

УДК 004.8 : 620.9

**АДАПТАЦИЯ МЕТОДОВ СИТУАЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ
ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ОЦЕНКИ ВЛИЯНИЯ УГРОЗ НА СОСТОЯНИЕ
ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ**

Массель Людмила Васильевна

Д.т.н., профессор, зав. лабораторией «Информационные технологии в энергетике»,

e-mail: massel@isem.irk.ru

Пяткова Наталья Ивановна

К.т.н., зав. лабораторией «Развитие ТЭК с позиций энергетической безопасности»

e-mail: nata@isem.irk.ru

Массель Алексей Геннадьевич

К.т.н., старший научный сотрудник лаборатории «Информационные технологии в энергетике», e-mail: amassel@gmail.com

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

664130 г. Иркутск, ул. Лермонтова 130,

Аннотация. В статье рассматривается возможность использования методов ситуационного управления для оценки влияния угроз энергетической безопасности. Сопоставляются схема исследований по оценке состояния ТЭК с точки зрения ситуационного управления и схема решаемых задач и используемых при этом методов моделирования для оценки влияния угроз на состояние энергетической безопасности России и ее регионов. Даны характеристики понятий «ситуация», «ситуационный анализ» и «ситуационное моделирование». Приведены примеры моделируемых нештатных (критических) ситуаций в системах энергетики и использования методов семантического моделирования для исследования угроз энергетической безопасности.

Ключевые слова: энергетическая безопасность, угрозы энергетической безопасности, ситуационное управление, математическое и семантическое моделирование, топливно-энергетический комплекс.

Введение. Основное содержание задач по исследованию проблемы энергетической безопасности (ЭБ) заключается в прогнозировании условий функционирования и развития систем энергетики (СЭ) и ТЭК в целом, с учетом возможных критических и чрезвычайных ситуаций (КС и ЧС), в оценке состояния СЭ и ТЭК в этих условиях и выявлении «узких мест» в системах топливо- и энергоснабжения потребителей, в выборе возможных альтернатив необходимых направлений и конкретных мер по предотвращению КС и ЧС в этих системах или снижению их негативного воздействия [10].

В современных условиях возникла необходимость в усовершенствовании существующего и разработке нового методического, модельного и программного инструментария для проведения подобных исследований, так как особое место начинают занимать исследования, связанные с понятием риска критических и чрезвычайных ситуаций, их последствий. Особую важность приобретает задача анализа возможных угроз и

формирование на этой основе сценариев возмущений (критических и чрезвычайных ситуаций) и связанные с этим проблемы их моделирования.

Авторы предлагают использовать концепцию ситуационного управления для обоснования стратегических решений, основанных на исследованиях проблемы ЭБ, а также интеграцию математического и семантического (онтологического, когнитивного, событийного и вероятностного) моделирования для реализации этой концепции.

1. Ситуационное управление в энергетике. Предлагается современная трактовка идеи ситуационного управления, предложенной Д.А. Поспеловым [6, 7], и ее отображение на современные информационные технологии. Идея ситуационного управления заключается в выборе управленческих решений с учетом сложившейся ситуации из некоторого набора допустимых (типовых, стандартных) управляющих воздействий. Под текущей ситуацией C при этом понимается совокупность текущего состояния объекта (вектор состояния X) и его внешней среды (вектор возмущений F). Тогда $C = \langle X, F \rangle$.

Вводится также понятие полной ситуации $S = \langle C, G \rangle$, где C – текущая ситуация, G – цель управления. В свою очередь, цель управления G может быть представлена в виде целевой ситуации G_g , к которой должна быть приведена имеющаяся текущая ситуация. Тогда $S = \langle C, G_g \rangle$. Полагая, что текущая ситуация C принадлежит некоторому классу Q' , а целевая (заданная) ситуация G_g – классу Q'' , ищется такое управление (вектор управляющих воздействий U), которое принадлежит множеству допустимых управлений Ω_u и обеспечивает требуемое преобразование одного класса ситуаций в другой:

$$C \in Q' \xrightarrow{U \in \Omega_u} G_g \in Q''$$

Таким образом, ситуационное управление выступает как отображение:

$$(Q', Q'') \rightarrow U \in \Omega_u$$

сопоставляющее паре «текущая ситуация - целевая ситуация» требуемый результат – управление U .

Другими словами, при ситуационном управлении проблема выбора управляющих воздействий сводится к адекватной оценке состояния объекта и среды (что усложняется при наличии факторов неопределенности), отнесению соответствующей текущей ситуации к одному из типовых классов и выбору такого управления (из определенного набора альтернатив), которое приводит к достижению поставленной цели управления (целевой ситуации) [1].

Таким образом, ситуационное управление основано на понятиях ситуации, классификации ситуаций и их преобразования [6, 7]. Ситуационное управление требует больших затрат на предварительное создание базы знаний об объекте управления, его функционировании и способах управления им, причем эти затраты оправданы, если невозможно формализовать описания объекта и способов управления им.

Рассмотрим общую схему исследований проблем энергетической безопасности (рис. 1) или, иначе, оценки состояния ТЭК в условиях возможных сценариев угроз ЭБ с учетом мероприятий, направленных на повышение уровня ЭБ [2].

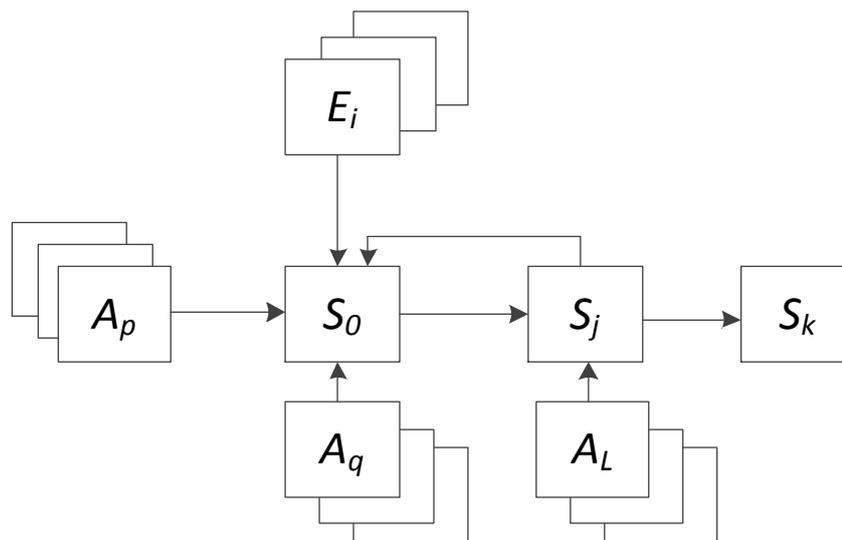


Рис. 1. Общая схема исследований по оценке состояния ТЭК с точки зрения ситуационного управления

Здесь $\{S_0\}$ – начальное состояние системы (текущая ситуация C);

$\{E_i\}$ - i -й сценарий чрезвычайной ситуации (набор сценариев – вектор возмущений F);

$\{A\} = \{A_p, A_q, A_L\}$ - набор превентивных, оперативных и ликвидационных мероприятий, нейтрализующих или смягчающих последствия чрезвычайной ситуации (ЧС) (вектор управляющих воздействий U);

$\{S_j\}$ - состояние системы после ЧС $\{E_i\}$ с учетом реализации набора мероприятий $\{A_p\}$ и/или $\{A_q\}$;

$\{S_k\}$ - состояние системы после проведения ликвидационных мер. S_j и S_k могут рассматриваться как аналоги соответствующих целевых ситуаций G_g .

2. Интеграция семантического и математического моделирования для ситуационного анализа и управления. В [3] предложено использовать ситуационный анализ и ситуационное моделирование, как основные методы ситуационного управления. Задачей ситуационного анализа является выявление параметров и существенных факторов, или «обстоятельств», определяющих ситуацию, взаимосвязей между факторами и степени их взаимовлияния. Под ситуацией понимается совокупность обстоятельств, определяющих внутреннее состояние объекта или системы, и обстоятельств, определяющих состояние окружающей среды по отношению к данному объекту или системе. Первые описываются параметрами, характеризующими состояние системы (X), вторые – условиями окружающей среды или существенными факторами, влияющими на развитие системы (F). Ситуационное моделирование заключается в моделировании ситуаций и переходов из одной ситуации в другую. Ситуационный анализ включает: анализ проблемных ситуаций (например, ЧС в энергетике); выявление путей разрешения проблемных ситуаций (альтернатив) или управляющих воздействий (U) (в нашем случае – выбор из описанного выше множества A); определение критериев оценки альтернатив (например, экономических); анализ альтернатив; выбор и реализацию наилучшей альтернативы.

Для исследования проблем ЭБ предложена двухуровневая технология, интегрирующая этапы качественного анализа (с использованием инструментальных средств

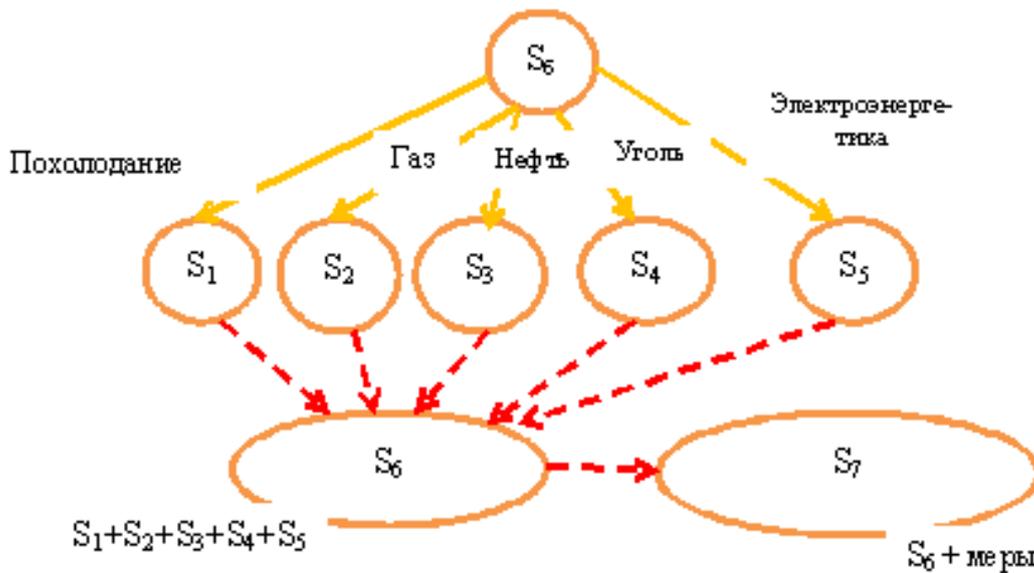
семантического моделирования) и количественного анализа (с использованием линейных экономико-математических моделей и традиционных программных комплексов) [4, 5].

Рис. 2 иллюстрирует интеграцию математического и семантического (когнитивного и вероятностного) моделирования.



Рис. 2. Решаемые задачи и используемые методы моделирования при исследованиях оценки влияния угроз на состояние энергетической безопасности

3. Возможные критические ситуации в отраслях энергетики. Используя сценарный подход и основываясь на знаниях экспертов, были сформированы критические ситуации, которые могут возникнуть у потребителей энергоресурсов и в энергетических отраслях (рис. 3).



S_1 - Похолодание

S_5 - КС в системе электроснабжения

S_2 - КС в системе газоснабжения

S_6 - КС (комбинация $S_1 S_2 S_3 S_4 S_5$)

S_3 - КС в системе нефтеснабжения

S_7 - КС S_6 + мероприятия

S_4 - КС в системе углеснабжения

Рис. 3. Схема формирования нештатных ситуаций на этапе количественного анализа.

Эти критические ситуации были отражены в разработанных оптимизационных моделях отдельных систем энергетики и ТЭК в целом, с использованием которых далее проводились экспериментальные расчеты [9].

Поясним эти критические ситуации. Возникновение критических ситуаций в топливно- и энергоснабжении в значительной мере связано с возможным охватом экстремальными условиями (резкое похолодание) значительной территории в европейской части России. При этом в зависимости от климатических условий конкретного региона и состава потребителей максимальные сезонные отопительные нагрузки могут отклоняться от среднесезонных значений на значительную величину, вплоть до 20-30 %. Была сформирована ситуация, при которой было принято: снижение средней температуры наружного воздуха в течение одного квартала отопительного сезона на территории Европейской части России на 2°C относительно среднесезонной приведет к увеличению потребности в котельно-печном топливе примерно на 8% (S_1).

В системе газоснабжения одним из наиболее опасных (по последствиям) является возможность повреждения трансконтинентальных газопроводов, идущих из Западной Сибири через Урал в европейскую часть России, поскольку природный газ в Европейской части России, на Урале и в Поволжье стал практически монопольным ресурсом в производстве электроэнергии и тепла. В качестве расчетных условий критической ситуации (S_2) в системе газоснабжения была рассмотрена возможность выхода из строя участка магистральных газопроводов, идущих через Урал из Западно-Сибирского газодобывающего района (северная нитка). Эта ситуация с учетом восстановительных работ приводит к снижению объемов подачи газа в европейские районы России на 5% за квартал.

В системе нефтеснабжения важно проанализировать влияние снижения поставок топочного мазута из регионов, где сконцентрированы крупные мощности по переработке нефти, при возможных осложнениях различного характера. При этом в качестве критической ситуации (S_3) вводились возмущения в виде снижения поставок топочного мазута на 8% от суммарного его производства в течение рассматриваемого периода.

В углеснабжении потенциально опасным является высокая доля поступающего из Казахстана экибастузского угля в балансах углей Свердловской, Челябинской и Омской областей. Расчетные условия критической ситуации (S_4) при этом предусматривали возможное уменьшение в течение квартала на 30% поставок экибастузского угля на электростанции Уральского региона.

Одним из опасных факторов для надежного топливно- и энергоснабжения является несбалансированность отдельных региональных электроэнергетических систем. Поэтому в системе электроэнергетики рассматривались последствия возможного разрыва связей энергосистем Урала и Волги, в дополнение к этому было введено возможное снижение мощностей АЭС в энергосистемах Центра и Северо-Запада на 30% , таким образом сформирована критическая ситуация (S_5).

Кроме этого, рассматривались ситуации с возможным наложением вышеперечисленных возмущений (S_6) и ситуация с возможным привлечением дополнительных запасов топочного мазута и угля в размере 10-суточной потребности (S_7). Конечно, наложение всех КС практически маловероятно, но оно позволяет оценить, в определенной степени, предельные возможности ТЭК по снабжению потребителей топливом

и энергией и взаиморезервирование СЭ и регионов при глобальном ухудшении условий в энергетике.

Таким образом, эксперты задавали условия и возможные возмущения для формирования критических ситуаций. Затем с использованием линейных оптимизационных моделей систем энергетики и ТЭК в целом решались задачи по оценке состояния энергетики в условиях задаваемых КС для определения:

- рационального использования производственных мощностей энергетических объектов,
- распределения отдельных видов энергоресурсов по категориям потребителей,
- рационального использования пропускных способностей межрегиональных транспортных связей,
- размеров дефицитов (в случае их возникновения) в отдельных видах энергоресурсов по рассматриваемым категориям потребителей по территории страны.

4. Примеры применения семантического 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 в период с 2000 по 2013 гг. было выделено пять основных стратегических угроз энергетической безопасности [10]:

- недостаточный уровень инвестиций в отраслях ТЭК;
- энергорасточительность экономики;
- отставание прироста разведанных запасов углеводородов от объемов их добычи;
- доминирующая роль природного газа в европейских районах России;
- высокий износ и низкие темпы обновления оборудования в отраслях ТЭК.

Анализ этих угроз и формирование КС и ЧС на их основе происходит на уровне качественного анализа. На этом уровне возможно использование методов семантического моделирования (рис. 2), которые могут быть рассмотрены в качестве методов анализа и обоснования угроз энергетической безопасности, формирования КС и ЧС и как методы ситуационного анализа и управления.

Для одной из главных стратегических угроз "Недостаточный уровень инвестиций в отраслях ТЭК" построена когнитивная модель факторов, влияющих на инвестиции (рис.4) [8].

Если увеличение (уменьшение) одного фактора приводит к соответствующему увеличению (уменьшению) другого фактора, связь положительная (+), если же увеличение (уменьшение) одного фактора приводит наоборот, к уменьшению (увеличению) другого фактора, связь отрицательная (-).

Таким образом, используя методы онтологического, когнитивного моделирования, байесовские сети доверия для моделирования угроз, мы можем обоснованно формировать различные нештатные ситуации и оценивать их на этапе качественного анализа.

Далее приводится пример семантического моделирования угрозы «Похолодание»: онтологическая модель – для описания самой угрозы, когнитивная – для визуализации причинно-следственных связей угрозы, событийная – для оценки развития ситуации и БСД-

модель - для определения условных вероятностей появления того или иного события) (рис. 5-8).

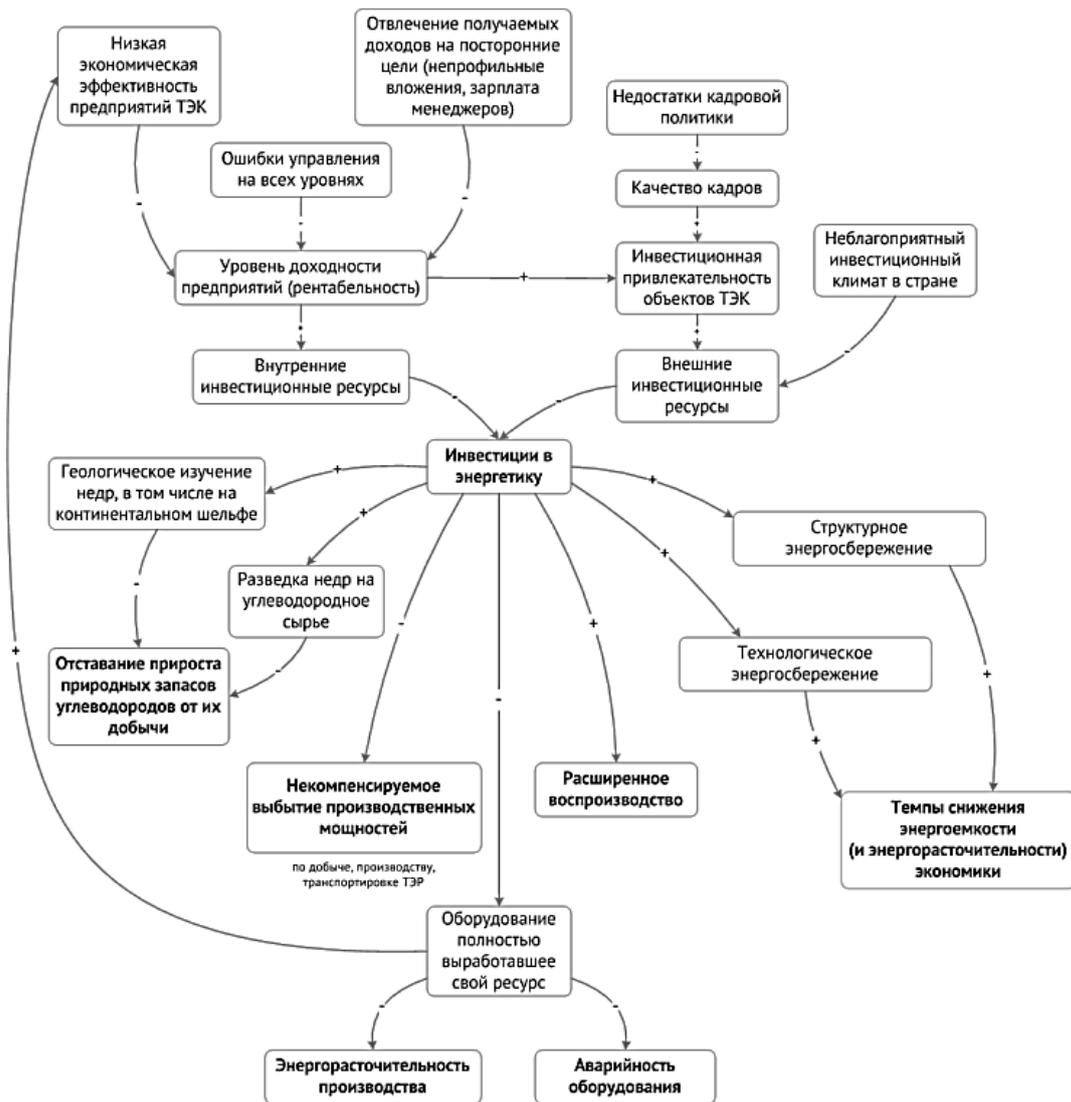


Рис. 4. Схема взаимосвязи факторов, влияющих на инвестиционные возможности отраслей ТЭК

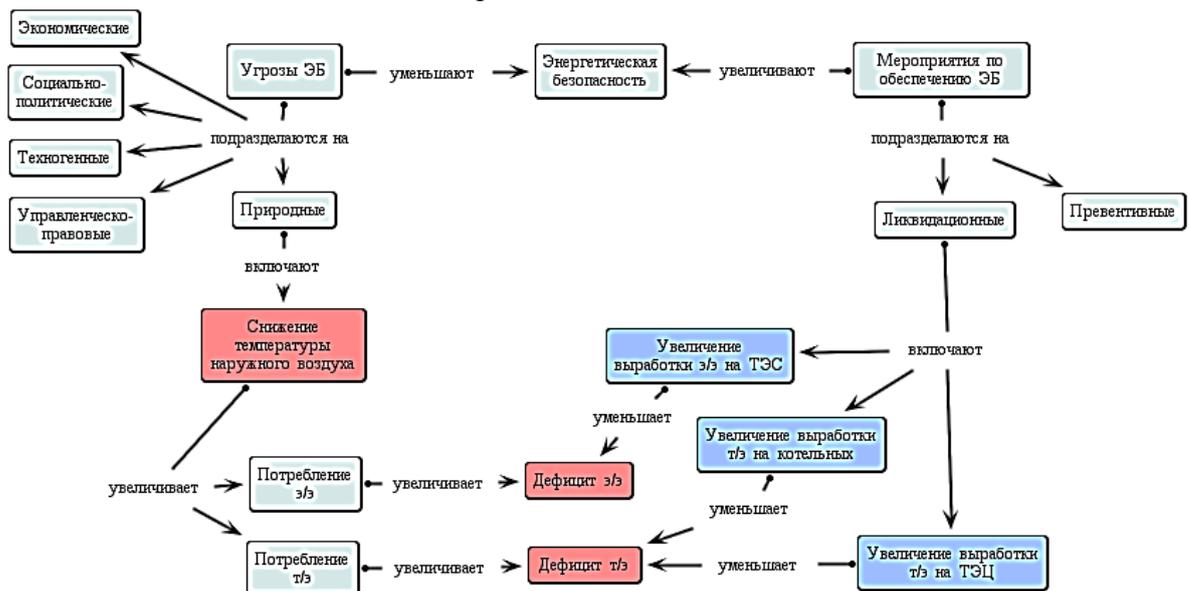


Рис. 5. Фрагмент онтологии, используемой для описания угрозы похолодания

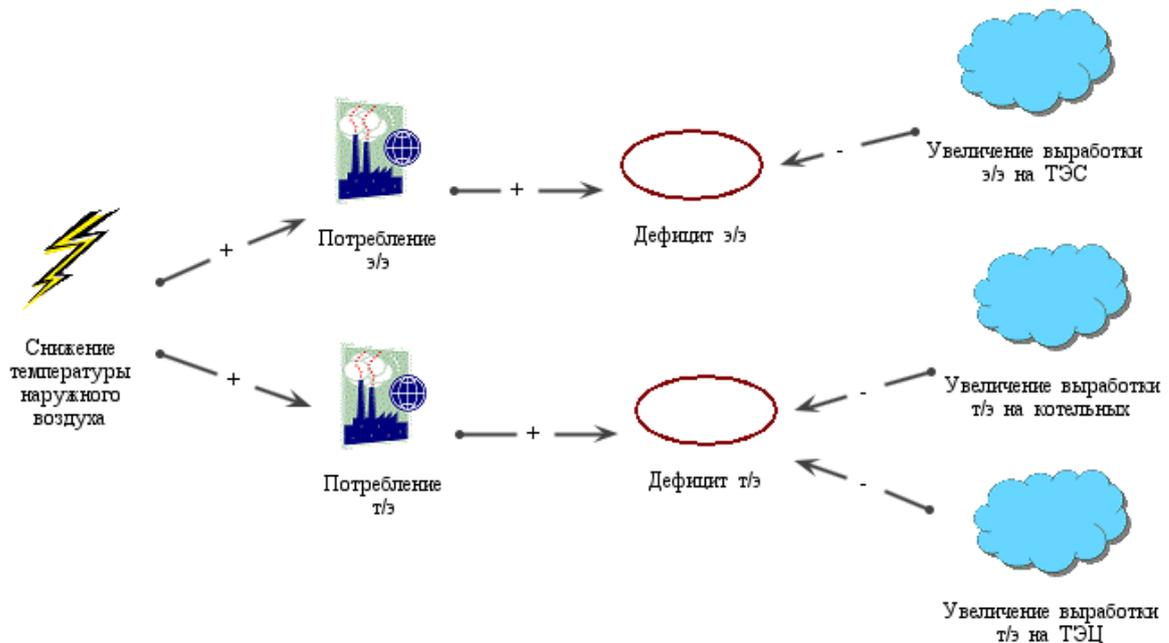


Рис. 6. Когнитивная карта угрозы похолодания

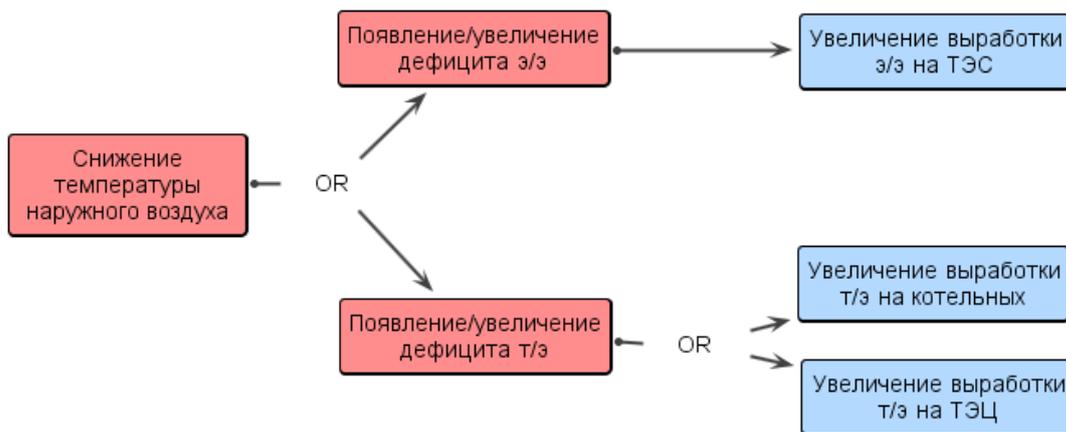


Рис. 7. Событийная карта угрозы похолодания

Заключение. В статье рассматриваются задачи оценки влияния угроз на состояние энергетической безопасности. Предложено использование концепции ситуационного управления для обоснования стратегических решений, основанных на исследованиях проблемы ЭБ. Рассмотрена интерпретация идеи ситуационного управления на примере исследований по оценке состояния ТЭК с позиций энергетической безопасности. Предлагается интеграция математического и семантического (онтологического, когнитивного, событийного и вероятностного) моделирования для реализации этой концепции.

Классифицированы по группам угрозы энергетической безопасности, сформированы критические ситуации для оценки влияния отдельных угроз на состояние энергетической безопасности, выделены стратегические угрозы на современном этапе.

Приведены иллюстративные примеры применения методов онтологического, когнитивного моделирования, байесовских сетей доверия (для моделирования угроз) как возможных средств ситуационного анализа и ситуационного моделирования при

ситуационном управлении для задач оценки влияния угроз на состояние энергетической безопасности.

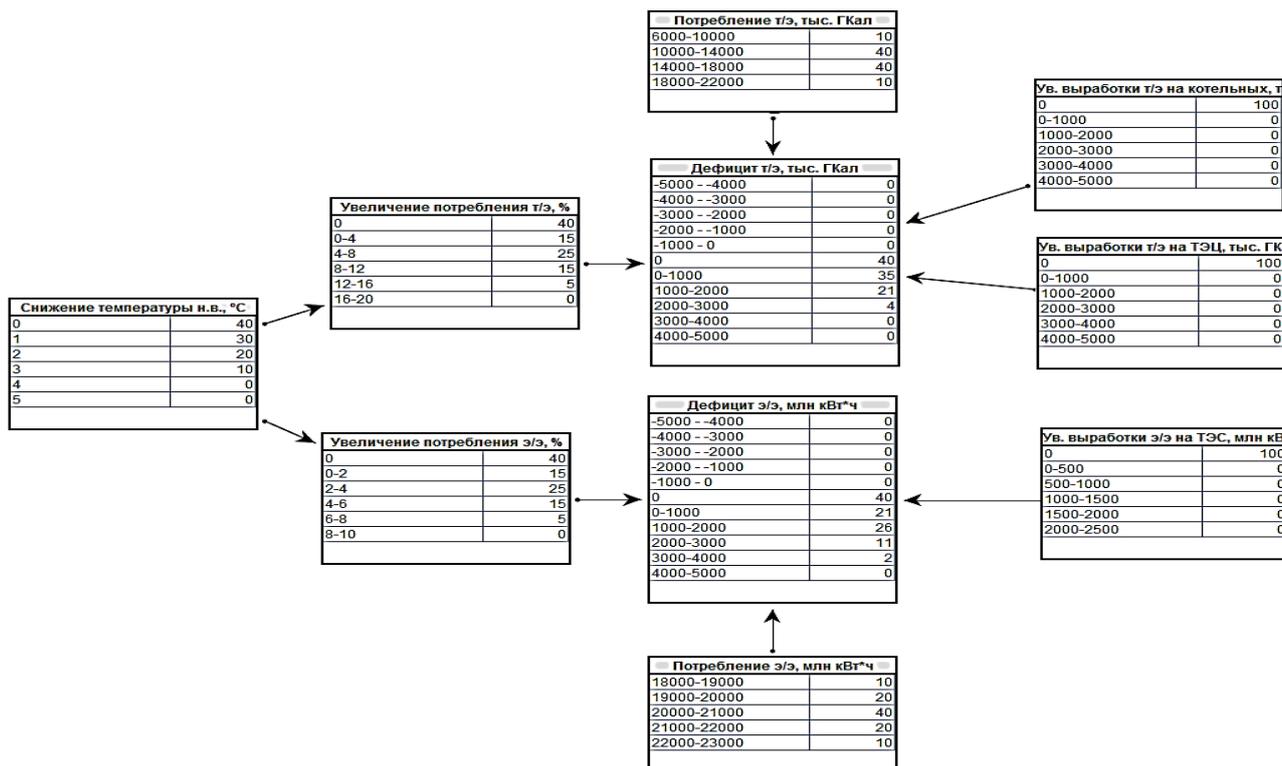


Рис. 8. Заполненная байесовская сеть доверия для угрозы похолодания

Результаты, приведенные в статье, получены при частичной финансовой поддержке грантов Программы Президиума РАН №349 (2014-2016), №229 (2015-2017) и грантов РФФИ № №15-07-01284, №15-07-04074 Бел_мол_a, №16-07-00474.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Васильев В.И. Интеллектуальные системы защиты информации. М. Машиностроение. 2012. 171 с.
2. Массель Л.В., Массель А.Г. Ситуационное управление и семантическое моделирование в энергетике // IV Международная конференция OSTIS: труды. Беларусь, Минск, БГУИР. 2015 г. С.111-116
3. Массель Л.В., Массель А.Г. Методы и средства ситуационного управления в энергетике на основе семантического моделирования // V Международная конференция OSTIS: труды. Беларусь, Минск, БГУИР. 2015 г. С.199-204.
4. Массель Л.В., Массель А.Г. Интеллектуальные вычисления в исследованиях направлений развития энергетики // Известия Томского политехнического университета. 2012. Т. 321. №5. Управление, вычислительная техника и информатика. С. 135-141.
5. Массель А.Г., Пяткова Е.В. Интеллектуальные информационные технологии для исследований проблем энергетической безопасности // Семинар «Методические вопросы исследования больших систем энергетики: труды. Вып. 64. «Надёжность систем энергетики: достижения, проблемы, перспективы». Иркутск. ИСЭМ СО РАН. 2014. С. 472-483.

6. Поспелов Д.А. Принципы ситуационного управления // Известия РАН СССР. Техническая кибернетика. 1971. №2 . С. 10-17.
7. Поспелов Д.А. Ситуационное управление. Теория и практика // М. Наука, 1986. 284 с.
8. Пяткова Н.И., Славин Г.Б., Пяткова Е.В. Недостаточный уровень инвестиций в отраслях ТЭК – одна из стратегических угроз энергетической безопасности страны // Известия РАН. Энергетика. №2. 2015. С. 42-48.
9. Энергетическая безопасность России // В.В. Бушуев, Н.И. Воропай, А.М. Мастепанов, Ю.К. Шафраник и др. Новосибирск. Наука. Сиб. изд. фирма РАН, 1998. 306 с.
10. Энергетическая безопасность России: проблемы и пути решения // Н.И. Пяткова, В.И. Рабчук, С.М. Сендеров, М.Б. Чельцов. Новосибирск. Наука. 2011. 211 с.

UDK 004.8 : 620.9

**ADAPTING CONTINGENCY MANAGEMENT METHODS TO ADDRESS THREAT
IMPACT ASSESSMENT ON THE STATE OF ENERGY SECURITY**

Liudmila V. Massel

Dr., Professor, Head of Laboratory "Information Technology in the Energy Sector"

Natalia I. Pyatkova,

PhD, Head of Laboratory " Energy development from the standpoint of energy security "

Aleksey G. Massel

PhD, Senior Researcher of Laboratory "Information Technology in in the Energy Sector"

Melentiev Energy Systems Institute

Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences

Annotation. The report considers the possibility of using the methods of contingency management studies the energy security problems. Compares scheme Research Assessment Energy in terms of contingency management and the scheme of tasks, and used in this modeling techniques to assess the impact of threats on the state of energy security. The report gives the characteristics of the concept of "the situation", situational analysis and situational modeling. The report gives examples of simulated emergency situations in the energy system and the use of semantic modeling methods for the study of energy security threats.

Keywords: energy security, threats to energy security, contingency management, mathematical and semantic modeling, fuel and energy complex.

References

1. Vasiliev V.I. Intellektual'nye sistemy zashhity informacii [Intelligent systems of information protection]. M.: Mashinostroenie = Mechanical Engineering. 2012. 171 p. (in Russian)
2. Massel L.V., Massel A.G. Situacionnoe upravlenie i semanticheskoe modelirovanie v jenergetike [Contingency management and semantic modeling in the energy sector] // IV

- Mezhdunarodnaja konferencija OSTIS: trudy. Belarus', Minsk, BGUIR = IV International Conference OSTIS: Proceedings. Belarus, Minsk, BSUIR. 2015. Pp.111-116 (in Russian)
3. Massel L.V., Massel A.G. Metody i sredstva situacionnogo upravljenija v jenergetike na osnove semanticheskogo modelirovanija [Methods and tools for situational management in energy sector based on semantic modeling] // V Mezhdunarodnaja konferencija OSTIS: trudy. Belarus', Minsk, BGUIR = V International Conference OSTIS: Proceedings. Belarus, Minsk, BSUIR. 2015. Pp.199-204 (in Russian)
 4. Massel L.V., Massel A.G. Intel'lectual'nye vychislenija v issledovanijah napravlenij razvitija jenergetiki [Intelligent computing in research of energy development directions] // Izvestija Tomskogo politehnicheskogo universiteta = Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. 2012. T. 321. №5. Upravlenie, vychislitel'naja tehnika i informatika = Management, Computer Science and Informatics. Pp 135-141 (in Russian)
 5. Massel A.G., Pyatkova E.V. Intel'lectual'nye informacionnye tehnologii dlja issledovanij problem jenergeticheskoj bezopasnosti [Intelligent Information Technologies for Research of Energy Security Problems] // Seminar «Metodicheskie voprosy issledovanija bol'shijh sistem jenergetiki: trudy = Seminar "Methodological aspects of the study of large-scale power systems: proceedings. Vyp. 64. «Nadjozhnost' sistem jenergetiki: dostizhenija, problemy, perspektivy». Irkutsk. ISEM SO RAN. = Vol. 64. "The reliability of energy systems: achievements, problems, prospects". Irkutsk. MESI SB RAS. 2014. Pp 472-483 (in Russian)
 6. Pospelov D.A. Principy situacionnogo upravljenija [Principles of situational management] // Izvestija RAN SSSR. Tehnicheskaja kibernetika = Bulletin of the Academy of Sciences of the USSR. Technical cybernetics. 1971. №2. Pp. 10-17 (in Russian)
 7. Pospelov D.A. Situacionnoe upravlenie. Teorija i praktika [Situational management. Theory and practice] // M. Nauka = M. Science. 1986. 284 pp. (in Russian)
 8. Pyatkova N.I., Slavin G.B., Pyatkova E.V. Nedostatochnyj uroven' investicij v otrasljah TJeK – odna iz strategicheskijh ugroz jenergeticheskoj bezopasnosti strany [Lack of investment in on-industries Energy - one of the strategic threats to the energy security of the country] // Izvestija RAN. Jenergetika = Bulletin of Russian Academy of Sciences. Energetics. №2. 2015. Pp. 42-48 (in Russian)
 9. Jenergeticheskaja bezopasnost' Rossii [Energy security in Russia] // V.V. Bushuev, N.I. Voropaj, A.M. Mastepanov, Ju.K. Shafranik i dr. Novosibirsk. Nauka. Sib. izd. firma RAN = Novosibirsk. Science. Siberian Publishing Company of RAS, 1998. 306 p. (in Russian)
 10. Jenergeticheskaja bezopasnost' Rossii: problemy i puti reshenija [Energy Security in Russia: Problems and Solutions] // N.I. Pjat'kova, V.I. Rabchuk, S.M. Senderov, M.B. Chel'cov. Novosibirsk. Nauka = Novosibirsk. Science. 2011. 211 p. (in Russian)