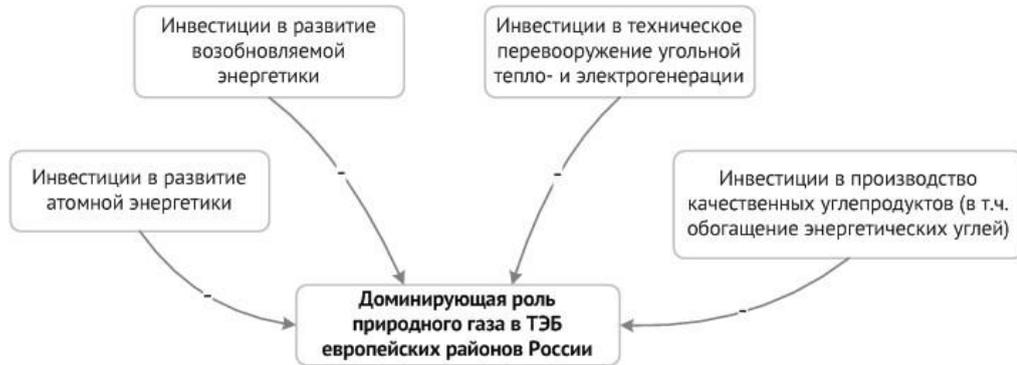


Рис. 3. Когнитивная модель по угрозе «Доминирующая роль природного газа в ТЭБ европейских районов России»

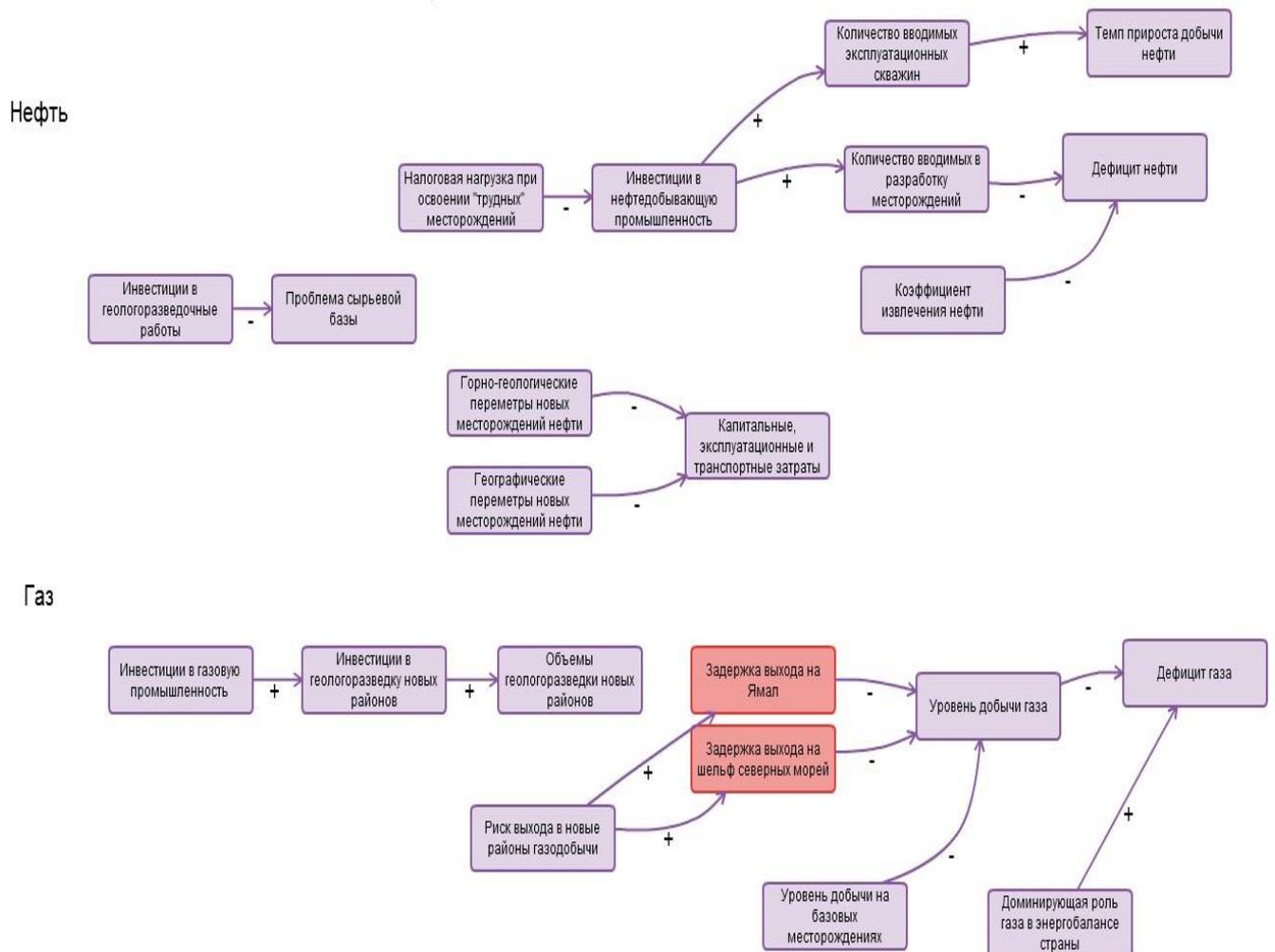


Рис. 4. Система моделей ухудшения/улучшения ситуации по стратегической угрозе ЭБ «Недостаток инвестиций в в нефтяной и газовой отрасли».

Помимо общих когнитивных моделей, которые, несомненно, помогают эксперту формировать нештатные ситуации, предлагается строить дополнительно когнитивные модели отраслей энергетики (рис. 5). Основное отличие этих моделей в их приближенности к технико-экономическим моделям, которые используются на этапе количественного анализа. У каждого концепта есть параметры, которые описывают его основные характеристики, и могут учитываться в модели. Таким образом, используя методы семантического моделирования угроз, мы можем обоснованно формировать различные нештатные ситуации и оценивать их на этапе качественного анализа. На рис. 5 представлена когнитивная карта угрозы «Недостаток инвестиций» для газовой отрасли, причем эксперт в своем исследовании может детализировать данную карту для задания более конкретного сценария.

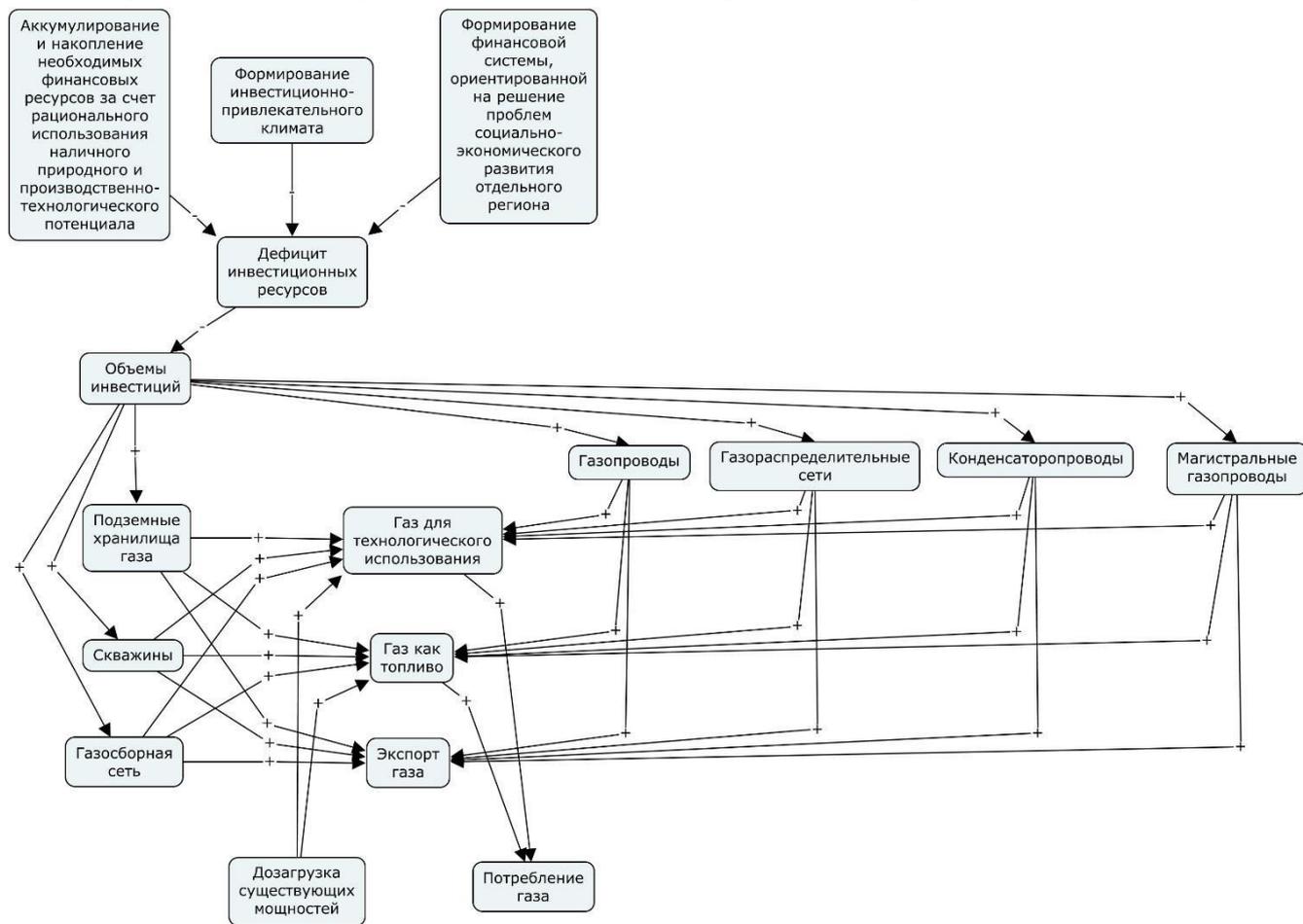


Рис. 5. Когнитивная карта угрозы «Недостаток инвестиций» для газовой отрасли.

Этап количественного анализа предполагает проведения исследований с помощью традиционных оптимизационных моделей топливно-энергетического комплекса. Для проведения экспериментальных расчетов формируется блок изменений в технико-экономические показатели ограничений модели, а именно: ограничения по производственным мощностям моделируемых объектов отраслевых систем ТЭК, пропускным способностям транспортных связей. Основой для получения количественных оценок служит модель оценки территориально-производственной структуры ТЭК с учетом требований ЭБ, подробно рассмотренная в [8]. Эта модель может использоваться в двух режимах:

- в режиме определения оптимального развития энергетических технологий (с учетом структурной избыточности в виде резервов мощностей, запасов топлива,

взаимозаменяемости энергоресурсов) и оптимального распределения потребляемых энергоресурсов,

– в режиме определения недопоставок энергоресурсов (дефицитов ТЭР) в целом по стране и по отдельным регионам.

Эта модель характеризуется иерархией уровней, представленной на рис. 6. Технологически она состоит из отраслевых подсистем энергетического комплекса (газовой, угольной, нефтеперерабатывающей (в части мазутоснабжения) отраслями, электро- и теплоэнергетикой).

В конечном варианте она дополнена финансовым блоком, описывающим инвестиционные затраты на реконструкцию, модернизацию действующих мощностей, вывод устаревшего оборудования, ввод новых мощностей на объектах энергетических отраслей. В ней же реализован учет динамики развития ситуации [3], позволивший отследить такие особенности многошагового процесса развития ТЭК, как:

- ввод новых производственных мощностей;
- демонтаж и консервацию старых объектов;
- реконструкцию объектов с изменением технологической схемы.

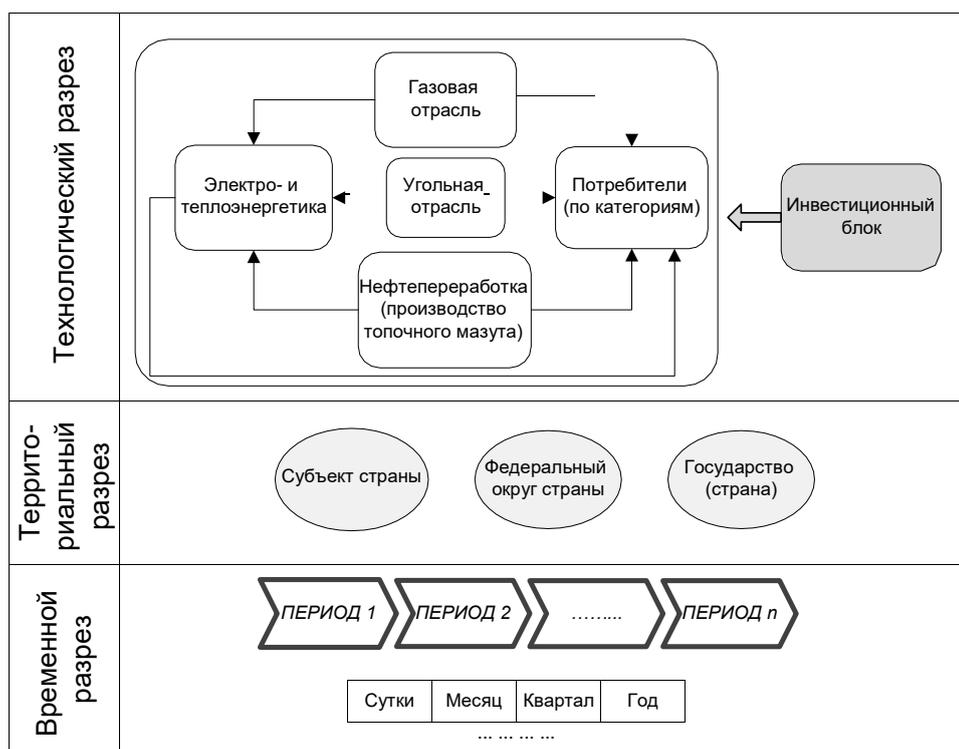


Рис. 6. Территориальная, временная и технологическая структура модели ТЭК

В целом модель используется для определения следующих характеристик (показателей):

– размеров недопоставок (дефицита) в отдельных видах энергоресурсов по рассматриваемым категориям потребителей, выделенным территориальным объединениям и в целом по стране, как величина невязки между заданной потребностью и возможностью производства данного вида энергоресурса (с учетом запасов, возможностей замещения этого вида энергоресурса у других потребителей и др.);

- изменений пропускных способностей межрайонных транспортных связей, определяемых путем сравнения соответствующих показателей рассматриваемого варианта с исходным;
- рекомендуемого рационального использования производственных мощностей энергетических объектов, а также распределение отдельных видов энергоресурсов по категориям потребителей.

Заключение. В статье рассмотрен подход к решению задачи оценки влияния угроз на состояние энергетической безопасности с применением семантических моделей. Приведены иллюстративные примеры использования методов когнитивного моделирования для задач анализа влияния угроз на состояние энергетической безопасности, в частности, применение когнитивных карт различных уровней для задания сценариев развития критических и чрезвычайных ситуаций. Предлагается интеграция математического и когнитивного моделирования для реализации этого подхода. Конкретизация когнитивных моделей позволяет строить когнитивные карты одного уровня с традиционными оптимизационными моделями топливно-энергетического комплекса, что в свою очередь, позволит в дальнейшем использовать когнитивные модели в качестве интерфейса корректировки экономико-математических моделей и их визуализации.

Благодарности. Работа была выполнена при частичной финансовой поддержке грантов РФФИ №18-07-00714, № 19-07-00351, 19-57-04003, №20-08-00367.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аршинский В. Л., Массель А. Г., Сендеров С. М. Информационная технология интеллектуальной поддержки исследований проблем энергетической безопасности // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2010. № 7 (47). С. 8–11.
2. Зенкин А. А. Когнитивная компьютерная графика / Под ред. Д. А. Пospelова. М.: Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит. 1991. 192 с.
3. Макаров А. А., Мелентьев Л. А. Методы исследования и оптимизации энергетического хозяйства / А. А. Макаров, Л. А. Мелентьев. Новосибирск: Наука. 1973. 274 с.
4. Массель А. Г. Методологический подход к организации интеллектуальной поддержки исследований проблемы энергетической безопасности // Информационные технологии. 2010. № 9. С. 32–36.
5. Массель А. Г., Пяткова Е. В. Интеллектуальная ИТ-среда для ситуационного анализа проблем энергетической безопасности // Методические вопросы исследования надежности больших систем в энергетике. Иркутск: Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева СО РАН. 2014. С. 472–483.
6. Массель Л. В., Массель А. Г. Интеграция семиотики, когнитивной графики и семантического моделирования в интеллектуальных семиотических системах ситуационного управления // Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем. 2016. № 6. С. 71–76.
7. Массель Л. В., Массель А. Г. Семантические технологии на основе интеграции онтологического, когнитивного и событийного моделирования // Открытые

семантические технологии проектирования интеллектуальных систем. 2013. № 3. С. 247–250.

8. Энергетическая безопасность России / В. В. Бушуев, Н. И. Воропай, А. М. Мастепано, Ю. К. Шафраники, Новосибирск: Наука. Сиб. издат. фирма РАН. 1998. 306 с.

9. Н. И. Пяткова, В.И. Рабчук, С. М. Сендеров, Г. Б. Славин, М. Б. Чельцов Энергетическая безопасность России: проблемы и пути решения // Новосибирск: СО РАН. 2011. 198 с.

10. Axelrod R. Structure of decision: The cognitive maps of political elites / R. Axelrod. Princeton University Press. 1976. 1–405 с.

11. Gaskova D. A., Massel A. G. Semantic modeling of cyber threats in the energy sector using Dynamic Cognitive Maps and Bayesian Belief Network // Proceedings of the 2nd international conference on modelling, simulation and applied mathematics (msam2017). 2019.

12. Kosko B. Fuzzy cognitive maps // International Journal of Man-Machine Studies. 1986. № 1 (24). С. 65–75.

UDK 004.8:620.9

**APPLICATION OF COGNITIVE MODELING
METHODS FOR ENERGY SECURITY THREAT
ANALYSIS**

Aleksei G. Massel

Ph.D., Senior researcher, Department of Artificial Intelligence Systems

in the Energy Sector e-mail: amassel@isem.irk.ru,

Natalia I. Pyatkova

Ph.D., Senior researcher, Laboratory Reliability of Fuel and Energy Supply

e-mail: nata@isem.irk.ru,

Melentiev Energy Systems Institute Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences

130, Lermontov Str., 664033, Irkutsk, Russia

Abstract. The article discusses a two-level information technology for researching energy security problems, where the levels of qualitative and quantitative analysis are combined. The use of cognitive models of different levels is discussed in more detail. The level of qualitative analysis of the threat "Under-investment" is described. The structure of traditional optimization models of the fuel and energy complex is described. The possibility of integrating cognitive and mathematical models is shown.

Keywords: Semantic modeling, cognitive modeling, energy security.

References

1. Arshinskii V. L., Massel A. G., Senderov S. M. Informatsionnaia tekhnologiya intellektualnoi podderzhki issledovaniy problem energeticheskoi bezopasnosti [Information technology of intelligent support for the study of energy security problems] // Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. 2010. №7(47) Pp. 8-11.

2. Zenkin A. A. Kognitivnaia kompiuternaia grafika. [Cognitive computer graphics] / Podred. D. A. Pospelova. – M.: Nauka. Gl. Red. Fiz. –mat. Lit. 1991. 192 p.
3. Makarov A. A., Melentev L. A. Metody issledovaniia i optimizatsii energeticheskogo khoziaistva. [Research methods and optimization of the energy economy]. Novosibirsk: Nauka= Science. 1973. 274 p.
4. Massel A. G. Metodologicheskii podkhod k org0nizatsii intellektualnoi podderzhki issledovaniu problemy energeticheskoi bezopasnosti. [Methodological approach to organizing intellectual support for research on energy security] // Informatsionnye tekhnologii. 2010. №9. Pp 32-36.
5. Massel A. G., Piatkova E. V. Intellektualnaia IT-sreda dlia situatsionnogo analiza problem energeticheskoi bezopasnosti. [Intelligent IT environment for situational analysis of energy security problems] // Metodicheskie voprosy issledovaniya nadezhnosti bol'shikh sistem v energetike = Methodological issues of research on the reliability of large systems in the energy sector. Irkutsk: Institut sistem energetiki im. L. A. Melenteva SO RAN= Irkutsk: L. A. Melentyev Institute of Energy Systems SB RAN. 2014. Pp. 472-483.
6. Massel' L. V., Massel' A. G. Integraciya semiotiki, kognitivnoj grafiki i semanti-cheskogo modelirovaniya v intellektual'nyh semioticheskikh sistemah situacionnogo upravleniya [Integration of semiotics, cognitive graphics and semantic modeling in intelligent semiotic systems of situational control] // Otkrytye semanticheskie tekhnologii proektirovaniya intellektual'nyh sistem. 2016. (6). Pp. 71–76.
7. Massel' L. V., Massel' A. G. Semanticheskie tekhnologii na osnove integracii ontologicheskogo, kognitivnogo i sobytijnogo modelirovaniya [Semantic technologies based on the integration of ontological, cognitive and event modeling] // Otkrytye semanticheskie tekhnologii proektirovaniya intellektual'nyh sistem. 2013. № 3. Pp. 247–250.
8. Energeticheskaya bezopasnost' Rossii [Energy security of Russia] / V.V. Bushuev, N.I. Voropay, A.M. Mastepanov, Yu.K. Shafranik i dr. Novosibirsk: Nauka. Sibirskaya izdatel'skaya firma RAN = Novosibirsk: Science. Siberian Publishing Company RAS]. 1998. 302 p.
9. N. I. Pjatkova, V. I. Rabchuk, S. M. Senderov, G. B. Slavin, M. B. Chel'cov Energeticheskaja bezopasnost' Rossii: problemy i puti resheniya [Energy security of Russia: problems and solutions] // Novosibirsk: SO RAN. 2011. 198 p.
10. Axelrod R. Structure of decision: The cognitive maps of political elites / R. Axelrod, Princeton University Press, 1976. 405 p.
11. Gaskova D. A., Massel A. G. Semantic modeling of cyber threats in the energy sector using Dynamic Cognitive Maps and Bayesian Belief Network // Proceedings of the 2nd international conference on modelling, simulation and applied mathematics (msam2017). 2019.
12. Kosko B. Fuzzy cognitive maps // International Journal of Man-Machine Studies. 1986. № 1 (24). C. 65–75.