

УДК 004:620.9

**ПРИМЕНЕНИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМЫ
НАУЧНОГО ОБОСНОВАНИЯ СТРАТЕГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ
ПО ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ ЭНЕРГЕТИКИ**

Массель Алексей Геннадьевич

К.т.н., с.н.с., e-mail: amassel@isem.irk.ru

Бахвалов Кирилл Сергеевич

Соискатель, e-mail: kbakhvalov@yandex.ru

Лаборатория «Информационные технологии в энергетике»,
Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева СО РАН,
664130 г. Иркутск, ул. Лермонтова 130

Аннотация. В статье описывается решение фундаментальной научной проблемы, заключающейся в разработке методов и интеллектуальных технологий для научного обоснования стратегических решений по цифровой трансформации энергетики, с учетом требований кибербезопасности, на основе концепции ситуационного управления, с применением методов машинного обучения, эволюционных вычислений, математического и семантического моделирования.

Ключевые слова: интеллектуальные технологии, цифровая трансформация энергетики, кибербезопасность, ситуационное управление, семантическое моделирование.

Цитирование: Массель А.Г., Бахвалов К.С. Применение интеллектуальных технологий для решения проблемы научного обоснования стратегических решений по цифровой трансформации энергетики // Информационные и математические технологии в науке и управлении. 2019. № 1 (13). С. 47–60. DOI: 10.25729/2413-0133-2019-1-05

Введение. Получившие в последнее время распространение концепции цифровой экономики и энергетики в РФ обуславливают необходимость решения ряда возникающих при их реализации проблем. В частности, анализ Государственной программы "Цифровая экономика" и федерального проекта "Цифровая энергетика" показывает, что в перечне рекомендуемых информационных технологий отсутствуют «Интеллектуальные технологии поддержки принятия стратегических решений по развитию цифровой энергетики» и «Технологии обеспечения кибербезопасности объектов цифровой энергетики». Разработка этих направлений необходима для решения ряда проблем, возникающих при реализации вышеуказанных концепций. Для разработки теоретических основ этих направлений предлагается интегрировать методы математического и семантического моделирования, а также методы машинного обучения, включающие аппарат глубоких нейронных сетей и эволюционные вычисления (генетические алгоритмы), для определения управляющих воздействий при реализации концепции ситуационного управления. Разработка этих направлений относится к фундаментальным научным задачам (проект поддержан грантом РФФИ №19-07-00351), что обуславливает необходимость разработки теоретических основ этих направлений.

Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева (ИСЭМ) СО РАН является одним из лидеров в области системных исследований энергетики России. Основные научные

направления ИСЭМ СО РАН: теория создания энергетических систем, комплексов и установок и управления ими; научные основы и механизмы реализации энергетической политики России и ее регионов. В рамках этих направлений выполняются: исследования систем энергетики (электроэнергетических, газо-, нефте-, нефтепродукто-снабжения, теплосиловых); энергетической безопасности России; региональных проблем энергетики; взаимосвязей энергетики и экономики; перспективных энергетических источников и систем; исследования в области прикладной математики и информатики [15]. В исследованиях систем электроэнергетики использовались искусственные нейронные сети (ИНС) и генетические алгоритмы (ГА), но они до сих пор не применялись для решения проблемы научного обоснования стратегических решений по цифровой трансформации энергетики.

В статье рассматривается предлагаемый методологический подход к решению проблемы поддержки обоснования и принятия стратегических решений по развитию энергетики, разрабатываемый в рамках проекта, поддержанного грантом РФФИ №19-07-00351. Новизна предлагаемого подхода обусловлена развитием и интеграцией методов интеллектуальной поддержки принятия решений, базирующихся на ситуационном управлении и сематическом моделировании, и реализующих их научных прототипов, разрабатываемых в коллективе, представляемом авторами.

1. Анализ современного состояния исследований в области цифровой трансформации энергетики. В исследованиях, связанных с цифровой трансформацией энергетики, можно выделить следующие направления:

- 1) умные сети (Smart Grid);
- 2) искусственные нейронные сети и генетические алгоритмы;
- 3) ситуационное управление;
- 4) семантическое моделирование;
- 5) агентные вычисления;
- 6) кибербезопасность энергетических объектов и систем.

1.1. Умные сети (Smart Grid). В последнее время широкое распространение получили концепции интеллектуальной (Smart Grid) [1–2, 4] и цифровой [18, 19] энергетики. В процессе перехода к интеллектуальным энергетическим системам (ИЭС) и решения проблем, возникающих в результате этого перехода, необходимо выделять две взаимосвязанные области – технологическая инфраструктура и информационно-телекоммуникационная инфраструктура. Современные информационные технологии, являющиеся неотъемлемой частью ИЭС, могут быть в полной мере успешно применены только в случае наличия развитой современной технологической инфраструктуры. Решения по развитию технологической инфраструктуры, безусловно, относятся к классу стратегических решений.

Как отмечается в экспертно-аналитическом докладе Центра стратегических разработок «Цифровой переход в электроэнергетике России» [21], во многих развитых странах мира реализуются сценарии, трансформирующие электроэнергетику на базе клиентоцентричных распределенных архитектур энергосистем. В этом случае подразумевается переход к новой технологической парадигме в электроэнергетике, представляющей организацию энергоснабжения в розничном секторе как экосистему производителей и потребителей энергии, которые беспрепятственно интегрируются в общую инфраструктуру и обмениваются энергией. Такой подход по аналогии

осуществляемых взаимодействий получил название «Интернет энергии» (Internet of Energy) [21].

Ряд проблем, возникающих при переходе к цифровой энергетике, рассматривающийся в источниках [4, 6], можно условно разделить на три класса: когнитивные и управленческие проблемы, связанные с отсутствием достаточного опыта использования когнитивных технологий в управление, научные и технологические ограничения, определяемые отсутствием полноценной современной технологической базы, и кадровые проблемы.

Необходимо отметить, что, с одной стороны, отмечается дефицит научных исследований и доступных прикладных технологических решений в области цифровой энергетики, а с другой, не используются в полной мере потенциал и существующие заделы научных организаций в области исследований энергетики.

1.2. Искусственные нейронные сети и генетические алгоритмы. На сегодняшний день для интеллектуальной поддержки обоснования и принятия стратегических решений в разных областях деятельности широко применяются адаптивные системы обработки информации, работающие на основе генетических и нейросетевых алгоритмов.

В контексте машинного обучения и эволюционных вычислений необходимо отметить развитие нейронных сетей и генетических алгоритмов. Сегодняшний тренд развития нейросетевых архитектур при обработке динамической информации заключается не только в увеличении количества скрытых слоев [24, 27], но и в более сложном взаимодействии между ними. Современные алгоритмы глубокого обучения совмещают принципы как градиентного, так и эволюционного поиска значений весовых коэффициентов [24, 31]. Так же при работе с глубокими нейронными сетями широкое распространение получил новый функциональный элемент нейрона, называемый блоком краткосрочной-долгосрочной памяти [26].

В настоящее время не используется интеграция методов машинного обучения и эволюционных алгоритмов в области научного обоснования стратегических решений по цифровой трансформации энергетики, отсутствуют как соответствующий инструментарий их поддержки, так и методический подход к его реализации. В связи с этим для развития методов машинного обучения и эволюционных алгоритмов, предлагается адаптация методов и бионических моделей выбора управляющих воздействий [23] в концепции ситуационного управления, предложенной для применения при научном обосновании стратегических решений по цифровой трансформации энергетики.

1.3. Ситуационное управление. Термин «ситуационное управление» сформировался в 60-е годы прошлого века. Основоположником этого направления по праву считается Д.А. Поспелов. Первоначально использовался термин «модельное управление», эта концепция активно развивалась В.Н. Пушкиным и Д.А. Поспеловым, затем возник термин «ситуационная модель». С появлением статьи Д.А. Поспелова [12] термин «ситуационное управление» вытесняет все остальные. Главным достижением этого направления в то время стала идея Д.А. Поспелова о необходимости применения в этой области методов искусственного интеллекта [13].

В настоящее время можно констатировать новый виток интереса к этому направлению, который подкрепляется как наличием более совершенной техники, так и появлением новых методов и подходов, в том числе семантического моделирования:

В настоящий момент получают распространение более прагматические трактовки ситуационного управления. В словаре терминов МЧС (2010) ситуационное управление

определяется как деятельность органов управления, при которой решения и управляющие воздействия субъекта управления основываются на анализе вариантов принятия решения с учетом: текущего состояния объекта управления, располагаемых вариантов действий и прогноза последствий принимаемых управленческих воздействий. Иногда ситуационное управление определяется как оперативное управление, осуществляемое в дополнение к стратегическому, перспективному и заключается в принятии управленческих решений по мере возникновения проблем в соответствии со складывающейся ситуацией.

Данную концепцию ситуационного управления возможно и целесообразно применить в области обоснования стратегических решений [14]. В качестве основных методов ситуационного управления рассматриваются как ситуационный анализ и ситуационное моделирование, опирающиеся на технологии семантического моделирования - онтологического, когнитивного, событийного и вероятностного (на основе Байесовских сетей доверия), так и визуальная аналитика (3D-геовизуализация).

1.4. Семантическое моделирование. Это одно из активно развиваемых в настоящее время направление искусственного интеллекта [20], в котором до последнего времени ведущим направлением было онтологическое моделирование. Коллективом, представляемым авторами, было обосновано и принято научным сообществом, что к семантическому моделированию относятся также когнитивное, событийное и вероятностное моделирование [9].

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 [17].

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. Одним из инструментов событийного моделирования может быть использован аппарат Joiner-сетей (JN) – одна из разновидностей алгебраических сетей, предложенной Л.Н. Столяровым [16]. Особенностью JN является то, что они предусматривают как графическое представление, так и описание в виде логических формул, обработку которых можно автоматизировать

Вероятностные модели на основе Байесовских сетей доверия – это графические модели вероятностных и причинно-следственных отношений в наборе переменных, которые описываются направленным ациклическим графом, вершинами которого являются переменные, а ребра показывают условные зависимости между ними. В основе этого инструмента лежит теорема Байеса. Основы инструмента графических вероятностных моделей (в частности, байесовских сетей) разрабатывались Дж. Перлом, Р.Дж. Кауэллом и др. [25].

1.5. Агентные вычисления. Агентные (многоагентные) вычисления (Agent-based computing) - вычисления с использованием агентов. В настоящее время это одно из самых развивающихся направлений, применяемых, в частности, при реализации распределённых систем искусственного интеллекта, систем сетевого управления и др. [3].

«Агент» - это метафора, используемая в агентно-ориентированных системах, являющихся результатом синтеза технологий объектно-ориентированного программирования и искусственного интеллекта. В основе концепции построения мультиагентных систем лежит понятие агента, которого можно рассматривать как некий автономно функционирующий и обладающий целенаправленным поведением программный компонент. При разработке интеллектуальных энергетических систем (ИЭС) предполагается использовать многоагентный подход как один из основных, в частности, предложено использование интеллектуальных агентов в качестве интеллектуальных компонентов ИЭС [7].

1.6. Кибербезопасность энергетических объектов и систем. Вопрос кибербезопасности критически важных энергетических систем и систем электроэнергетики, в частности, с каждым годом становится все актуальнее. Вследствие процесса «цифровизации» энергетических систем [5, 19], повсеместного использования интеллектуальных технологий, датчиков, сенсоров и Интернета в работе объектов энергетики, повысились и риски в области кибербезопасности энергетических предприятий. В работах [28, 29] выполнен анализ киберугроз и состояния в области кибербезопасности в энергетике (до 2015 г.).

Информационно-коммуникационная подсистема ЭЭС с каждым годом становится сопоставимой по сложности и уязвимости с технологической подсистемой. Несмотря на то, что «цифровизации» ЭЭС имеет очевидные преимущества, в то же время это приводит к повышенной уязвимости ЭЭС в целом и отдельных ее инфраструктур к различным видам несанкционированного злонамеренного доступа, в частности, кибератакам.

Несмотря на широкий спектр технических и организационных мер, применяемых для защиты объектов электроэнергетики от кибератак, полностью предотвратить их возникновение невозможно. Поэтому важным и необходимым свойством современной ЭЭС является ее способность противостоять кибератакам. В Совете РФ в 2013 г. состоялись парламентские слушания, посвященные проекту Концепции стратегии кибербезопасности Российской Федерации, но стратегия до сих пор не утверждена.

Системы SCADA и СМПП являются наиболее уязвимыми к кибератакам компонентами информационно-коммуникационной подсистемы, вместе с тем, от качества измерений, поступающих от этих систем, зависит качество управления физической подсистемой ИЭС. Для разработки мер по обеспечению кибербезопасности ЭЭС необходимо определить киберуязвимости рассмотренных инфраструктур с учетом их взаимозависимости, провести анализ воздействий и возможных последствий кибератак.

2. Постановка проблемы. Все вышесказанное позволяет сделать вывод, что на данном этапе остро стоит проблема научного обоснования стратегических решений по цифровой трансформации энергетики в России. Необходима разработка методов и программных средств соответствующих мировому уровню разработок, ведущихся в этой области.

С целью повышения эффективности принимаемых решений по цифровой трансформации энергетики необходима разработка комплексной методологии научного обоснования стратегических решений по цифровой трансформации энергетики, на основе адаптации и интеграции:

- концепции ситуационного управления и интеллектуальных технологий семантического моделирования (онтологического, когнитивного, событийного и вероятностного) и визуальной аналитики;
- существующих на данный момент исследований направлений развития энергетических систем и топливно-энергетического комплекса (ТЭК) в целом (математические методы, модели и программные комплексы).

В то же время, необходима разработка методов построения интеллектуальной системы поддержки принятия решений (СППР) как многоагентной интеллектуальной среды (МАИС) на основе агентных и облачных вычислений, реализация и интеграция научных прототипов основных компонентов МАИС в виде агентов-сервисов [10]. В дальнейшем необходима апробация и разработка методологии многоагентной интеллектуальной среды ее поддержки на примере конкретных энергетических задач.

Все вышесказанное определяет задачу, для решения, которой необходима разработка совокупности методов:

- развития и применения, совместно с семантическими моделями, искусственных нейронных сетей (ИНС) и генетических алгоритмов (ГА) для определения управляющих воздействий при реализации концепции ситуационного управления;
- построения интеллектуальных инструментальных средств мониторинга кибербезопасности объектов цифровой энергетики;
- интеграции информационных, математических и семантических моделей, нейронных сетей и генетических алгоритмов в рамках интеллектуальной СППР (многоагентной интеллектуальной среды);
- разработки, развития и/или адаптации интеллектуальных средств семантического моделирования, средств визуальной аналитики, средств управления знаниями и программных комплексов, реализующих математические модели, как компонентов интеллектуальной СППР;
- интеграции интеллектуальных средств и программных комплексов для обоснования стратегических решений по развитию цифровой энергетики в рамках интеллектуальной СППР (многоагентной интеллектуальной среды).

В связи с вышеизложенным можно определить основное направление решения проблемы научного обоснования стратегических решений по цифровой трансформации энергетики путем развития методического подхода к построению многоагентных систем в энергетике и его применения при разработке архитектуры интеллектуальной СППР (многоагентной интеллектуальной среды МАИС) для научного обоснования стратегических решений по развитию цифровой энергетики, интегрирующей информационные, математические и семантические модели, нейронные сети и генетические алгоритмы; реализацию компонентов ИСППР как агентов-сервисов в соответствии с предложенной архитектурой; апробацию предложенной методологии и научного прототипа многоагентной интеллектуальной среды МАИС на конкретных примерах обоснования и поддержки принятия стратегических решений по цифровой трансформации энергетики.

3. Предлагаемые подходы и методы. Решение поставленной задачи основывается на применении методов системного и ситуационного анализа, методических основ построения информационных технологий в исследованиях энергетики, методов поддержки

принятия решений, методов инженерии знаний, методов машинного обучения (ИНС и ГА), методов объектного подхода (анализ, проектирование, программирование), методов системного и прикладного программирования, методов проектирования баз данных, информационных систем и экспертных систем, а также методов семантического моделирования и ситуационного анализа и моделирования. При решении поставленной задачи предлагается использовать предложенные Д.А. Поспеловым и его учениками подходы к ситуационному управлению и построению семиотических систем, которые были развиты в работах коллектива, представляемого авторами, в частности, выполнены развитие идеи ситуационного управления применительно к стратегическому управлению в энергетике отображение идей Д.А. Поспелова на современные информационные технологии, в первую очередь, технологии семантического моделирования, для построения интеллектуальных СППР семиотического типа.

Предлагается использовать результаты исследований сотрудников лаборатории информационных технологий в энергетике ИСЭМ СО РАН для решения поставленной задачи, в частности, фрактальный подход к структурированию знаний (Л.В. Массель) [8], к построению онтологического пространства знаний в энергетике, (Ворожцова) [30]. к разработке языка ситуационного управления с использованием исчисления ситуаций (Л.В. Массель, В.Р. Кузьмин) [11].

Кроме того, будет использован методический подход к построению многоагентных систем в энергетике (Л.В. Массель, В.И. Гальперов) [7]. При реализации методов машинного обучения (ИНС и ГА) в ситуационном управлении будут применены авторские методы и бионическая модель выбора управляющих воздействий (Гергет О.М.) [23]. Будут использованы подходы, методы и математические модели, применяемые для исследований направления развития ТЭК (Пяткова Н.И.) [14]. Кроме того, при реализации проекта будут применены методы построения интеллектуальных систем поддержки коллективной экспертной деятельности, методы построения интеллектуальных СППР семиотического типа, методы построения интеллектуальной системы анализа угроз и оценки рисков нарушения информационно-технологической безопасности энергетических объектов (Массель А.Г., Гаськова Д.А.) [22]. Предлагаемые методы и подходы будут усовершенствованы и адаптированы для решения поставленной задачи, так же, как и научные прототипы инструментальных средств семантического моделирования, базовые компоненты построения многоагентных систем и базовые компоненты разработанных в ИСЭМ СО РАН интеллектуальных систем.

4. Ожидаемые результаты реализации проекта и их научная и прикладная значимость.

- Методология научного обоснования стратегических решений на основе концепции ситуационного управления, с применением технологий семантического и математического моделирования, методов машинного обучения, интегрирующих ИНС и ГА, и визуальной аналитики.
- Методы разработки и применения, совместно с семантическими моделями, бионической модели (на основе интеграции ИНС и ГА) для реализации концепции ситуационного управления.
- Классификация киберуязвимостей энергетических объектов и систем, принципы учета требований кибербезопасности и методы построения интеллектуальных

инструментальных средств мониторинга кибербезопасности объектов цифровой энергетики

- Проектирование архитектуры интеллектуальной СППР (многоагентной интеллектуальной среды МАИС) для научного обоснования стратегических решений по развитию цифровой энергетики, интегрирующей информационные, математические и семантические модели, нейронные сети и генетические алгоритмы.
- Методы интеграции информационных, математических и семантических моделей, нейронных сетей и генетических алгоритмов в рамках интеллектуальной СППР (многоагентной интеллектуальной среды МАИС).
- Методы разработки и/или адаптации интеллектуальных средств семантического моделирования, средств визуальной аналитики, средств управления знаниями и программных комплексов, реализующих математические модели, как компонентов интеллектуальной СППР (МАИС).
- Технология и методы интеграции интеллектуальных средств для обоснования стратегических решений по развитию цифровой энергетики с использованием многоагентной интеллектуальной среды (МАИС)
- Разработка (адаптация) инструментальных средств интеграции информационных, математических и семантических моделей, нейронных сетей и генетических алгоритмов, в рамках многоагентной интеллектуальной среды (МАИС); адаптация и реализация основных компонентов МАИС как агентов-сервисов.
- Апробация предложенной методологии и научного прототипа многоагентной интеллектуальной среды МАИС на конкретных примерах обоснования и поддержки принятия стратегических решений по цифровой трансформации энергетики

Заключение. В статье рассмотрена постановка задачи, предлагаемые методы и подходы для решения задачи научного обоснования стратегических решений по цифровой трансформации энергетики. Научная значимость решения проблемы научного обоснования стратегических решений по цифровой трансформации энергетики заключается в разработке новых методов и подходов к построению интеллектуальных средств обоснования и поддержки принятия стратегических решений. Прикладная значимость заключается в разработке научного прототипа интеллектуальной СППР (многоагентной интеллектуальной среды) и возможности ее применения для обоснования и поддержки принятия стратегических решений по цифровой трансформации энергетики.

Работа выполняется при частичной финансовой поддержке гранта РФФИ № 19-07-00351. Предполагается, что полученные результаты будут применены, в том числе, при выполнении проекта по госзаданию ИСЭМ СО РАН № АААА-А17-117030310444-2

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бушуев В.В. Основные положения стратегического направления развития электросетевого комплекса России // Энергетик. 2018. № 6. С. 12–14.
2. Воропай Н.И., Стенников В.А. Интегрированные интеллектуальные энергетические системы // Изв. РАН. Энергетика. 2014. №1. С. 64–78.

3. Городецкий В.И., Скобелев П.О., Бухвалов О.Л. Промышленные применения многоагентных систем: прогнозы и реалии // Труды XVIII Международной конференции. Самара: ООО «Офорт». 2016. С. 137–162.
4. Кобец Б.Б., Волкова И.О. Инновационное развитие электроэнергетики на базе концепции Smart Grid. М.: ИАЦ Энергия. 2010. 208 с.
5. Материалы 2-й отраслевой конференции «Цифровая трансформация электроэнергетики России», Москва, октябрь 2017. Режим доступа: <http://digitenergy.ru/> (дата доступа 13.11.2017)
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 Международной конференции. Евпатория. 2010. С. 192–196.
7. Массель Л.В., Гальперов В.И. Разработка многоагентных систем распределенного решения энергетических задач с использованием агентных сценариев // Известия Томского политехнического университета. 2015. Т. 326. №5. С. 45–53. Режим доступа: <http://izvestiya.tpu.ru/ru/archive/new/article.html?id=319463&journalId> (дата доступа 13.11.2017) (Scopus, ВАК)
8. Массель Л.В. Фрактальный подход к структурированию знаний и примеры его применения // Онтология проектирования. 2016. Т. 6. №2 (20). С. 149–161. DOI: 10.18287/2223-9537-2016-6-2-149-161 (ВАК)
9. Массель Л.В., Массель А.Г. Семантические технологии на основе интеграции онтологического, когнитивного и событийного моделирования // Материалы III международной научно-технической конференции «OSTIS-2013». Беларусь, Минск: БГУИР. 2013. С. 247–250.
10. Массель Л.В. Методы и интеллектуальные технологии научного обоснования стратегических решений по цифровой трансформации энергетики // Энергетическая политика. 2018. № 5. С. 30–42.
11. Массель Л.В., Кузьмин В. Р. Ситуационное исчисление как развитие семиотического подхода к построению интеллектуальной системы поддержки принятия решений // Вестник НГУ. Серия: Информационные технологии. 2017. Т. 15. № 4. С. 43–52. DOI 10.25205/1818-7900-2017-15-4-43-52 (ВАК)
12. Поспелов Д.А. Принципы ситуационного управления // Известия РАН СССР. Техническая кибернетика. 1971. №2 . С. 10–17.
13. Поспелов Д.А. Логико-лингвистические модели в системах управления. - М.: Энергия, 1981. – 231 с.
14. Пяткова Н.И., Массель Л.В., Массель А.Г. Методы ситуационного управления в исследованиях проблем энергетической безопасности // Известия Академии наук. Энергетика. №4. 2016. С. 156–163.
15. Системные исследования в энергетике: Ретроспектива научных направлений СЭИ–ИСЭМ / отв. ред. Н.И. Воропай. Новосибирск: Наука. 2010. 686 с.
16. Столяров Л.Н. Философия событийного моделирования на примере сценария энергетической катастрофы // Труды Международной конференции «Информационные

- технологии в науке, образовании, телекоммуникации и бизнесе». Украина, Гурзуф. 2010. С. 197–200.
17. Трахтенгерц Э.А. Компьютерная поддержка принятия решений. М.: СИНТЕГ. 1998. 376 с.
 18. Федеральный проект «Цифровая энергетика». Режим доступа: <http://minsvyaz.ru/uploaded/files/programma.pdf> (дата доступа 22.04.2019). С. 65–66.
 19. Филимонов А.Г. и др. Внедрение элементов цифровой экономики в электроэнергетике // Журнал «Надежность и безопасность энергетики». 2018. Т.11. №2. С. 94–102 (изд. ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет»)
 20. Хорошевский В.Ф. Семантические технологии: ожидания и тренды // Труды II Международной научно-технической конференции «Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем». Беларусь, Минск: БГУИР. 2012. С. 143–158.
 21. Экспертно-аналитический доклад «Цифровой переход в электроэнергетике России». Режим доступа: <https://www.csr.ru/issledovaniya/tsifrovoj-perehod-v-elektroenergetike-rossii/> (дата доступа 10.08.2018).
 22. Gaskova D.A., Massel A.G. Methods to analyze critical facilities in energy with regard to cyber threats // Proceedings of the Vth International workshop "Critical infrastructures: Contingency management, Intelligent, Agent-based, Cloud computing and Cyber security" (IWCI 2018). 2018. Pp. 129–135. Available at: <https://www.atlantis-pess.com/proceedings/iwci-18/> (accessed 10.08.2018) doi:10.2991/iwci-18.2018.11
 23. Gerget O.M. Bionic models for identification of biological systems // Journal of Physics // Conference Series. 2017. Vol. 803. Pp. 1–6. Available at: <https://istina.msu.ru/journals/75027/> (accessed 10.08.2018) (Scopus)
 24. Goodfellow I., Bengio Y., Courville A. Deep Learning. Book in preparation for MIT Press.
 25. Heckerman D. A Tutorial on Learning with Bayesian Networks // Technical Report MSR-TR-95-06, Microsoft Research. 1995. March. 57p
 26. Hochreiter S., Y. Bengio, P. Frasconi, and J. Schmidhuber. Gradient flow in recurrent nets: the difficulty of learning long-term dependencies. 2001.
 27. Malada H.R., Ivakhnenko A.G. Inductive Learning Algorithms for Complex Systems Modeling. CRC Press. 1994.
 28. Massel L., Massel A. Cyber security of Russia's energy infrastructure as a component of national security // Proceeding of the International Conference on Problems of Critical Infrastructures (Saint Petersburg, 25-27 June 2015). Edited by Z.A. Styczynski and N.I. Voropai. Irkutsk. Energy Systems Institute. 2015. Pp. 66–72.
 29. Massel A., Massel L. The current state of cyber security in Russia's energy systems and the proposed activities for situation improving // Proceeding of the International Conference on Problems of Critical Infrastructures (Saint Petersburg, 25-27 June 2015). Edited by Z.A. Styczynski and N.I. Voropai. Irkutsk. Energy Systems Institute. 2015. Pp. 183–189.
 30. Massel L.V., Vorozhtsova T.N. Ontological Engineering of Knowledge Space for Situational Management in Russian Energy Sector // Proceedings of the 3rd Russian-Pacific Conference on Computer Technology and Applications (RPC) (Vladivostok, Russia 18-25 August, 2018).

IEEE. 2018. Pp. 1–5. Available at: <https://ieeexplore.ieee.org/xpl/mostRecentIssue.jsp?punumber=8469127> (accessed 10.08.2018)

31. Tsoy Y.R., Spitsyn V.G. Using genetic algorithm with adaptive mutation mechanism for neural networks design and training // Optical memory and neural networks. 2004. vol. 13. no. 4. Pp. 225–232.

UDK 004:620.9

**APPLICATION OF INTELLECTUAL TECHNOLOGIES TO SOLVE THE PROBLEM OF
SCIENTIFIC SUBSTANTIATION OF STRATEGIC DECISIONS ON THE DIGITAL
TRANSFORMATION OF ENERGETICS**

Alexey G. Massel

PhD., Senior Resercher, Laboratory "Information Technology in Energetic"

Melentiev Energy Systems Institute

Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences

130, Lermontov Str., 664033, Irkutsk, Russia, e-mail: massel@isem.irk.ru

Kirill S. Bakhvalov

Graduate student, Laboratory "Information Technology in Energetic"

Melentiev Energy Systems Institute

Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences

130, Lermontov Str., 664033, Irkutsk, Russia, e-mail: kbakhvalov@yandex.ru

Abstract. The article describes the solution of the fundamental scientific problem, which consists in the development of methods and intelligent technologies for the scientific substantiation of strategic decisions on the digital transformation of energy, taking into account the requirements of cybersecurity, based on the concept of situational management, using methods of machine learning, evolutionary computing, mathematical and semantic modeling.

Keywords: intellectual technologies, digital transformation of energy, cybersecurity, situational management, semantic modeling.

References

1. Bushuev V.V. Osnovnye polozheniya strategicheskogo napravleniya razvitiya elektrosetevogo kompleksa Rossii [The main provisions of the strategic direction of development of the electric grid complex of Russia] // Energetik. 2018. vol. 6. Pp. 12–14. (in Russian)
2. Voropaj N.I., Stennikov V.A., Integrirovannye intellektual'nye energeticheskie sistemy [Integrated Intelligent Energy Systems] // Izv. RAN. Energetika = Proceedings of the Russian Academy of Sciences. Power Engineering Journal. 2014. Vol. 2. Pp. 64–78. (in Russian)
3. Gorodetsky V.I., Skobelev P.O., Bukhvalov O.L. Promyshlennye primeneniya mnogoagentnyh sistem: prognozy i realii [Industrial applications of multi-agent systems: forecasts and realities]. Trudy XVIII Mezhdunarodnoj konferencii. Samara: OOO «Ofort» =

- Proceedings of the XVIII International Conference. Samara: LLC. 2016. Pp. 137–162. (in Russian)
4. Kobec B.B., Volkova I.O., Innovacionnoe razvitie elektroenergetiki na baze koncepcii Smart Grid [Innovative development of electric power industry based on the concept of Smart Grid]. Izdatel'sko-analiticheskiy tsentr "Energiya" = Publishing and Analytical Center "Energy". 2010. 208 p. (in Russian)
 5. Materialy 2-j otraslevoj konferencii «Cifrovaya transformaciya elektroenergetiki Rossii» (Moskva, oktyabr' 2017) [Proceedings of the 2nd sectoral conference "Digital transformation of the electric power industry in Russia" (Moscow, October 2017)]. Available at: <http://digitenergy.ru/> (accessed 13.11.2017) (in Russian)
 6. Massel L.V., Arshinskiy V.L., Massel A.G., Intellektual'nye informacionnye tekhnologii podderzhki prinyatiya reshenij v issledovaniyah i obespechenii energeticheskoy bezopasnosti [Intelligent information technology decision support in research and energy security] // Intellektual'nye sistemy prinyatiya reshenij i problemy vychislitel'nogo eksperimenta: Trudy Mezhdunarodnoj konferencii = Intellectual decision-making systems and problems of computational experiment: Proceedings of the International Conference. Evpatoria. 2010. Pp. 192–196. (in Russian)
 7. Massel L.V., Galperov V.I. Razrabotka mnogoagentnyh sistem raspredelenного resheniya energeticheskikh zadach s ispol'zovaniem agentnyh scenarijev [Development of multi-agent systems of distributed solution of energy problems using agent scenarios] // Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta = News of Tomsk Polytechnic University. 2015. vol. 5. Pp. 45–53. (in Russian)
 8. Massel L.V. Fraktal'nyj podhod k strukturirovaniyu znaniy i primery ego primeneniya [Fractal approach to knowledge structuring and examples of its application] // Ontologiya proektirovaniya = Ontology of designing. 2016. vol. 6. no. 2 (20). Pp. 149–161. DOI: 10.18287 / 2223-9537-2016-6-2-149-161. (in Russian)
 9. 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] // Materialy III mezhdunarodnoj nauchno-tekhnicheskoy konferencii «OSTIS-2013» = Proceedings of the III International Scientific and Technical Conference "OSTIS-2013". Belarus, Minsk: BSUIR. 2013. Pp. 247–250. (in Russian)
 10. Massel L.V. Metody i intellektual'nye tekhnologii nauchnogo obosnovaniya strategicheskikh reshenij po cifrovoj transformacii energetiki [Methods and intellectual technologies of scientific substantiation of strategic decisions on the digital transformation of energy] // Energeticheskaya politika = Energy Policy. 2018. no 5. (in Russian)
 11. Massel L.V., Kuzmin V. R. Situacionnoe ischislenie kak razvitie semioticheskogo podhoda k postroeniyu intellektual'noj sistemy podderzhki prinyatiya reshenij [Situational calculus as the development of a semiotic approach to building an intelligent decision support system] // Vestnik NGU. Seriya: Informacionnye tekhnologii = Vestnik NSU. Series: Information Technologies. 2017. vol. 15. no 4. Pp. 43–52. DOI 10.25205 / 1818-7900-2017-15-4-43-52. (in Russian)

12. Pospelov D.A. Principy situacionnogo upravleniya [Principles of Situational Management] // Izvestiya RAN SSSR. Tekhnicheskaya kibernetika = News of the RAS of the USSR. Technical cybernetics. 1971. vol. 2. Pp. 10–17 (in Russian)
13. Pospelov D.A. Logiko-lingvisticheskie modeli v sistemah upravleniya [Logical linguistic models in control systems]. Moscow. Energiya = Energy. 1981. 231 p. (in Russian)
14. Pyatkova N.I., Massel L.V., Massel A.G. Metody situacionnogo upravleniya v issledovaniyah problem energeticheskoy bezopasnosti [Methods of situational management in the study of problems of energy security] // Izvestiya Akademii nauk. Energetika. = Proceedings of the Academy of Sciences. Energy. 2016. no.4. Pp. 156–163. (in Russian)
15. Sistemnye issledovaniya v energetike: Retrospektiva nauchnyh napravlenij SEI–ISEM [Systems Research in the Energy Sector: Retrospective of the scientific directions of the SEI – ESI Modernization of Power Systems. Edited by Z.A. Styczynski and N.I. Voropai] Novosibirsk: Nauka = Novosibirsk: Science. 2015. 686 p. (in Russian)
16. Stolyarov L.N. Filosofiya sobytijnogo modelirovaniya na primere scenariya energeticheskoy katastrofy [Philosophy of event modeling on the example of the energy disaster scenario] // Trudy Mezhdunarodnoj konferencii «Informacionnye tekhnologii v nauke, obrazovanii, telekommunikacii i biznese = Proceedings of the International Conference "Information technology in science, education, telecommunications and business". Ukraine, Gurzuf. 2010. Pp. 197–200. (in Russian)
17. Trahtengerc E.A. Komp'yuternaya podderzhka prinyatiya reshenij [Computer decision support]. Moscow. SINTEG. 1998. 376 p. (in Russian)
18. Federal'nyj proekt «Cifrovaya energetika» [The federal project "Digital Energy"]. Available at: <http://minsvyaz.ru/uploaded/files/programma.pdf> (accessed 08.07.2018) (in Russian)
19. Filimonov A.G. Vnedrenie elementov cifrovoj ekonomiki v elektroenergetike [Introduction of elements of the digital economy in the electric power industry] // Nadezhnost' i bezopasnost' energetiki = Safety & Reliability of Power Industry. 2018. vol. 11. no. 2. Pp. 94–102. (in Russian)
20. Horoshevskiy V.F. Semanticheskie tekhnologii: ozhidaniya i trendy [Semantic technologies: expectations and trends] // Trudy II Mezhdunarodnoj nauchno-tekhnicheskoy konferencii «Otkrytye semanticheskie tekhnologii proektirovaniya intellektual'nyh sistem» = Proceedings of the second international scientific and technical conference "Open semantic technologies for designing intelligent systems." Belarus, Minsk: BSUIR. 2012. Pp. 143–158. (in Russian)
21. Ekspertno-analiticheskij doklad «Cifrovoj perekhod v elektroenergetike Rossii» [Expert-analytical report "Digital transition in the power industry of Russia"]. Available at: <https://www.csr.ru/issledovaniya/tsifrovoj-perekhod-v-elektroenergetike-rossii/> (accessed 10.08.2018). (in Russian)
22. Gaskova D.A., Massel A.G. Methods to analyze critical facilities in energy with regard to cyber threats // Proceedings of the Vth International workshop "Critical infrastructures: Contingency management, Intelligent, Agent-based, Cloud computing and Cyber security" (IWCI 2018). 2018. Pp. 129–135. Available at: <https://www.atlantispress.com/proceedings/iwci-18/> (accessed 10.08.2018) doi:10.2991/iwci-18.2018.11

23. Gerget O.M. Bionic models for identification of biological systems // *Journal of Physics // Conference Series*. 2017. Vol. 803. Pp. 1–6. Available at: <https://istina.msu.ru/journals/75027/> (accessed 10.08.2018) (Scopus)
24. Goodfellow I., Bengio Y., Courville A. *Deep Learning*. Book in preparation for MIT Press.
25. Heckerman D. *A Tutorial on Learning with Bayesian Networks* // Technical Report MSR-TR-95-06, Microsoft Research. 1995. March. 57p
26. Hochreiter S., Y. Bengio, P. Frasconi, and J. Schmidhuber. Gradient flow in recurrent nets: the difficulty of learning long-term dependencies. 2001.
27. Malada H.R., Ivakhnenko A.G. *Inductive Learning Algorithms for Complex Systems Modeling*. CRC Press. 1994.
28. Massel L., Massel A. Cyber security of Russia's energy infrastructure as a component of national security // *Proceeding of the International Conference on Problems of Critical Infrastructures (Saint Petersburg, 25-27 June 2015)*. Edited by Z.A. Styczynski and N.I. Voropai. Irkutsk. Energy Systems Institute. 2015. Pp. 66–72.
29. Massel A., Massel L. The current state of cyber security in Russia's energy systems and the proposed activities for situation improving // *Proceeding of the International Conference on Problems of Critical Infrastructures (Saint Petersburg, 25-27 June 2015)*. Edited by Z.A. Styczynski and N.I. Voropai. Irkutsk. Energy Systems Institute. 2015. Pp. 183–189.
30. Massel L.V., Vorozhtsova T.N. Ontological Engineering of Knowledge Space for Situational Management in Russian Energy Sector // *Proceedings of the 3rd Russian-Pacific Conference on Computer Technology and Applications (RPC) (Vladivostok, Russia 18-25 August, 2018)*. IEEE. 2018. Pp. 1–5. Available at: <https://ieeexplore.ieee.org/xpl/mostRecentIssue.jsp?punumber=8469127> (accessed 10.08.2018)
31. Tsoy Y.R., Spitsyn V.G. Using genetic algorithm with adaptive mutation mechanism for neural networks design and training // *Optical memory and neural networks*. 2004. vol. 13. no. 4. Pp. 225–232.