

**ИНФОРМАЦИОННЫЕ И МАТЕМАТИЧЕСКИЕ
ТЕХНОЛОГИИ В НАУКЕ И УПРАВЛЕНИИ**

Научный журнал

№ 1 (27)



РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ ЖУРНАЛА

Абламейко С.В., академик НАН Беларуси, Минск, БГУ
Андрианов А.Н., д.ф.-м.н., Москва, ИПМ РАН
Аршинский Л.В., д.т.н., Иркутск, ИргУПС
Берестнева О.Г., д.т.н., Томск, ТПУ
Бухановский А.В., д.т.н., Санкт-Петербург, НИУ ИТМО
Бычков И.В., академик РАН, Иркутск, ИДСТУ СО РАН
Воеводин В.В., чл.-корр. РАН, Москва, НИВЦ МГУ
Вольфенгаген В.Э., д.т.н., Москва, МИФИ
Воропай Н.И., чл.-корр. РАН, Иркутск, ИСЭМ СО РАН
Горнов А.Ю., д.т.н., Иркутск, ИДСТУ СО РАН
Грибова В.В., д.т.н., Владивосток, ИАПУ ДВО РАН
Донской В.И., ак. Крымской АН, Симферополь, Тавр. академия им. В.И. Вернадского
Дунаев М.П., д.т.н., Иркутск, ИРНТУ
Елисеев С.В., д.т.н., Иркутск, ИргУПС
Казаков А.Л., д.ф.-м.н., Иркутск, ИДСТУ СО РАН
Карпенко А.П., д.ф.-м.н., Москва, МГТУ им. Баумана
Массель Л.В., д.т.н., Иркутск, ИСЭМ СО РАН
Москвичев В.В., д.т.н., Красноярск, СКТБ «Наука» СО РАН
Мохор В.В., д.т.н., Киев, ИПМЭ им. Г.Е. Пухова НАН Украины
Силич В.А., д.т.н., Томск, ТПУ
Смирнов С.В., д.т.н., Самара, ИПУСС РАН
Федотов А.М., чл.-корр. РАН, Новосибирск, ИВТ СО РАН
Хамисов О.В., д.ф.-м.н., Иркутск, ИСЭМ СО РАН
Чубаров Л.Б., д.ф.-м.н., Новосибирск, ИВТ СО РАН
Юсупова Н.И., д.т.н., Уфа, УГАТУ

ИСПОЛНИТЕЛЬНАЯ РЕДАКЦИЯ ЖУРНАЛА

Массель Л.В., д.т.н., Иркутск, ИСЭМ СО РАН – главный редактор
Макагонова Н.Н., к.т.н., Иркутск, ИСЭМ СО РАН – выпускающий редактор
Курганская О.В., к.т.н., Иркутск, ИСЭМ СО РАН – редактор
Массель А.Г., к.т.н., Иркутск, ИСЭМ СО РАН – редактор
Иванов Р.А., к.т.н., Иркутск, ИСЭМ СО РАН – дизайнер

Рабочие контакты

Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева СО РАН
664033 г. Иркутск, ул. Лермонтова, 130
Тел: (3952) 42-47-00 Факс: (3952) 42-67-96

Раб. тел.: 8 (3952) 500-646 доп. 441

Массель Л.В.,
e-mail: massel@isem.irk.ru

Раб. тел.: 8 (3952) 500-646 доп. 440

Макагонова Н.Н.,
e-mail: mak@isem.irk.ru

Сайт журнала и конференции ИМТ - <http://imt.isem.irk.ru>

Отпечатано в полиграфическом участке ИСЭМ СО РАН © Все права принадлежат авторам публикуемых статей.

Подписано в печать 26.01.2016 г. Тираж 100 экз.

© Издательство ИСЭМ СО РАН

ПРЕДИСЛОВИЕ РЕДАКТОРА	5
Массель Л.В. Проблемы создания интеллектуальных систем семиотического типа для стратегического ситуационного управления в критических инфраструктурах	7
Массель Л.В., Пяткова Н.И., Массель А.Г. Адаптация методов ситуационного управления для решения задач оценки влияния угроз на состояние энергетической безопасности	28
Ворожцова Т.Н. Моделирование ситуаций в задачах ситуационного управления в энергетике	39
Еремченко Е.Н. Концепция знака в контексте неогеографии	49
Еделев А.В., Сендеров С.М., Сидоров И.А. Применение распределённых вычислений для выявления критически важных объектов газотранспортной сети России	55
Городняя Л.В. О парадигме параллельного программирования	63
Ходашинский И.А., Анфилофьев А.Е., Бардамова М.Б., Ковалев В.С., Мех М.А., Сонич О.К. Метаэвристические методы оптимизации параметров нечетких классификаторов	73
Ходашинский И.А., Горбунов И.В., Сарин К.С., Субханкулова С.Р. Алгоритмы структурной идентификации компактных и точных нечетких систем	81
Марков А.С., Рауткин Ю.В. Сертификация средств защиты информации по требованиям безопасности информации. Новая парадигма	94
Колосок И.Н., Гурина Л.А. Снижение показателя уязвимости системы SCADA к кибератакам методами обнаружения ошибочных измерений при оценивании состояния ЭЭС	103
Гаськова Д.А., Массель А.Г. Разработка экспертной системы для анализа угроз кибербезопасности в энергетических системах	116
Скрипкин С.К. Концептуальное моделирование энергетических систем на основе интеграции агентно-базированных платформ	127
Информационное письмо о Всероссийской Байкальской конференции «Информационные и математические технологии в науке и управлении»	134

	Content
EDITOR'S FOREWORD	5
Liudmila V. Massel Creation problems of intelligent systems of semiotic type for strategic contingency management in critical infrastructures	7
Liudmila V. Massel, Natalia I. Pyatkova, Aleksey G. Massel Adapting contingency management methods to address threat impact assessment on the state of energy security	28
Tatiana N. Vorozhtsova Situations modeling in the problems of contingency management in the energy sector	39
Eugene N. Eremchenko Conception of sign in the neogeography context	49
Alexey V. Edelev, Sergey M. Senderov, Ivan A. Sidorov The application of distributed computations to search for critical facilities in the gas transport networks of Russia	55
Lidia V. Gorodnyaya On the parallel programming paradigm	63
Ilya A. Hodashinsky, Alexander E. Anfilofiev, Marina B. Bardamova, Vitaly S. Kovalev, Maksim A. Mekh, Olga K. Sonich Metaheuristics for parameters optimization of fuzzy classifiers	73
Ilya A. Hodashinsky, Ivan V. Gorbunov, Konstantin S. Sarin, Sofiya R. Subkhankulova Structural identification of compact and accurate fuzzy systems	81
Alexey S. Markov, Yuriy V. Rautkin Information security tools certification. New paradigm	94
Irina N. Kolosok, Liudmila A. Gurina Decline the index vulnerability to cyber attacks of SCADA system by using bad data detection at state estimation EPS	103
Daria A. Gaskova Aleksey G. Massel Development of expert system for cybersecurity threats analysis in the energy systems	113
Sergei K. Skripkin Conceptual modeling of energy systems through the integration of agent-based platforms	123
Call for papers of Russian Baikal conference "Information and mathematical technologies in science and management"	134

ПРЕДИСЛОВИЕ РЕДАКТОРА

Уважаемые читатели и участники традиционной Байкальской Всероссийской с конференции «Информационные и математические технологии в науке и управлении»!

Вашему вниманию предлагается первый выпуск одноименного научного периодического издания. Начиная с 2016 г., Труды конференции, которые последние десять лет издавались в 2-х – 3-х томах к началу конференции, будут издаваться четыре раза в год как периодическое издание, которому присвоен международный индекс ISSN.

Информация для тех, кто присоединяется к нам в этом году. Наша конференция проводится с 1993 г., начиная с 1998 г. – ежегодно, с 2001 г. – при поддержке РФФИ. Конференция начиналась как семинар «Информационные технологии в энергетике», базовая организация – Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева СО РАН (г. Иркутск). Члены оргкомитета конференции работают преимущественно в этом институте, в лаборатории «Информационные технологии в энергетике», и мы всегда благодарны нашему институту за многолетнюю поддержку.

Характер конференции – междисциплинарный. В конференции традиционно принимают участие до 200 человек из разных городов нашей страны, от Владивостока до Санкт-Петербурга, и из других стран.

Члены программного комитета конференции являются членами редколлегии нашего издания, его тематика совпадает с тематикой конференции. Информационное письмо о XXI Байкальской Всероссийской с международным участием конференции «Информационные и математические технологии в науке и управлении» приводится в приложении, как и информация о некоторых других родственных конференциях.

Первый выпуск открывается программной статьей организаторов конференции. Мы сознательно пошли на некоторое нарушение формата научной статьи, чтобы охарактеризовать то научное направление, в котором последнее время работают организаторы конференции. В статье представлено, с одной стороны, содержание нашего нового проекта, поддержанного РФФИ: «Методология построения интеллектуальных систем семиотического типа для стратегического ситуационного управления в критических инфраструктурах», а с другой, в разделе «Предпосылки выполнения проекта», представлены результаты нашего коллектива за последние годы. Статья подготовлена руководителем коллектива, неизменным председателем оргкомитета и председателем-координатором программного комитета конференции – Л.В. Массель.

Следующая статья, Н.И. Пятковой с соавторами, раскрывает и конкретизирует некоторые детали проекта на примере исследований проблемы энергетической безопасности. В статье Т.Н. Ворожцовой, также связанной с темой проекта, рассматривается онтологическое моделирование ситуаций – одного из ключевых понятий ситуационного управления.

В статье Е.Н. Еремченко рассматриваются семиотические аспекты в контексте нееогеографии – нового направления геоинформационной аналитики, основанного на 3D-геовизуализации. Автор считает, что в ситуационной осведомленности большую роль играет интеграция как знакового, так и «беззнакового» способов передачи информации и предлагает для обозначения последнего ввести в семиотику, по аналогии с математикой, новое понятие – «нулевой знак». Авторы проекта, благодаря давнему сотрудничеству с Е.Н. Еремченко, активно и плодотворно используют понятия ситуационной осведомленности и 3D-геовизуализации при решении геопространственных задач в энергетике.

Статья А.В. Еделева с соавторами посвящена одной из важных проблем критических инфраструктур – определению критически важных объектов одной из систем энергетики (газоснабжающей) – предлагаются критерии выбора и методика выделения таких объектов с использованием распределенных вычислений.

Затронутая в предыдущей статье тема параллельной обработки данных детально раскрывается в статье Городней Л.В. «О парадигме параллельного программирования». Автор предлагает начинать обучение программированию именно с параллельного программирования и в статье обосновывает свою точку зрения.

Следующие две статьи, И.А. Ходашинского с соавторами, посвящены эволюционным алгоритмам: рассматриваются нечеткие системы, алгоритмы их структурной идентификации, метаэвристические методы оптимизации параметров нечетких классификаторов. Результаты, представленные в статьях, получены при поддержке гранта РФФИ.

Очередные три статьи посвящены проблеме кибербезопасности. В статье Маркова А.С. и Рауткина Ю.В. обосновывается необходимость новой парадигмы сертификации программно-аппаратных изделий в защищенном исполнении, основанной на риск-ориентированном подходе, альтернативном принятому, директивному подходу к сертификации средств защиты информации. В статье И.Н. Колосок и Л.А. Гуриной вводится показатель уязвимости к кибератакам системы телеизмерений электроэнергетических систем (ЭЭС) и рассматриваются возможности его уменьшения при оценке состояний ЭЭС. Статья Гаськовой Д.А. и Масселя А.Г. посвящена разработке экспертной системы «Cyber», реализующей предложенную последним методику анализа угроз и оценки рисков нарушения информационно-технологической безопасности энергетических комплексов.

Завершает выпуск статья С.К. Скрипкина, в которой рассматриваются подходы к концептуальному моделированию энергетических систем на основе интеграции агентно-ориентированных платформ. Автор рассматривает семиотические аспекты агентных технологий, вводит классификацию агентов, анализирует некоторые предметные области, использующие агентные технологии, рассматривает понятие агентных платформ и приводит примеры их применения.

Таким образом, опубликованные статьи затрагивают основные рубрики тематики нашей конференции, и, надеемся, будут интересны нашим читателям. Полные тексты всех статей, в соответствии с соглашениями, подписанными авторами при регистрации на сайте конференции <http://imt.isem.irk.ru>, помещаются в E-Library и индексируются в РИНЦ.

Всех наших будущих авторов просим обращать внимание на сроки подачи статей и требования к их оформлению (смотрите на сайте конференции), отличающиеся от требований к статьям в сборниках предыдущих лет.

Первый выпуск выходит в январе 2016 г., и эти сроки пишутся в первые дни наступившего года. Мне хочется закончить это предисловие цитатой из поздравления наших самарских коллег, чей журнал «Онтология проектирования» в декабре 2015 г. вошел в перечень ВАК: «Наше общее дело осветили первые лучи надежды и успеха. Пусть в Новом году согреть его солнце удачи!» И пожелать, как коллеги из Москвы: «Пусть в Новом году в Вашей жизни сложными будут только пароли!»

До новой встречи на Байкале в июле 2016-го!

Л.В. Массель

**ПРОБЛЕМЫ СОЗДАНИЯ
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ СЕМИОТИЧЕСКОГО ТИПА
ДЛЯ СТРАТЕГИЧЕСКОГО СИТУАЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ
В КРИТИЧЕСКИХ ИНФРАСТРУКТУРАХ**

Массель Людмила Васильевна

Д.т.н., профессор, главный научный сотрудник,
зав. лабораторией «Информационные технологии»,
Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева СО РАН,
664130 г. Иркутск, ул. Лермонтова 130, e-mail: massel@isem.irk.ru

Аннотация. В статье рассматривается подход к разработке интеллектуальных систем семиотического типа для стратегического ситуационного управления в критических инфраструктурах (на примере энергетики). Формулируются цель и задачи проекта, предлагаемые методы, описывается современное состояние исследований в этой области, ожидаемые научные результаты и предпосылки выполнения проекта (работы, выполненные под руководством автора в этом направлении). Приведена обширная библиография.

Ключевые слова: критические инфраструктуры, интеллектуальные системы, ситуационное управление, семиотический подход, семантическое моделирование, интеллектуальные энергетические системы.

Введение. Проект направлен, с одной стороны, на развитие методов исследования критических инфраструктур, с другой - на разработку методологии построения интеллектуальных систем семиотического типа (ИССТ) для стратегического ситуационного управления развитием критических инфраструктур на примере одной из наиболее важных - энергетической инфраструктуры. Методология является результатом обобщения разрабатываемых методов ситуационного управления, ситуационного исчисления и методов построения ИССТ. Предлагается современная трактовка идей ситуационного управления и семиотических систем, сформулированных в 70-х - 80-х гг. прошлого века Д.А. Поспеловым и его учениками, с учетом возможностей современных информационных технологий, применительно к задачам поддержки принятия стратегических решений по развитию критических инфраструктур (на примере энергетики). В качестве основных методов ситуационного управления рассматриваются ситуационный анализ и ситуационное моделирование, опирающиеся на разрабатываемые авторским коллективом технологии семантического моделирования - онтологического, когнитивного, событийного, вероятностного (на основе Байесовских сетей доверия) и визуальной аналитики (3D-геовизуализации). Для реализации ИССТ предусмотрено введение правил изменения элементов формальной модели, описывающих синтаксис, семантику и прагматику разрабатываемой системы. В качестве инструмента для описания знаний и интеграции семантических технологий (реализующих их инструментальных средств) предлагается язык ситуационного управления (Contingency Management Language – CML). CML разрабатывается на основе авторского фрактального подхода и ситуационного исчисления и

реализуется в рамках советуемой экспертной системы, входящей в состав ИССТ. Предполагается разработка способов реализации ИССТ на основе интеллектуальных, агентных и облачных вычислений, реализация научно -исследовательского прототипа ИССТ, разработка технологии ее применения и апробация на примере стратегических задач развития энергетической инфраструктуры России.

1. Актуальность проекта определяется несколькими факторами. Одним из них является необходимость интенсификации исследований критических инфраструктур в России, к которым относится энергетическая инфраструктура. Другим важным фактором является распространение в России концепции интеллектуальных энергетических систем (Smart Power Grid) [4]. Взгляд автора на эту проблему с точки зрения информационно-телекоммуникационных технологий изложен, в частности, в [39]. Тенденция повышения интеллектуальности и компьютеризации энергетических систем увеличивает опасности киберугроз и требует их совместного рассмотрения с другими угрозами энергетической безопасности [12]. Следующим фактором, определяющим актуальность проекта, является необходимость разработки как новых методических подходов к созданию интеллектуальных систем ситуационного управления, в частности, для поддержки и обоснования решений по стратегическому развитию энергетики, так и способов их реализации с использованием современных информационных технологий. Предполагается, что результаты проекта будут серьезным научным вкладом в развитие методов исследований критически важных инфраструктур, а также в развитие, на примере энергетики, методов ситуационного управления, основанных на современных интеллектуальных технологиях, и в развитие семиотического подхода к построению интеллектуальных систем в рамках этого направления.

2. Цель и задачи проекта. Основной целью проекта является разработка методологии построения интеллектуальных систем ситуационного управления для поддержки принятия стратегических решений по развитию критических инфраструктур (на примере энергетики), основанных на применении семиотического подхода, ситуационного исчисления, семантического моделирования и визуальной аналитики (3D-геовизуализации).

Основные задачи проекта:

- 2.1. Анализ методов исследований критических инфраструктур, подходов к выявлению ключевых объектов (или их совокупности), воздействие на которые может оказать наиболее негативный эффект на отрасль экономики, ключевой ресурс или всю инфраструктуру, а также в оценке последствий подобного воздействия и разработке механизмов снижения таких рисков.
- 2.2. Современная трактовка идей ситуационного управления и семиотических систем, сформулированных в 70-х -80-х гг. прошлого века Д.А. Поспеловым и его учениками, с учетом возможностей современных информационных технологий, применительно к задачам поддержки принятия стратегических решений по развитию критических инфраструктур (на примере энергетики).
- 2.3. Анализ и классификация критически важных объектов энергетической инфраструктуры, угроз энергетической безопасности, критических ситуаций, учитываемых при разработке стратегии развития энергетики России, и мероприятий по предотвращению этих ситуаций.

- 2.4. Развитие методов ситуационного анализа и моделирования, как основных методов ситуационного управления в энергетике, на основе семантического моделирования (онтологического, когнитивного, событийного и вероятностного (на основе Байесовских сетей доверия)) и визуальной аналитики (3D-геовизуализации).
- 2.5. Исследование методов и онтологии ситуационного исчисления и возможностей их применения в интеллектуальных энергетических системах для разработки языка ситуационного управления, адаптация и развитие этих методов; разработка языка ситуационного управления в критических ситуациях в энергетике (Contingency Management Language – CML) с использованием фрактального подхода и ситуационного исчисления.
- 2.6. Разработка методов построения интеллектуальных систем стратегического ситуационного управления в критических инфраструктурах, основанных на применении семиотического подхода, ситуационного исчисления, семантического моделирования и визуальной аналитики (3D-геовизуализации).
- 2.7. Разработка архитектуры и способов реализации интеллектуальной системы семиотического типа для стратегического ситуационного управления в энергетике на основе интеллектуальных, агентных и облачных вычислений.
- 2.8. Реализация научного прототипа интеллектуальной системы семиотического типа для стратегического ситуационного управления в энергетике: с одной стороны, как платформы семантического моделирования взаимосвязей критически важных объектов, критических ситуаций в энергетике России и их возможного развития; с другой, как системы поддержки принятия стратегических решений в энергетике.
- 2.9. Разработка технологии применения и апробация семиотической интеллектуальной системы для ситуационного управления стратегическим развитием энергетической инфраструктуры.

3. Предлагаемые методы и подходы. Проект основывается на применении методов исследований критических инфраструктур, методических основ построения информационных технологий в исследованиях энергетики, методов поддержки принятия решений, методов инженерии знаний, методов объектного подхода (анализ, проектирование, программирование), методов системного и прикладного программирования, методов проектирования баз данных, информационных систем и экспертных систем, а также авторских методов семантического моделирования и ситуационного управления. При выполнении проекта авторы опираются на предложенные Д.А. Пospelовым и его учениками подходы к ситуационному управлению и построению семиотических систем [27]. Используется выполненное авторами отображение идей Пospelова на современные информационные технологии, в частности, технологии семантического моделирования, и авторская интерпретация идеи ситуационного управления применительно к стратегическому управлению в энергетике [15]. Предлагается использовать авторский фрактальный подход к структурированию знаний, построению онтологического пространства знаний в энергетике и разработке языка ситуационного управления [17]. Предполагаются развитие и адаптация к теме проекта методов ситуационного исчисления, а также разработка и развитие авторских методов построения онтологического пространства знаний в области энергетики; методов семантического моделирования в энергетике, основанных на использовании онтологического, когнитивного, событийного и вероятностного моделирования; методов

разработки программных и информационных компонентов интеллектуальной системы семиотического типа на основе агентных и облачных технологий; методов 3D-геовизуализации и методов визуальной аналитики с элементами когнитивной графики.

4. Современное состояние исследований в данной области науки.

4.1. Исследования критических инфраструктур являются достаточно молодым направлением, но становятся приоритетными во многих странах мира, и в первую очередь в США [5]. Актуальность этих исследований усугубляется угрозами кибернетической безопасности. К критическим инфраструктурам относят энергетику, транспорт, службы по чрезвычайным ситуациям, банковский и финансовый, телекоммуникационный сектора экономики и другие жизненно важные ресурсы. В исследованиях критических инфраструктуру большое внимание уделяется выявлению ключевых объектов (или их совокупности), воздействие на которые может оказать наиболее негативный эффект на отрасль экономики, ключевой ресурс или всю инфраструктуру, а также в оценке последствий подобного воздействия и разработке механизмов снижения таких рисков. Под энергетической инфраструктурой, которую относят к критически важным инфраструктурам, понимают совокупность энергетических объектов и систем энергетики, включая энергетические транспортные магистрали. В последнее десятилетие за рубежом активно обсуждается и развивается концепция Smart Grid или, в переводе на русский, «интеллектуальных энергетических систем - ИЭС» [4]. В России также анонсирована необходимость организации работ по развитию «умных энергосистем» и ведутся соответствующие исследования. Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева СО РАН (ИСЭМ СО РАН) является одним из лидеров в этой области исследований. Наряду с применением в ИЭС уже ставших традиционными методов искусственного интеллекта (нейронные сети, генетические алгоритмы, нечеткая логика), все большее внимание энергетиков привлекают так называемые «системы с целеполаганием». Это интеллектуальные системы управления, которые имеют несколько целей функционирования (или умеют генерировать эти цели), выбирая самую подходящую цель в зависимости от окружающей среды, умеют прогнозировать поведение окружающей среды и свое собственное состояние. Пока такие системы в энергетике отсутствуют. В настоящее время все большее внимание привлекают задачи управления сложными динамическими объектами. К ним относятся как современные летательные аппараты, мобильные роботы и др., так и силовые и энергетические установки. Отмечается, что для таких объектов характерны отсутствие точных математических моделей либо их чрезмерная сложность, высокая размерность пространства состояний и принимаемых решений по управлению, иерархичность, многообразие критериев качества, высокий уровень шумов и внешних возмущений. Авторы проекта считают, что для систем с неполной информацией и высокой сложностью объекта управления все более актуальным является применение методов ситуационного управления, основанных на интеллектуальных технологиях, и развитие семиотического подхода к построению интеллектуальных систем в рамках этого направления.

4.2. Ситуационное управление. Термин «ситуационное управление» сформировался в 60-е годы прошлого века. Основоположником этого направления по праву считается Д.А. Поспелов. Вклад в формирование нового направления внесли ученики Д.А. Поспелова: Железов Ж.Й., развивавший теорию дискретных ситуационных сетей и Клыкков Ю.И.,

разработавший язык синтагматических цепей – специальный язык моделирования для описания ситуаций и принятия решений в ситуационном управлении, опиравшийся на предложенный Д.А. Поспеловым и сейчас незаслуженно забытый язык RX-кодов, который, по сути, является прообразом онтологий. Наиболее полно итоги этого направления и исторический очерк его развития в 1960-х -1980-х гг. приведены в книге [27]. За рубежом подходы к ситуационному управлению ограничиваются в основном SWOT-анализом (выявление сильных (Strengths), слабых (Weaknesses) сторон, возможностей (Opportunities) и угроз (Threats)) и применяются преимущественно при решении экономических задач (С. О’Доннел, Г. Кунц и др.) Авторы используют современную трактовку ситуационного управления, которая рассматривается, в частности, в работах башкирских ученых [1] и др., в которых вводятся понятия текущей и целевой ситуаций и набора управляющих воздействий, позволяющих перейти от текущей ситуации к целевой. Этот подход хорошо интерпретируется на примере энергетических задач и позволяет разработать, на его основе, концепцию построения интеллектуальных динамических управляющих систем в энергетике. Автором в предыдущих работах была выполнена интерпретация идей Д.А. Поспелова на современные информационные технологии [15]. Предложено рассматривать в качестве основных методов ситуационного управления ситуационный анализ и ситуационное моделирование, которые выполняются с использованием технологий семантического моделирования [41]. Акцент делается на ситуационном управлении в экстремальных ситуациях в энергетике [14].

4.3. Технологии семантического моделирования. В общем виде под семантическим моделированием понимается информационное моделирование, основанное на выделении основных концептов (понятий) предметной области и связей между ними. Таким образом, к семантическим моделям могут быть отнесены как онтологии, так и семантические сети и инфологические ER-модели [8]. Наиболее активно эти технологии обсуждаются в рамках Международных конференций OSTIS (Open Semantic Technologies for Intelligent Systems), которая регулярно проводится в Белоруссии, членами программного комитета этой конференции являются ведущие российские и зарубежные ученые (Кузнецов О.П., Хорошевский В.Ф., Гаврилова Т.А., Тарасов В.Б. и др.). На этих конференциях, как правило, широко представлены работы как белорусских и украинских, так и ведущих российских школ, в т.ч. Московская школа (Хорошевский В.Ф., Кузнецов О.П., Петровский А.Б., Тарасов В.Б. и др.), Санкт-Петербургская (Т.А. Гаврилова и др.), Самарская (Смирнов С.В., Боргест Н.М.), Дальневосточная (Клещев А.С., Грибова В.В. и др.), Сибирские школы (Загорулько Ю.А., Массель Л.В. и др.). Онтологическое моделирование в настоящее время является одной из ведущих семантических технологий. В работах автора, начиная с 2013 г., обосновывается (и признано научным сообществом) отнесение к семантическим технологиям когнитивного, событийного и вероятностного (на основе Байесовских сетей доверия) моделирования, методы и средства которого активно разрабатываются коллективом, возглавляемым автором [13].

4.3.1. Онтологическое моделирование. Под онтологическим моделированием понимается, согласно Гуарино, «спецификация концептуализации», т.е. выявление основных понятий (концептов) предметной области и связей между ними и их описание (представление в графическом виде или на одном из специальных языков: XML, RDF, OWL и др.). Вопросы онтологического моделирования рассматривались в работах Т. Грубера

(Gruber T), Н. Гуарино (Guarino N.) и др., в нашей стране - Гавриловой Т.А., Загорулько Ю.А., Калининченко Л.А., Когаловского М.Р., Серебрякова В.А., Тузовского В.Ф., Хорошевского В.Ф., Ямпольского В.З. и др. Известна посвященная этим вопросам конференция ЗОНТ (Знания-Онтологии-Теория), которая регулярно (раз в два года) проводится в Новосибирске, до последнего времени – под руководством Н.Г. Загоруйко, в 2015 г. конференция прошла под руководством Пальчунова Д.Е. Работы, выполненные под руководством автора в этой области были представлены, в частности, на этой конференции [18-19].

4.3.2. Когнитивное моделирование. Под когнитивным моделированием понимается построение когнитивных моделей, или, иначе, когнитивных карт (ориентированных графов), в которых вершины соответствуют факторам (концептам), а дуги – связям между факторами (положительным или отрицательным), в зависимости от характера причинно-следственного отношения. Математическим аппаратом для построения когнитивных моделей является теория графов. Основы когнитивного моделирования были разработаны в свое время Ван Хао (1956 г.), Р. Аксельродом (1976 г.), Д.А. Пospelовым (1981 г.). Это направление получило свое развитие в работах Э.А.Трахтенгерца [32], в настоящее время активно развивается в Институте проблем управления РАН (Абрамова Н.А., Кульба В.В., Кулинич А.А., Максимов В.И. и др.) для анализа влияний при управлении слабоструктурированными ситуациями.

4.3.3. Событийное моделирование. 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. В качестве инструмента событийного моделирования используется аппарат Joiner-сетей (JN) – одной из разновидностей алгебраических сетей, предложенной Л.Н. Столяровым [31]. Особенностью JN является то, что они предусматривают как графическое представление, так и описание в виде логических формул, обработку которых можно автоматизировать. Работы, выполненные под руководством автора в области когнитивного и событийного моделирования, отражены, в частности, в [9], [40].

4.3.4. Вероятностное моделирование на основе Байесовских сетей доверия. Байесовские сети 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. В России этот аппарат рассматривался В.И. Городецким, А.Л. Тулупьевым и др. Работы, выполненные под руководством автора, описаны, в частности, в [10].

4.4. Семиотический подход к построению интеллектуальных систем. Основы семиотического подхода к построению интеллектуальных систем для управления техническими системами в нашей стране также заложены в работах Д.А. Пospelова. Семиотика - это наука, исследующая свойства знаков, знаковых и символьных систем, используемых в процессе коммуникации. В настоящее время в мире она активно

развивается. В 2014 г. авторы участвовали в 12-м Всемирном конгрессе по семиотике (Болгария, София), в котором принимали участие более 600 человек [45]. Рассматривались всевозможные приложения семиотики в самых различных предметных областях. В областях, близких к информатике, это искусственные языки, процессы обработки информации (например, языки программирования, языки для индексирования документов, записи научно-технических фактов и знаний), алгоритмы, обеспечивающие обработку текстов на естественном языке (машинный перевод, автоматическое индексирование и реферирование, перевод с естественного языка на формальный язык), составления картографических изображений, специальных схем и планов др. Ведущими учеными-семиотиками (А. Соломоник, (Израиль), А. Володченко (Германия), К. Банков (Болгария) и др.) отмечалось недостаточное распространение семиотики в технических областях, а точнее, практическое отсутствие таких работ. Поспеловым было введено определение семиотической модели [27], которое потом было детализировано Г.С. Осиповым [26]. Согласно последнему, семиотическую модель можно определить как восьмерку:

$$W = \langle T, R, A, P, \tau, \rho, \alpha, \pi \rangle, \text{ где}$$

T - множество основных символов;

R - множество синтаксических правил;

A - множество знаний о предметной области;

P - множество правил вывода решений (прагматических правил);

τ - правила изменения множества T ;

ρ - правила изменения множества R ;

α - правила изменения множества A ;

π - правила изменения множества P .

Иначе говоря, в отличие от формальных моделей, в которых элементы, образующие множество T , обладают жестким синтаксисом, жесткой семантикой и жесткой прагматикой, в семиотической модели все эти свойства элементов множества T становятся доступными для изменения; именно такой особенностью обладают знаки – элементы знаковых, или семиотических систем, изучаемых в семиотике. Такие системы тесно связаны со всей человеческой деятельностью, именно изменчивость и условность знаков делают эту деятельность эффективной.

Следует отметить, что семиотический подход в нашей стране развивается, в частности, в работах Осипова Г.С. [26], Вагина В.Н., Еремеева А.П. (интеллектуальные системы реального времени семиотического типа), Кулинича А.А. (семиотическая модель когнитивного опыта) и др. Перечисленные работы носят преимущественно теоретический характер, сведений о развитии этого подхода в области энергетики и применительно к системам ситуационного управления найти не удалось.

4.5. Ситуационное исчисление. Назначение ситуационного исчисления (situational calculus) – формализация ситуаций, действий и причинно-следственных связей между ними для некоторых систем. Более строго ситуационное исчисление рассматривается как логический язык, содержащий ряд разделов. Развитием ситуационного исчисления для моделирования динамического поведения различных сред занимались исследователи в различных странах. Само понятие было введено Дж. Маккарти в 1963 г. [43] (первая его статья, посвященная этим вопросам, датируется 1959 г.). Вклад в развитие этого направления

внесли Р. Рейтер, Р. Миллер и М. Шенехен (исчисление событий), М. Тильшер (исчисление флюент и исчисление действий), Е. Педнаулт [46]. Онтология ситуационного исчисления и его основные положения рассматриваются в [29]. Не удалось найти ссылок на работы в России, связанные с попытками применения ситуационного исчисления в области ситуационного управления, хотя имеются отдельные работы в других областях (например, проект И.В. Трофимова в области планирования параллельных вычислений (ИПС РАН)). Авторами предлагается интеграция методов ситуационного управления, основанных на применении семиотического подхода, семантического моделирования и ситуационного исчисления для разработки интеллектуальных систем семиотического типа в энергетике. Обязательными компонентами такой интеллектуальной системы являются компоненты, реализующие методы визуальной аналитики.

4.6. Визуальная аналитика. Согласно классификации, приведенной в [33], методы визуальной аналитики, разрабатываемые в коллективе, возглавляемом автором, лежат в области научной аналитики, информационной и геоинформационной аналитики. Эти методы базируются на ситуационной осведомленности [34], [36], 3D-геовизуализации (за рубежом и в России часто используется термин «неогеография» [3], [35] и когнитивной графике [2]. Работы авторского коллектива в этой области описаны, в частности, в [11], [20].

4.7. Агентные вычисления. Реализация будущей системы базируется на агентных и облачных вычислениях (реализации основных компонентов в виде агентов-сервисов). Агентные (многоагентные) вычисления (agent-based computing) - вычисления с использованием агентов - один из современных развивающихся подходов, применяемый, в частности, при реализации распределенных систем искусственного интеллекта, систем сетевого управления и др. «Агент» - это метафора, используемая в агентно-ориентированных системах, являющихся результатом синтеза технологий объектно-ориентированного программирования и искусственного интеллекта [30]. В основе концепции построения мультиагентных систем лежит понятие агента, которого можно рассматривать как некий автономно функционирующий и обладающий целенаправленным поведением программный компонент. В интеллектуальных энергетических системах декларируется многоагентный подход, но практически отсутствуют как методические разработки в области его применения в энергетике, так и их реализации. В этой области под руководством автора разработан многоагентный программный комплекс ИНТЭК-М (результаты отражены, в частности, в [47]) и разрабатывается мультиагентная система для оценивания состояний электроэнергетических систем (ЭЭС) [21-22].

4.8. Облачные вычисления (Cloud computing) – технология распределенной обработки данных, в которой компьютерные ресурсы и мощности предоставляются пользователю как Интернет-сервис. В основе облачных вычислений лежит сервис-ориентированная архитектура (SOA). В настоящее время это направление активно развивается, декларируется возможность использования этой концепции и, в частности, SAAS (Software as a Service) как одной из составляющих интеллектуальной управляющей структуры энергетических систем. В то же время отмечается, что эффективное применение подобных интеллектуальных управляющих систем возможно только в соответствующих технологических инфраструктурах, требованиям которых реальные инфраструктуры отечественной энергетики пока не вполне соответствуют. Из соображений кибербезопасности авторы считают целесообразным ориентироваться на отечественные

платформы, например, разработки дальневосточных коллег (Грибова В.В. и др.), или платформу Clavire (научная школа А.В. Бухановского, Санкт-Петербург, ИТМО). Авторам не удалось найти информацию в научной прессе и Интернет о попытках комплексного применения предлагаемых подходов при разработке динамических интеллектуальных систем в энергетике.

Учитывая специфику Российской энергетики, обусловленную как организационными отличиями, так и масштабами и пространственной распределенностью энергетических систем, не представляется возможным использовать зарубежные разработки. Более того, за рубежом не ставятся аналогичные задачи в силу тех же причин. Тем не менее, может быть использован зарубежный опыт по защите критических инфраструктур.

4.9. Защита критических инфраструктур за рубежом. В США создан и функционирует Национальный центр анализа и имитационного моделирования инфраструктуры (NISAC), который находится под непосредственным руководством управления защиты инфраструктуры и управления рисками МВБ США (Department of Homeland Security's Infrastructure Protection/Risk Management Division), обеспечивая министерство и другие органы государственного управления возможностями имитационного моделирования, анализа объектов критической инфраструктуры, оценки их взаимозависимости и уязвимости. NISAC также осуществляет интеграцию деятельности национальных лабораторий в Сандиа и Лос-Аламосе по вопросам разработки современных комплексов моделирования и выявления потенциально уязвимых объектов критической инфраструктуры [37]. Кроме того, в составе министерства энергетики США с сентября 2003 года функционирует рабочая группа визуализации и моделирования (The Visualization and Modeling Working Group - VMWG). Она призвана повысить возможности министерства по проведению быстрого и всестороннего анализа возможных чрезвычайных ситуаций в энергетическом секторе. Группой применяются самые современные информационные технологии, геоинформационные системы, база данных происшествий на объектах энергетического сектора и др. [44]. Одной из близких к тематике проекта является «Система моделирования критических инфраструктур» (Critical Infrastructure Interdependency Modeling - CIMS), разработанная национальной лабораторией Айдахо. Финансирование осуществлялось министерством энергетики США и научно-исследовательской лабораторией ВВС. Модель CIMS представляет собой систему имитационного моделирования, сочетающую данные геопро пространственной информации и четырехмерный (пространственно-временной) эффект. Путем нажатия клавиши она позволяет оперативно изменять состояние исследуемой системы, быстро адаптируясь к меняющейся обстановке. Следует отметить, что семантическое моделирование и методы искусственного интеллекта, используемые авторами данного проекта, в CIMS не используются.

5. Предпосылки выполнения проекта. Исполнители проекта имеют существенный научный задел, связанный с разработкой методов и инструментальных средств интеллектуальной поддержки принятия решений в исследованиях и обеспечении энергетической безопасности. Разработка соответствующих научно-исследовательских прототипов таких средств базировалась на применении интеллектуальных, агентных и облачных вычислений. Существующий задел был получен, в том числе, в рамках проектов, поддержанных грантами РФФИ: №07-07-00265, №10-07-00264, № 13-07-0140, грантом РГНФ № 07-02-12112 и грантами Программы Президиума РАН №229 (2009-2011, 2012-

2014), выполненных под руководством Л.В. Массель, а также проектов по грантам РФФИ №11-07-00192, № 12-07-0359, № 13-07-31268, №14-07-00116, №15-07-01284, №15-57-04074 Бел_мол_а, выполненных и выполняемых под руководством молодых ученых – членов научного коллектива.

По результатам этих проектов, которые будут применены при выполнении рассматриваемого проекта, в 2009-2013 гг. защищены 9 кандидатских диссертаций под научным руководством Л.В. Массель. В частности, в диссертациях получены следующие оригинальные результаты: методика построения программного комплекса с архитектурой, управляемой онтологиями и реализация ПК (Ворожцова Т.Н.), методика построения многоагентных программных комплексов для исследований энергетики и реализация многоагентного ПК ИНТЭК-М (Фартышев Д.А.), методы и инструментальные средства событийного и когнитивного моделирования в энергетике (Аршинский В.Л., Массель А.Г.), методика и средства интеллектуального контроля и преобразования данных для вычислительного эксперимента в исследованиях энергетики (Курганская О.В.), методика 3D-визуализации в исследованиях и обосновании решений в энергетике (Иванов Р.А.), методика моделирования угроз энергетической безопасности с помощью байесовских сетей (Пяткова Е.В.).

Коллектив, возглавляемый автором, имеет большой многолетний опыт работы в области моделирования и реализации интегрированных информационных систем, сложных программных комплексов, Web-приложений, интеллектуальных систем поддержки принятия решений, построения и использования онтологий при разработке программных комплексов, создания геоинформационных систем и систем 3D-геовизуализации, интеллектуальных распределенных информационных систем в области исследований энергетики, а также опыт интеграции информационных технологий и поддержки вычислительных экспериментов при исследованиях проблемы энергетической безопасности.

Для исследований проблем энергетической безопасности авторами была предложена и реализована двухуровневая технология исследований, в которой на первом, верхнем уровне экспертами выполнялся качественный анализ вариантов развития энергетики с использованием семантических технологий («экспресс»-анализ). Для количественного обоснования выбранных вариантов можно использовать на втором (нижнем) экономико-математические модели топливно-энергетического комплекса (ТЭК) России большой размерности и традиционные программные комплексы для многовариантных расчетов по этим моделям. Работы выполняются в тесном сотрудничестве с энергетиками (Н.И. Пяткова, С.М. Сендеров и др.), которые являются одними из ведущих специалистов в области исследований проблем энергетической безопасности, имеют большой опыт проведения вычислительных экспериментов для обоснования вариантов развития энергетики, а также опыт участия в разработке стратегии развития энергетики России и выполнения заказных работ Российского энергетического агентства [28].

Вопросы онтологического моделирования в энергетике рассматривались в работах Массель Л.В., Ворожцовой Т.Н., Скрипкина С.К., Копайгородского А.Н., Масселя А.Г., Макагоновой Н.Н. [18 и др]. В последнее время выполнен онтологический инжиниринг проблемы ситуационного управления [19].

Вопросы когнитивного моделирования в энергетике рассматривались в работах Масселя А.Г., Массель Л.В., Макагоновой Н.Н. В исследованиях проблем ЭБ когнитивное моделирование используется для ситуационного анализа проблемы ЭБ и моделирования

угроз ЭБ, под которыми понимаются неблагоприятные для энергетики события. Реализованы инструментальные средства поддержки когнитивного моделирования – библиотека CogMap. А.Г. Масселем в 2011 г. защищена кандидатская диссертация, посвященная вопросам когнитивного моделирования в энергетике. Аспирант Пестерев Д.А. в своей диссертационной работе развивает идею применения продукционных экспертных систем для интерпретации когнитивных моделей.

Вопросами событийного моделирования в энергетике занимались В.Л. Аршинский, В.О. Тюрюмин. Реализованы инструментальные средства поддержки событийного моделирования – библиотека EventMap. Аршинским В.Л. в 2010 г. защищена кандидатская диссертация по вопросам событийного моделирования в энергетике на основе Joiner-сетей, Тюрюмин В.О. в своей кандидатской диссертации занимается, совместно с Масселем А.Г., вопросами интеграции когнитивных и событийных моделей [7].

Для интеграции качественного и количественного уровней информационной технологии исследований проблем энергетической безопасности [8] была предложена методика интеллектуального преобразования данных на основе дедуктивного синтеза программ и декларативных представлений процессов преобразования данных [6]. Курганской О.В. в 2012 г. была защищена кандидатская диссертация, посвященная этим вопросам. Пятковой Е.В. в 2013 г. была защищена кандидатская диссертация по вопросам вероятностного моделирования в исследованиях энергетической безопасности [10]. Ивановым Р.А. в 2013 г. защищена кандидатская диссертация, посвященная разработке методики и инструментальных средств 3D-визуализации в исследованиях и обосновании решений в энергетике [11].

В коллективе имеется опыт разработки и применения агентных технологий, в частности, под руководством Л.В. Массель реализован многоагентный ПК ИНТЭК-М для исследований направлений развития топливно-энергетического комплекса с учетом требований энергетической безопасности (который применяется на втором уровне описанной выше информационной технологии) и разрабатывается многоагентная система для оценивания состояний ЭЭС (Гальперов В.И.). В последней работе рассматриваются возможности использования для управления агентами одной из разновидностей алгебраических сетей – Joiner-сетей (JN), упоминавшихся выше [22].

В последнее время авторы развивают разработанные ими методы и инструментальные средства в рамках направления, связанного с созданием интеллектуальных энергетических систем (ИЭС), получившего за рубежом название Smart Grid [39]. Семантическое моделирование будет поддерживаться библиотеками когнитивного CogMap, событийного EventMap и вероятностного BayNet моделирования (авторами разработаны научно-исследовательские прототипы этих инструментальных средств). Основой разработки инструментальных средств когнитивного и событийного моделирования является авторская среда графического моделирования GrModeling (Копайгородский А.Н.), позволяющая обеспечить концептуальное единство и совместимость инструментальных средств. Имеется опыт реализации существующих научно-исследовательских прототипов в виде Web-сервисов на основе Open Source (OntoMap, геокомпонент для 3D-геовизуализации (Копайгородский А.Н., Иванов Р.А. и др.)) [16].

Имеются разработки в области развития семиотического подхода к построению интеллектуальных систем: выполнены отображение идей Д.А. Поспелова на

инструментальные средства семантического моделирования, интерпретация идеи ситуационного управления на примере исследований направлений развития топливно-энергетического комплекса России [23], постановка задач разработки советующей экспертной системы Advice и языка ситуационного управления в экстремальных ситуациях в энергетике (Contingency Management Language) CML [24]. Предложено развитие, на основе интеллектуальной ИТ-среды [38], Ситуационного полигона как прототипа семиотической интеллектуальной системы семиотического типа [25]

Имеется задел в области исследований критических инфраструктур. Выполнялись исследования (Массель Л.В., Массель А.Г., Ворожцова Т.Н.), связанные с кибербезопасностью интеллектуальных энергетических систем, результаты докладывались и опубликованы, в частности, в трудах Международной конференции CRIS, которая была организована Международной ассоциацией «Международный институт критических инфраструктур» (International Institute for Critical Infrastructures - CRIS) при поддержке IEEE PES German Chapter, IEEE PES Russian (Siberia) Chapter [42]. Таким образом, при выполнении данного проекта будут использованы ранее полученные авторами результаты и разработанные методы, отличающиеся новизной и оригинальностью.

6. Ожидаемые научные результаты проекта. В целом будут получены следующие результаты:

6.1. Оригинальная методология построения семиотических интеллектуальных систем стратегического ситуационного управления развитием критических инфраструктур (на примере энергетике) на основе обобщения разработанных методов ситуационного управления, ситуационного исчисления, и методов построения интеллектуальных систем семиотического типа.

6.2. Реализация научного прототипа интеллектуальной системы семиотического типа для стратегического ситуационного управления в энергетике, с одной стороны, как платформы семантического моделирования взаимосвязей важных объектов критических инфраструктур, критических ситуаций в энергетике России и их возможного развития, с другой, как интеллектуальной системы поддержки принятия стратегических решений в энергетике (аналоги таких систем отсутствуют, как в нашей стране, так и за рубежом).

6.3. Апробация (применение) разработанной интеллектуальной семиотической системы для решения конкретных задач стратегического ситуационного управления в энергетике и отладка технологии интеллектуальной поддержки принятия стратегических решений по развитию энергетике России (будет применена впервые, аналоги отсутствуют).

Заключение. В статье рассмотрены основные положения проекта «Методология построения интеллектуальных систем семиотического типа для стратегического ситуационного управления в критических инфраструктурах». Определены основные проблемы, возникающие при создании таких систем, и предложены пути их решения. Автор считает, что методы, разработка которых предлагается в данном проекте, отличаются новизной и оригинальностью, соответствуют мировому уровню работ в затрагиваемых областях, а в ряде случаев их превосходят (в областях ситуационного управления и построения интеллектуальных систем семиотического типа в энергетике). Одной из целей проекта является расширение области применения полученных результатов (распространение результатов, полученных для энергетике, на другие критические инфраструктуры).

Проект выполняется при частичной финансовой поддержке гранта РФФИ № 16-07-00474, а также грантов Программы Президиума РАН №229 (2015-2017) и РФФИ № 16-07-00569.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Васильев В.И., Ильясов Б.Г. Интеллектуальные системы управления. Теория и практика. М. Радиотехника. 2009. 392 с.
2. Зенкин А.А. Когнитивная компьютерная графика. М. Наука. 1991. 192 с.
3. Еремченко Е.Н. Неогеография и Situational Awareness. Конференция «Неогеография XXI-2009». X Международный форум «Высокие технологии XXI века»: труды. Москва. 2009. С. 434-436.
4. Кобец Б.Б., Волкова И.О. Инновационное развитие электроэнергетики на базе концепции Smart Grid. М. ИАЦ Энергия. 2010. 208 с.
5. Кондратьев А. Современные тенденции в исследовании критической инфраструктуры в зарубежных странах http://pentagonus.ru/publ/sovremennye_tendencii_v_issledovanii_kriticheskoy_infrastruktury_v_zarubezhnoj_stranakh_2012/19-1-0-2082 (дата обращения 7.09.2015)
6. Курганская О.В. Декларативные представления процессов преобразования данных для вычислительного эксперимента в исследованиях энергетической безопасности // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. №1 (33). 2012. С. 147-152.
7. Массель А.Г., Тюрюмин В.О. Интеграция семантических моделей в исследованиях проблем энергетической безопасности // Известия Томского политехнического университета. № 5. Том 324. 2014. С. 70-78.
8. Массель Л.В. Интеграция семантического и математического моделирования в исследованиях проблем энергетической безопасности // Международная конференция «Моделирование-2012»: труды. Киев. ИПМЭ НАН Украины. 2012. С. 270-273.
9. 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.
10. Массель Л.В., Пяткова Е.В. Применение байесовских сетей доверия для интеллектуальной поддержки исследований проблем энергетической безопасности // Вестник ИрГТУ. №2. 2012. С. 8-13.
11. Массель Л.В., Иванов Р.А., Массель А.Г. Моделирование этапов принятия решений на основе сетецентрического подхода // Вестник ИрГТУ. №10 (81). 2013. С. 16-22.
12. Массель Л.В. Использование современных информационных технологий в Smart Grid как угроза кибербезопасности энергетических систем России // Information technology and security: Труды. Киев. Институт специальной связи и защиты информации НТУ Украины «КПИ». №1 (3). 2013. С. 56-65.
13. Массель Л.В., Массель А.Г. Семантические технологии на основе интеграции онтологического, когнитивного и событийного моделирования // III международная научно-техническая конференция OSTIS-2013: труды. Беларусь. Минск. БГУИР. 2013. С. 247-250.

14. 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.
15. Массель Л.В., Массель А.Г. Ситуационное управление и семантическое моделирование в энергетике // IV Международная конференция OSTIS: труды. Беларусь. Минск. БГУИР. 2014. С. 111-116.
16. Массель Л.В., Иванов Р.А., Чемезов А.А. Web-приложение для 3D-визуализации в исследованиях и обосновании решений в энергетике // Образовательные ресурсы и технологии. 2014. №5 (8). С. 101-107.
17. 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. С. 199-204.
18. Массель Л.В., Ворожцова Т.Н., Копайгородский А.Н., Макагонова Н.Н., Скрипкин С.К. Применение онтологий в исследованиях и поддержке принятия решений в энергетике // Всероссийская конференция «Знания-Онтологии-Теория (ЗОНТ-13)»: труды. Новосибирск. ИМ СО РАН. Т. 2. С. 29-38.
19. Массель Л.В., Массель А.Г., Ворожцова Т.Н., Макагонова Н.Н. Онтологический инжиниринг ситуационного управления в энергетике // Всероссийская конференция с международным участием «Знания, онтологии, теории» (ЗОНТ-2015)»: труды. Т. 2. 2015. Новосибирск. ИМ СО РАН. С. 36-43.
20. Массель Л.В., Массель А.Г., Иванов Р.А. Когнитивная графика и семантическое моделирование для геопространственных решений в энергетике // 21-я Международная конференция Интеркарто/ИнтерГИС «Устойчивое развитие территорий: картографо-геоинформационное обеспечение»: труды. Краснодар-Фиджи. 2015. Краснодар. КГУ. С. 496-502.
21. Массель Л.В., Гальперов В.И. Разработка многоагентных систем распределенного решения энергетических задач с использованием агентных сценариев // Известия Томского политехнического университета. Т. 326. №5. 2015. С. 45-53
22. Массель Л.В., Гальперов В.И. Разработка многоагентной системы оценивания состояний электроэнергетических систем с использованием событийных моделей // Наука и образование. №9. 2015. М. МГТУ им. Баумана. Эл. №ФС77-4211. ISSN 1994-0448. DOI: 10.7463/0915.0811180.
23. Массель Л.В., Массель А.Г. Семиотический подход к созданию интеллектуальных систем ситуационного управления в энергетике // XLIII Международная конференция «Информационные технологии в науке, образовании и управлении»: труды. Под ред. проф. Е.Л. Глориозова. Москва. 2015. С. 182-193.
24. Массель Л.В., Массель А.Г. Язык описания и управления знаниями в интеллектуальной системе семиотического типа // XX Байкальская Всероссийская конференция «Информационные и математические технологии в науке и управлении»: труды. Т. 3. Иркутск. ИСЭМ СО РАН. 2015. С. 112 - 124.
25. Массель А.Г., Массель Л.В. Ситуационный полигон как интеллектуальная система семиотического типа. XLIII Международная конференция «Информационные технологии в науке, образовании и управлении»: труды. Под ред. проф. Е.Л. Глориозова. Москва. 2015. С. 246-255.

26. Осипов Г.С. От ситуационного управления к прикладной семиотике // *Новости искусственного интеллекта*. 2002. № 6 (54). С. 2-12.
27. Поспелов Д.А. Ситуационное управление. Теория и практика. М. Наука. 1986. 284 с.
28. Пяткова Н.И., Сендеров С.М., Пяткова Е.В. Методические особенности исследования проблем энергетической безопасности на современном этапе // *Известия. РАН. Энергетика*. 2014. № 2. С.81-87.
29. [Рассел и др. (а)] Действия, ситуации и события (онтология ситуационного исчисления)// В кн.: Рассел С. , Норвиг П. Искусственный интеллект: современный подход. 2-е изд.:Пер. с англ. М.: Изд. Дом «Вильямс». 2006. С. 451-466.
30. [Рассел и др. (б)] Интеллектуальные агенты // В кн.: Рассел С., Норвиг П. Искусственный интеллект: современный подход. 2-е изд. Пер. с англ. М.: Изд. Дом «Вильямс». 2006. С. 75-108.
31. Столяров Л.Н. Философия событийного моделирования на примере сценария энергетической катастрофы // *Международная конференция «Информационные технологии в науке, образовании, телекоммуникации и бизнесе»: труды*. Украина. Гурзуф. 2010. С. 197-200.
32. Трахтенгерц Э.А. Компьютерная поддержка принятия решений. М.:СИНТЕГ. 1998. 376 с.
33. Черняк Л. Визуальная аналитика и обратная связь // «Открытые системы». №6. 2013. URL: <http://www.osp.ru/os/archive/> (Дата обращения 02.12.2014).
34. Endsley, M. R. The Role of Situation Awareness in Naturalistic Decision Making. In C. Zambock & G. Klein (Eds.). *Naturalistic Decision Making*. 1997. Mahwah, NJ: LEA. Pp. 269-284.
35. E. Eremchenko, V. Tikunov, R. Ivanov, L. Massel, J. Strobl. Digital Earth and Evolution of Cartography. *Procedia Computer Science*. Volume 66. 2015. Pp 235–238. Published by Elsevier.
36. Ivanov R.A., Massel L.V. Possibility of Application of Situational Awareness in Energy Research // 12th International Workshop on Computer Science and Information Technologies : proceedings. Vol.1. 2010. Russia. Moscow - St. Petersburg. Pp. 185-187.
37. Los Alamos National Laboratory, <http://www.sandia.gov/mission/homelandyprograms/critical/nisac.html>, <http://lanl.gov/orgs/d/nisac/>.
38. Massel L.V., Massel A.G., Arshinsky V.L. Intelligent IT-environment for decision support in research and energy security guaranty of Russia and its regions // 13th Workshop on Computer Science and Information Technologies: proceedings. Vol. 1. 2011. Germany. Garmish-Partenkirchen. KIT. Pp. 7-13.
39. Massel L.V. Problems of the Smart Grid creation in Russia with a view to information and telecommunication technologies and proposed solutions // 14th International Workshop on Computer Science and Information Technologies: proceedings. Vol. 1. 2013. Austria-Slovakia- Hungaria. Pp. 115 – 120.
40. Massel L.V., Arshinsky V.L., Massel A.G. Intelligent computing on the basis of cognitive and event modeling and its application in energy security studies // *International Journal of Energy Optimization and Engineering*. Special issue on: Mathematical and heuristic modeling and optimization of energy systems. № 3(1). 2014. Pp. 83-91.

41. Massel L.V., Massel A.G. Contingency management and semantic modeling in energy sector // 15th International Workshop on Computer Science and Information Technologies: proceedings. Vol. 1. 2014. England. Sheffield. Ph. 158-162.
 42. Massel L., Massel A. Cyber security of Russia's energy infrastructure as a component of national security// International Conference on Problems of Critical Infrastructures and 6th International Conference on Liberalization and Modernization of Power Systems: proceedings. Edited by Z.A. Styczynski and N.I. Voropai. 2015. Saint Petersburg. Pp. 66-72.
 43. McCarthy J., Situations, Actions and Causal Laws. Stanford Artificial Intelligence Project: Memo 2. 1963.
 44. National Energy Technology Laboratory, http://www.netl.doe.gov/onsite_research.
 45. 12th World Congress of Semiotics “New Semiotics: Between Tradition and Innovation”: abstracts. Bulgaria. Sofia. New Bulgarian University/Southeast European Center For Semiotic Studies. 2014. 218 p.
 46. Pednault E.P.D. ADL: Exploring the middle ground between STRIPS and the situation calculus. В трудах 1-st Int. Conf. on Principles of Knowledge Representation and Reasoning. 1989. Pp. 324-332 .
 47. Voropai N.I., Kolosok I.N., Massel L.V. et al. A Multy-Agent Approach to Electric Power Systems // Multi-Agent Systems – Modeling, Interaction, Simulations and Case Studies. India. InTech. 2011. Pp. 368-394.
-

UDK 004.89:003.62:620.9

**CREATION PROBLEMS OF INTELLIGENT SYSTEMS OF SEMIOTIC TYPE
FOR STRATEGIC CONTINGENCY MANAGEMENT
IN CRITICAL INFRASTRUCTURES**

Liudmila V. Massel

Dr., Professor, Chief Researcher,

Head of the Laboratory "Information Technologies"

Melentiev Energy Systems Institute

Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences

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

Annotation. The article discusses the approach to the development of intelligent systems of semantic type for situational strategic management of critical infrastructures (for example, energy infrastructure). The goal and main problems of the project are formulated. It's described the proposed methods, the current state of research in this area, the expected results and the scientific background of the project (work done by the author leadership in this direction). An extensive bibliography is represented.

Keywords: Critical Infrastructures, Smart Power Grid, Intelligent Systems, Contingency Management, Semiotic Approach, Semantic Modeling.

References

1. Vasil'ev V.I., Il'jasov B.G. *Intellektual'nye sistemy upravlenija. Teorija i praktika* [Intelligent management systems. Theory and practice]. M. 2009. 392 s. (in Russian).
2. Zenkin A.A. *Kognitivnaja komp'juternaja grafika* [Cognitive Computer Graphics]. M. Nauka. 1991. 192 s. (in Russian).
3. Eremchenko E.N. *Neogeografija i Situational Awareness* [Neogeography and Situational Awareness]. Konferencija «Neogeo-grafija XXI-2009». X Mezhdunarodnyj forum «Vysokie tehnologii XXI veka»: trudy. Moskva.= Conference "Neogeography XXI-2009". X International Forum "High Technologies of XXI Century": Proceedings. Moscow. 2009. S. 434-436 (in Russian).
4. Kobec B.B., Volkova I.O. *Innovacionnoe razvitie jelektrojenergetiki na baze koncepcii Smart Grid* [The innovative development of electric power based on the concept of Smart Grid]. M. IAC Jenergija.= M. IAC Energy. 2010. 208 s. (in Russian).
5. Kondrat'ev A. *Sovremennye tendencii v issledovanii kriticheskoj infra-struktury v zarubezhnyh stranah* [Current trends in the study of critical infrastructure in foreign countries] http://pentagonus.ru/publ/sovremennye_tendencii_v_issledovanii_kriticheskoj_infrastruktury_v_zarubezhnoj_stranakh_2012/19-1-0-2082 (data obrashhenija 7.09.2015) (in Russian).
6. Kurganskaja O.V. *Deklarativnye predstavlenija processov preobrazovanija dannyh dlja vychislitel'nogo jeksperimenta v issledovanijah jenergeticheskoj bezopasnosti* [Declarative representation of data conversion processes for computational experiment in the research of energy security] // *Sovremennye tehnologii. Sistemnyj analiz. Modelirovanie* = Modern technologies. System analysis. Modeling. №1 (33). 2012. S. 147-152 (in Russian).
7. Massel' A.G., Tjurjumin V.O. *Integracija semanticheskikh modelej v issledovanijah problem jenergeticheskoj bezopasnosti* [Integration of semantic models in the research of energy security problems] // *Izvestija Tomskogo politehnicheskogo universiteta* = Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. № 5. Tom 324. 2014. S. 70-78 (in Russian).
8. Massel' L.V. *Integracija semanticheskogo i matematicheskogo modelirovanija v issledovanijah problem jenergeticheskoj bezopasnosti* [Integration of the semantic and mathematical modeling in research of the energy security problems] // *Mezhdunarodnaja konferencija «Modelirovanie-2012»: trudy.* = International Conference "Modeling 2012": Proceedings. Kiev. IPMJe NAN Ukrainy. 2012. S. 270-273 (in Russian).
9. 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* = Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. 2012. T. 321. № 5. *Upravlenie, vychislitel'naja tehnika i informatika* = Management, Computer Science and Informatics. S. 135-141 (in Russian)
10. Massel' L.V., Pjatkova E.V. *Primenenie bajesovskih setej doverija dlja intel-lektual'noj podderzhki issledovanij problem jenergeticheskoj bezopasnosti* [Application of Bayesian belief networks to intelligent support in research of energy security problems] // *Vestnik IrGTU*= Bulletin of the Irkutsk State Technical University. №2. 2012. S. 8-13 (in Russian).
11. Massel' L.V., Ivanov R.A., Massel' A.G. *Modelirovanie jetapov prinjatija re-shenij na osnove setecentricheskogo podhoda* [Modeling of decision-making stages on the basis of

- network-centric approach // Vestnik IrGTU= Bulletin of the Irkutsk State Technical University. №10 (81). 2013. S. 16-22 (in Russian).
12. Massel' L.V. Ispol'zovanie sovremennyh informacionnyh tehnologij v Smart Grid kak ugroza kiberbezopasnosti jenergeticheskikh sistem Rossii [The use of modern information technologies in the Smart Grid as a threat of cyber security to Russian energy systems] // Information technology and security: Proceedings. Kiev. Institut special'noj svjazi i zashhity informacii NTU Ukrainy «KPI»= Kiev. Institute of Special Communication and Information Protection of National Technical University of Ukraine "KPI". №1 (3). 2013. S. 56-65 (in Russian).
 13. Massel' L.V., Massel' A.G. Semanticheskie tehnologii na osnove integracii ontologicheskogo, kognitivnogo i sobytijnogo modelirovanija [Semantic technologies based on the integration of the ontological, cognitive and event modeling] // // III mezhdunarodnaja nauchno-tehnicheskaja konferencija OSTIS-2013: trudy. = III International Scientific Conference OSTIS-2013: Proceedings. Minsk. BGUIR. = Belarus' State University of Informatics and Radiotechnics. 2013. S. 247-250 (in Russian).
 14. 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. T.18. S. 37-44 (in Russian).
 15. Massel' L.V., Massel' A.G. Situacionnoe upravlenie i semanticheskoe modeli-rovanie v jenergetike [Contingency management and semantic modeling in the energy sector] // IV Mezhdunarodnaja konferencija OSTIS-2014: trudy. = IV International Conference OSTIS-2014: Proceedings. Minsk. BGUIR. = Belarus' State University of Informatics and Radiotechnics. 2014. S. 111-116 (in Russian).
 16. Massel' L.V., Ivanov R.A., Chemezov A.A. Web-prilozhenie dlja 3D-vizualizacii v issledovanijah i obosnovanii reshenij v jenergetike [Web-application for 3D-visualization in the research and justification of decisions in the energy sector] // Obrazovatel'nye resursy i tehnologii. = Educational resources and technologies. 2014. №5 (8). S. 101-107(in Russian).
 17. Massel' L.V., Massel' A.G. Metody i sredstva situacionnogo upravlenija v jenergetike na osnove semanticheskogo modelirovanija [Methods and tools for situational management in the energy sector based on the semantic modeling] // V Mezhdunarodnaja konferencija OSTIS-2015: trudy. = IV International Conference OSTIS-2015: Proceedings. Minsk. BGUIR. = Belarus' State University of Informatics and Radiotechnics. 2015. S. 199-204 (in Russian)
 18. Massel' L.V., Vorozhcova T.N., Kopajgorodskij A.N., Makagonova N.N., Skripkin S.K. Primenenie ontologij v issledovanijah i podderzhke prinjatija reshenij v jenergetike [The application of ontologies in research and decision support in the energy sector] // Vserossijskaja konferencija «Znanija-Ontologii-Teorija (ZONT-13)»: trudy. = Russian Conference "Knowledge-Ontology-Theory (KONT-13): Proceedings. Novosibirsk. IM SO RAN = Mathematics Institute of Siberian Branch of Russian Academy of Science. T. 2. S. 29-38 (in Russian).
 19. Massel' L.V., Massel' A.G., Vorozhcova T.N., Makagonova N.N. Ontologicheskij inzhiniring situacionnogo upravlenija v jenergetike [Ontological engineering of situational

- management in the energy sector]// Vserossijskaja konferencija s mezhdunarodnym uchastiem «Znanija, ontologii, teorii» (ZONT-2015)»: trudy. = Russian Conference with international participation "Knowledge-ontology-theory" (KONT-2015) ": Proceedings. T. 2. 2015. Novosibirsk. IM SO RAN. = Mathematics Institute of Siberian Branch of Russian Academy of Science. S. 36-43 (in Russian).
20. Massel' L.V., Massel' A.G., Ivanov R.A. Kognitivnaja grafika i semanticheskoe modelirovanie dlja geoprostranstvennyh reshenij v jenergetike [Cognitive graphics and semantic modeling for spatial solutions in the energy sector] // 21-ja Mezhdunarodnaja konferencija Interkarto/InterGIS «Ustojchivoe razvitie territorij: kartografo-informacionnoe obespechenie»: trudy. = 21th International Conference Intercarto / InterGIS "Sustainable Development of Territories: Cartography and GIS software": Proceedings. Krasnodar-Fidzhi (Fiji). 2015. Krasnodar. KGU. = Krasnodar State University. S. 496-502 (in Russian).
21. Massel' L.V., Gal'perov V.I. Razrabotka mnogoagentnyh sistem raspredelenno-go reshenija jenergeticheskikh zadach s ispol'zovaniem agentnyh scenariev [The development of multi-agent systems for distributed solving of the energy tasks using agent scenarios] // Izvestija Tomskogo politehnicheskogo universiteta = Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. T. 326. №5. 2015.. S. 45-53 (in Russian).
22. Massel' L.V., Gal'perov V.I. Razrabotka mnogoagentnoj sistemy ocenivanija sostojanij jelektrojenergeticheskikh sistem s ispol'zovaniem sobytijnyh modelej [The development of multi-agent system for state estimation of electric power systems using event models] // Nauka i obrazovanie.= Science and education. №9.2015. M. MG TU im. Bauman. = Moscow State Technical University named by Bauman. El. №FS77-4211. ISSN 1994-0448. DOI: 10.7463/ 0915. 0811180 (in Russian).
23. Massel' L.V., Massel' A.G. Semioticheskij podhod k sozdaniju intellektual'nyh sistem situacionnogo upravlenija v jenergetike/ [Semiotic approach to the creation of intelligent systems of situational management in the energy sector] // XLIII Mezhdunarodnaja konferencija «Informacionnye tehnologii v nauke, obrazovanii i upravlenii»: trudy. Pod red. prof. E.L. Glorizova. Moskva.= XLIII International Conference "Information Technologies in Science, Education and Management": Proceedings. By edition of prof. E.L. Gloriosov. Moscow. 2015. S. 182-193 (in Russian).
24. Massel' L.V., Massel' A.G. Jazyk opisanija i upravlenija znanijami v intellektual'noj sisteme semioticheskogo tipa [The language for knowledge description and management in the intelligent system of semiotic type] // XX Bajkal'skaja Vserossijskaja konferencija «Informacionnye i matematicheskie tehnologii v nauke i upravlenii»: trudy. = XX Baikal All-Russian Conference "Information and mathematical technologies in science and management": Proceedings. T. 3. Irkutsk. ISJeM SO RAN. = Vol. 3. Irkutsk. Melentiev Energy Systems Institute of Siberian Branch of Russian Academy of Science. 2015. S. 112 – 124 (in Russian).
25. Massel' A.G., Massel' L.V. Situacionnyj poligon kak intellektual'naja si-stema semioticheskogo tipa [Situational polygon as the intelligent system of semantic type]. XLIII Mezhdunarodnaja konferencija «Informacionnye tehnologii v nauke, obrazovanii i upravlenii»: trudy. Pod red. prof. E.L. Glorizova. Moskva. = XLIII International

- Conference "Information Technologies in Science, Education and Management": Proceedings. By edition of prof. E.L. Gloriosov. Moscow. 2015. S. 246-255 (in Russian).
26. Osipov G.S. Ot situacionnogo upravlenija k prikladnoj semiotike [From situational management to applied semiotics] // *Novosti iskusstvennogo intellekta.* = News of artificial intelligence. 2002. № 6 (54). S. 2-12 (in Russian).
27. Pospelov D.A. Situacionnoe upravlenie. Teorija i praktika [Contingency management. Theory and practice]. M. Nauka. = Moscow. Science. 1986. 284 s. (in Russian).
28. Pjatkova N.I., Senderov S.M., Pjatkova E.V. Metodicheskie osobennosti issledovanija problem jenergeticheskoj bezopasnosti na sovremennom jetape [Methodological features of energy security problems research at the present stage] // *Izvestija. RAN. Jenergetika.* = News. Russian Academy of Sciences. Energetics. 2014. № 2. S.81-87 (in Russian).
29. [Russel i dr. (a)] Dejstvija, situacii i sobytija (ontologija situacionnogo is-chislenija) [Russel et al (a). Actions, situations and events (ontology of situational calculus)] // V kn.: Russel S., Norvig P. *Iskusstvennyj intellekt: sovremennyj podhod.* 2-e izd.: Per. s angl. M. Izd. Dom «Vil'jams». = In book: Russell S., Norvig P. *Artificial Intelligence: A Modern Approach.* 2nd ed. Trans. from English. Moscow. Pub. House "Williams". 2006. S. 451-466 (in Russian).
30. [Russel i dr. (b)] Intellektual'nye agenty [Russel et al (b). Intelligent agents]// V kn.: Russel S., Norvig P. *Iskusstvennyj intellekt: sovremennyj podhod.* 2-e izd. Per. s angl. M.: Izd. Dom «Vil'jams». = ». = In book: Russell S., Norvig P. *Artificial Intelligence: A Modern Approach.* 2nd ed. Trans. from English. Moscow. Pub. House "Williams". 2006. S. 75-108 (in Russian).
31. Stoljarov L.N. Filosofija sobytijnogo modelirovanija na primere scenarija jenergeticheskoj katastrofy [The philosophy of event modeling by the example of the emergency scenario in energy sector] // *Mezhdunarodnaja konferencija «Informacionnye tehnologii v nauke, obrazovanii, telekommunikacii i biznese»:* trudy. Ukraina. Gurzuf = International Conference "Information Technologies in science, education, telecommunications and business": Proceedings. Ukraine. Gurzuf // 2010. S. 197-200 (in Russian).
32. Trahtengerc E.A. Komp'juternaja podderzhka prinjatija reshenij [Computer support of decision-making]. M.: SINTEG. 1998. 376 s. (in Russian).
33. Chernjak L. Vizual'naja analitika i obratnaja svjaz' [Visual Analytics and Feedback] // «Otkrytye sistemy»="Open Systems". №6. 2013. URL: <http://www.osp.ru/os/archive/> (Data obrashhenija 02.12.2014) (in Russian).
34. Endsley, M. R. The Role of Situation Awareness in Naturalistic Decision Making. In C. Zambock & G. Klein (Eds.). *Naturalistic Decision Making.* 1997. Mahwah. NJ: LEA. Pp. 269-284.
35. E. Eremchenko, V. Tikunov, R. Ivanov, L. Massel, J. Strobl. Digital Earth and Evolution of Cartography. *Procedia Computer Science.* Volume 66. 2015. Pp 235–238. Published by Elsevier.
36. Ivanov R.A., Massel L.V. Possibility of Application of Situational Awareness in Energy Research // 12th International Workshop on Computer Science and Information Technologies : proceedings. Vol.1. 2010. Russia. Moscow - St. Petersburg. Pp. 185-187.
37. Los Alamos National Laboratory, <http://www.sandia.gov/mission/homelandypro-grams/critical/nisac.html>, <http://lanl.gov/orgs/d/nisac/>.

38. Massel L.V., Massel A.G., Arshinsky V.L. Intelligent IT-environment for decision support in research and energy security guaranty of Russia and its regions // 13th Work-shop on Computer Science and Information Technologies: proceedings. Vol. 1. 2011. Germany. Garmish-Partenkirchen. KIT. Pp. 7-13.
39. Massel L.V. Problems of the Smart Grid creation in Russia with a view to information and telecommunication technologies and proposed solutions // 14th International Workshop on Computer Science and Information Technologies: proceedings. Vol. 1. 2013. Austria-Slovakia- Hungaria. Pp. 115 – 120.
40. Massel L.V., Arshinsky V.L., Massel A.G. Intelligent computing on the basis of cognitive and event modeling and its application in energy security studies // International Journal of Energy Optimization and Engineering. Special issue on: Mathematical and heuristic modeling and optimization of energy systems. № 3(1). 2014. Pp. 83-91.
41. Massel L.V., Massel A.G. Contingency management and semantic modeling in energy sector // 15th International Workshop on Computer Science and Information Technologies: proceedings. Vol. 1. 2014. England. Sheffield. Ph. 158-162.
42. Massel L., Massel A. Cyber security of Russia's energy infrastructure as a component of national security// International Conference on Problems of Critical Infrastructures and 6th International Conference on Liberalization and Modernization of Power Systems: proceedings. Edited by Z.A. Styczynski and N.I. Voropai. 2015. Saint Petersburg. Pp. 66-72.
43. McCarthy J., Situations, Actions and Causal Laws. Stanford Artificial Intelligence Project: Memo 2. 1963.
44. National Energy Technology Laboratory, http://www.netl.doe.gov/onsite_research.
45. 12th World Congress of Semiotics “New Semiotics: Between Tradition and Innovation”: abstracts. Bulgaria. Sofia. New Bulgarian University/Southeast European Center For Semiotic Studies. 2014. 218 p.
46. Pednault E.P.D. ADL: Exploring the middle ground between STRIPS and the situation calculus. В трудах 1-st Int. Conf. on Principles of Knowledge Representation and Reasoning. 1989. Pp. 324-332 .
47. Voropai N.I., Kolosok I.N., Massel L.V. et al. A Multy-Agent Approach to Electric Power Systems // Multi-Agent Systems – Modeling, Interaction, Simulations and Case Studies. India. InTech. 2011. Pp. 368-394.

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].

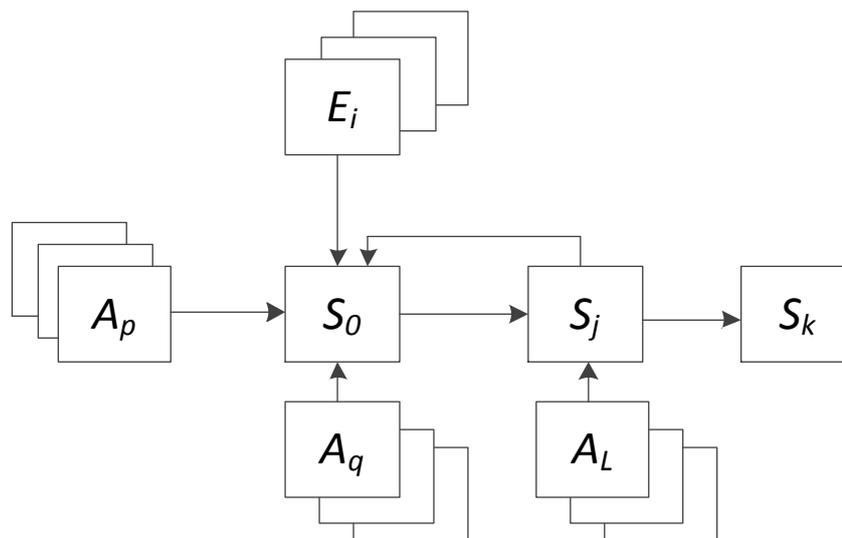


Рис. 1. Общая схема исследований по оценке состояния ТЭК с точки зрения ситуационного управления

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

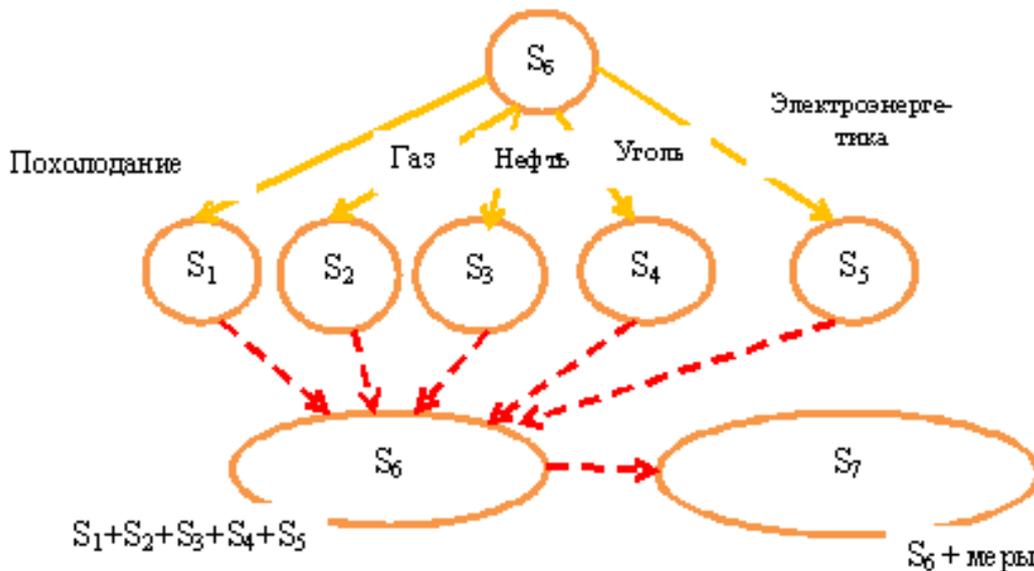
семантического моделирования) и количественного анализа (с использованием линейных экономико-математических моделей и традиционных программных комплексов) [4, 5].

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 топливо- 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 среднемноголетних 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 среднемноголетней 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 топливо- 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).

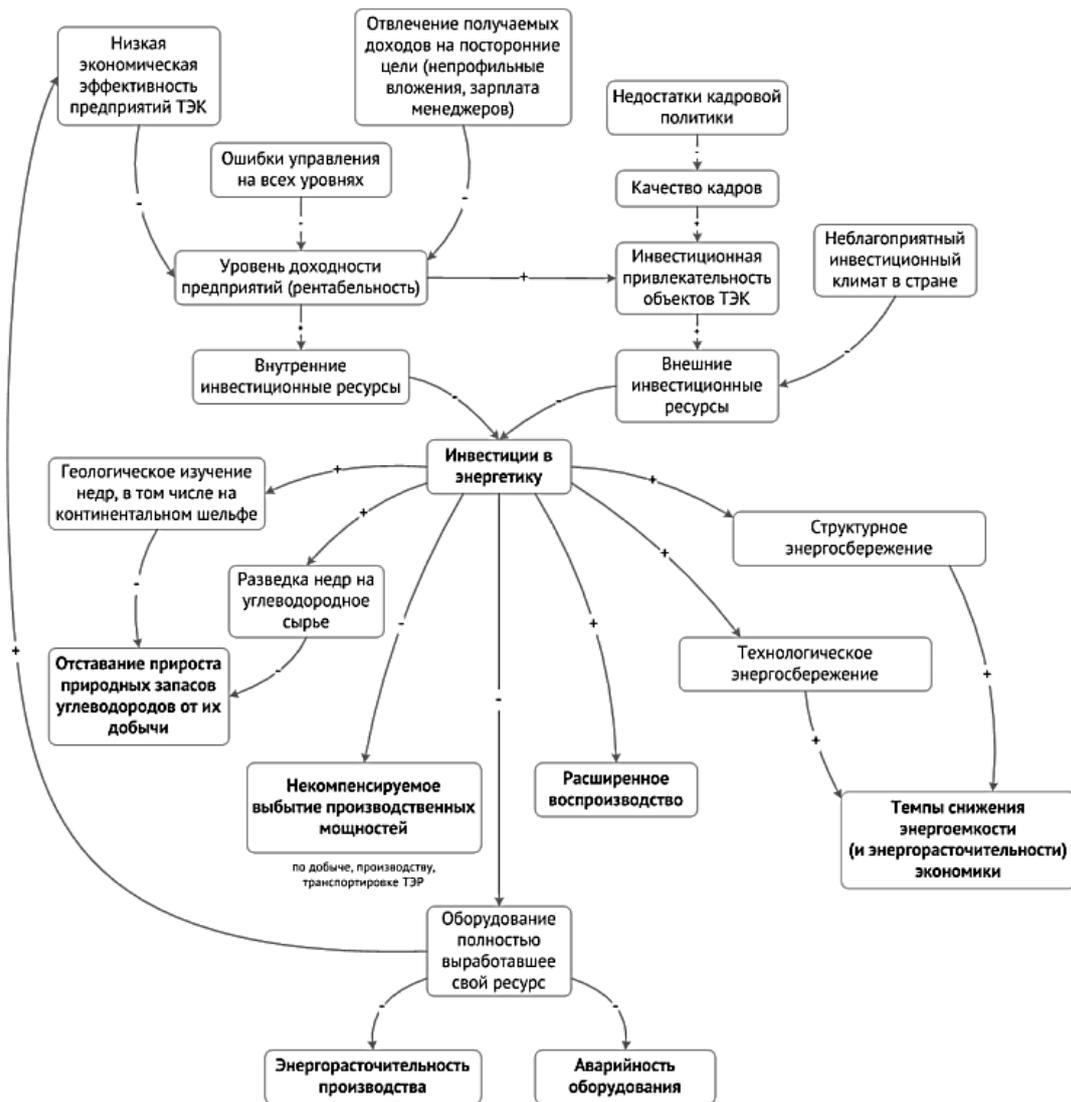


Рис. 4. Схема взаимосвязи факторов, влияющих на инвестиционные возможности отраслей ТЭК

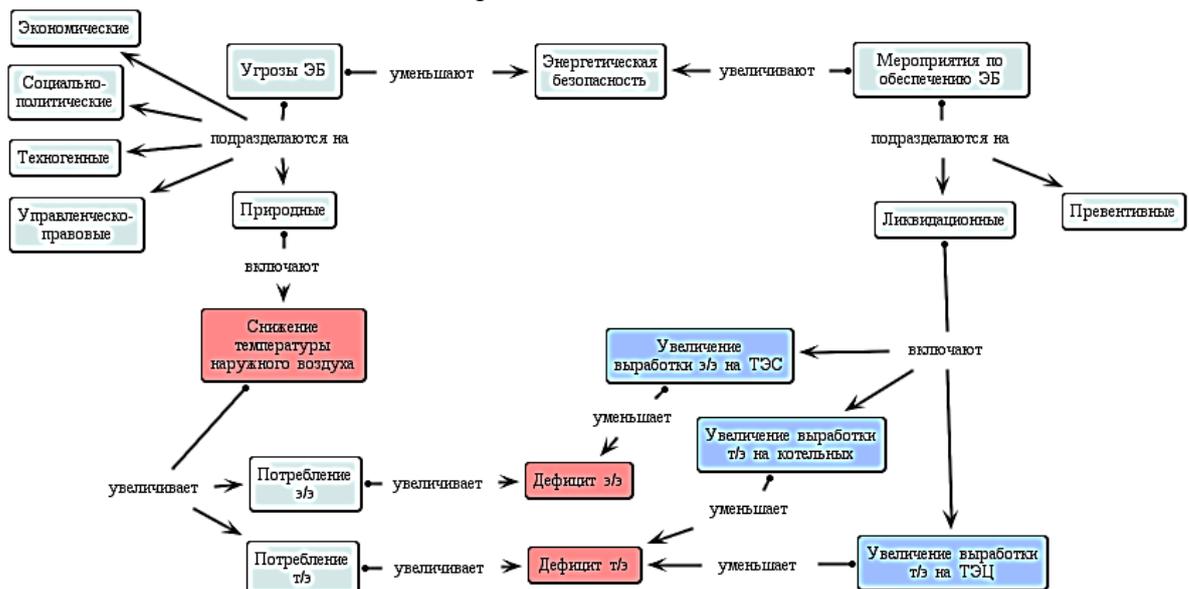


Рис. 5. Фрагмент онтологии, используемой для описания угрозы похолодания

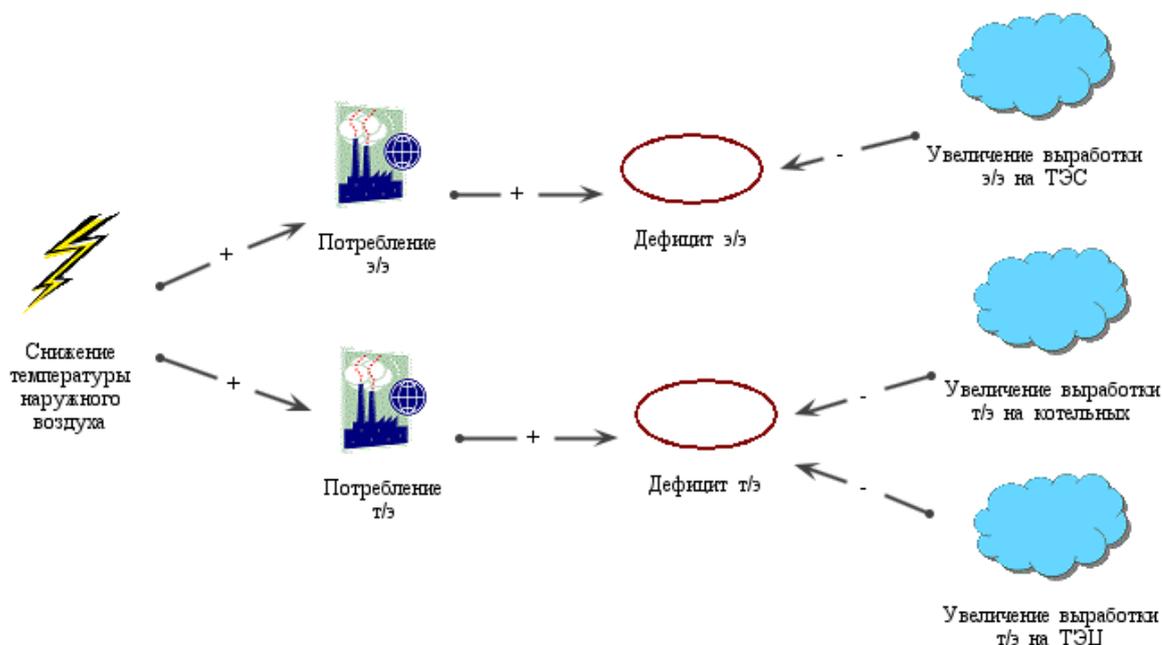


Рис. 6. Когнитивная карта угрозы похолодания

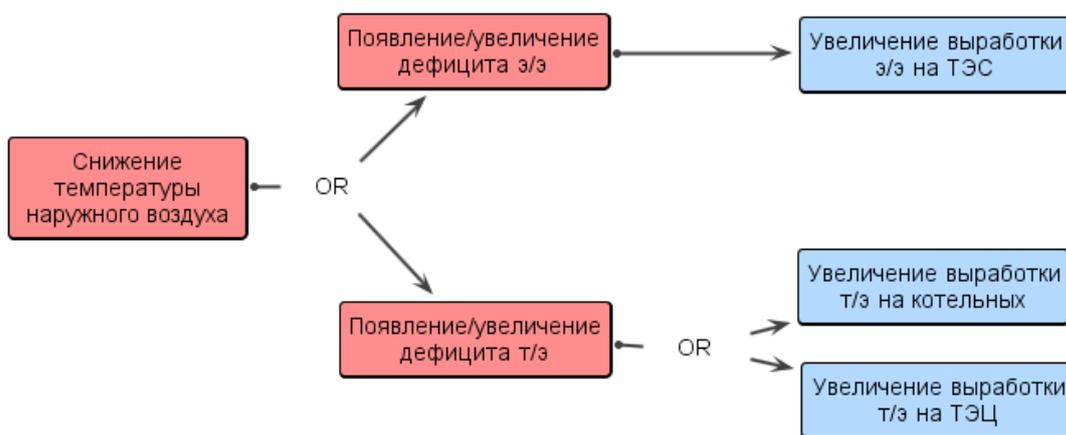


Рис. 7. Событийная карта угрозы похолодания

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.

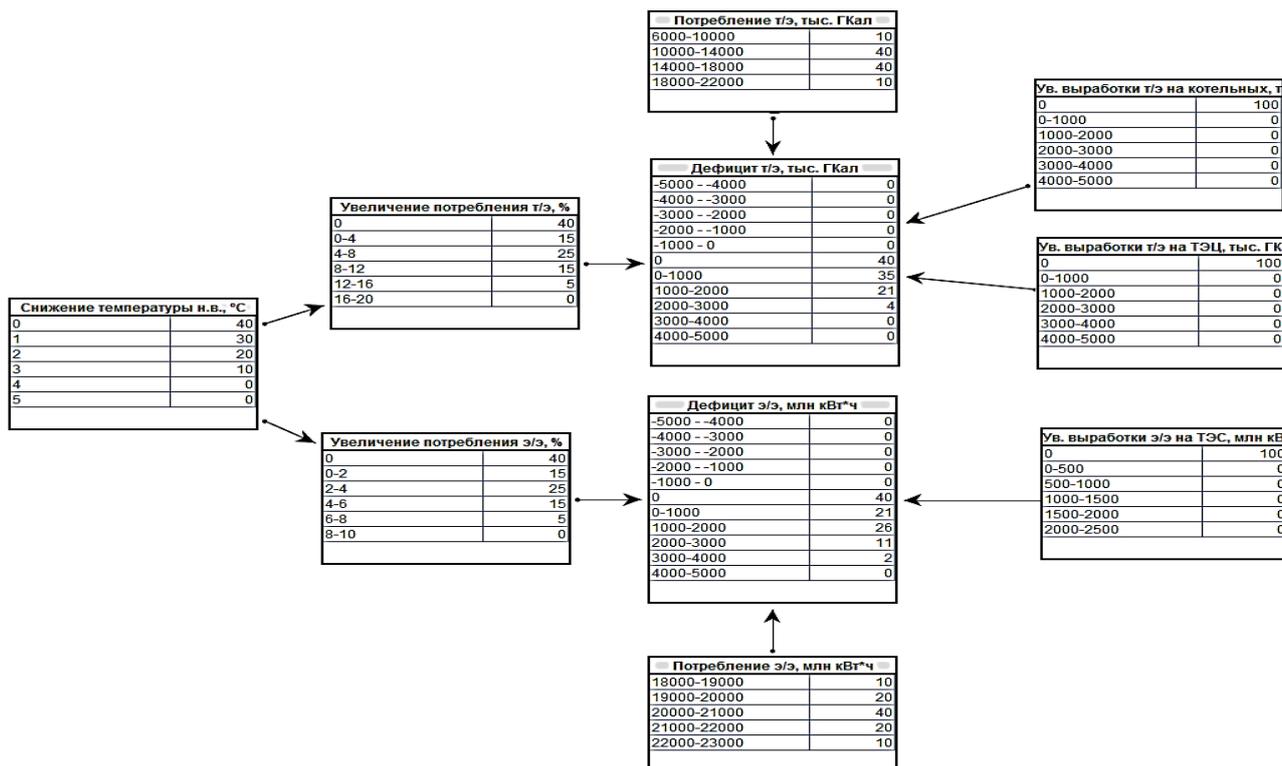


Рис. 8. Заполненная байесовская сеть доверия для угрозы похолодания

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. Intellektual'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. Intellektual'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. Pjatkova, V.I. Rabchuk, S.M. Senderov, M.B. Chel'cov. Novosibirsk. Nauka = Novosibirsk. Science. 2011. 211 p. (in Russian)

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИТУАЦИЙ В ЗАДАЧАХ СИТУАЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ В ЭНЕРГЕТИКЕ

Ворожцова Татьяна Николаевна

К.т.н., ведущий инженер лаборатории «Информационные технологии в энергетике»,
Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева СО РАН,
664130 г. Иркутск, ул. Лермонтова 130, e-mail: tnn@isem.irk.ru

Аннотация. В статье рассматриваются вопросы моделирования знаний при построении интеллектуальных систем, в частности, проблема описания ситуаций в задачах ситуационного управления в энергетике. Онтологии используются как основное средство выявления и структуризации основных понятий и взаимосвязей в данной предметной области, а также как средство их формализованного представления при разработке интеллектуальной системы.

Ключевые слова: онтологическая модель, ситуация, ситуационное управление, процесс принятия решений, моделирование знаний.

Введение. В связи с распространением концепции «Smart Power Grid» – «умных энергетических систем» в энергетике все более актуальной становится интеллектуальная поддержка принятия решений [5, 9, 11]. Одним из аспектов исследований в Институте систем энергетики им. Л.А. Мелентьева СО РАН (ИСЭМ СО РАН) являются исследования надежности систем энергетики и обеспечения энергетической безопасности при разработке стратегий развития энергетики [13, 17]. Сложность процесса принятия решений при этом обусловлена сложностью объекта исследования. Объекты энергетики относятся к категории нетрадиционных объектов управления, являются динамическими, уникальными и обладают рядом других свойств (неполнота описания, отсутствие формализуемой цели и др.). Одним из вариантов решения этой проблемы является использование принципов и методов ситуационного управления, предложенных в работах Поспелова Д.А. и его последователей [4, 14, 15]. В лаборатории Информационных технологий в энергетике ИСЭМ СО РАН ситуационное управление предлагается использовать для интеллектуальной поддержки принятия решений, в частности, при разработке стратегий развития энергетики России [10, 24]. В качестве основных методов ситуационного управления рассматриваются методы ситуационного анализа и ситуационного моделирования, основанные на понятии ситуации. Анализ ситуаций, их классификация и возможности дальнейшего преобразования являются основными задачами при использовании данного подхода. Онтологический инжиниринг и онтологические модели используются для структуризации основных понятий и формирования единого семантического пространства данной предметной области.

Ситуационное управление в исследованиях энергетики. Ситуационное управление в энергетике может использоваться для разных целей:

1. В оперативном управлении электроэнергетическими системами, которые представляют собой сложные по структуре и функциям объекты, требующие адекватных моделей и методов управления их развитием и функционированием;

2. Для задач управления теплоснабжением объектов, например, для оценки планируемой нагрузки и выработки тепловой энергии;
3. В управлении автономными энергетическими комплексами с невозобновляемыми источниками энергии;
4. В ситуационных центрах для анализа информации об авариях, нештатных ситуациях, а также внешних факторах, влияющих на надежность работы объектов энергетики.

Необходимость в средствах интеллектуальной поддержки принятия решений в исследованиях энергетики также обусловлена сложностью решаемых задач. Например, в области обеспечения энергетической безопасности требуются выявление и анализ угроз с учетом их взаимосвязей, взаимовлияния, вероятностей и масштабов их проявления, а также обоснование соответствующих мер, обеспечивающих предотвращение реализации этих угроз, устранение или минимизацию последствий [12]. Использование ситуационного подхода позволяет обеспечить более обоснованный выбор, обработку и оценку необходимой информации для управления сложными объектами энергетики. Гибкость такого подхода дает возможность использовать экспертные знания и механизмы рассуждений.

Концепция ситуационного управления основана на выборе управленческих решений с учетом сложившейся ситуации из набора допустимых управляющих воздействий. Проблема выбора управляющих воздействий сводится к адекватной оценке состояния объекта и среды, отнесению соответствующей текущей ситуации к одному из типовых классов и выбору таких управляющих воздействий, которые обеспечат переход из текущей критической ситуации в целевую, т.е. безопасную. Ситуационное управление базируется на описании ситуаций, их анализе, классификации и дальнейшем преобразовании [3, 15].

Владение ситуацией обеспечивает комплексное восприятие разнородной информации об окружающей обстановке и дает возможность более быстрого принятия решения. Основной проблемой ситуационного управления является анализ ситуаций, который предполагает обработку большого количества информации.

Подходы к описанию ситуаций. Существуют различные определения понятия «ситуация». Например, большой энциклопедический словарь определяет ситуацию как сочетание условий и обстоятельств, создающих определенную обстановку, положение [1]. С точки зрения управления в технических системах, ситуация – это совокупность состояний системы и среды в один и тот же момент. В работах Поспелова Д.А. по теории ситуационного управления предлагается различать текущую и полную ситуации. Исходя из предложенных им принципов ситуационного управления, необходимо рассматривать текущую ситуацию, как совокупность всех сведений о структуре объекта управления и его функционировании в данный момент времени. Полной ситуацией называется совокупность, состоящая из текущей ситуации, знаний о технологии управления (возможных управляющих воздействиях) и состоянии системы управления в данный момент.

Описание текущей ситуации должно отражать основные параметры и связи (количественные и качественные), характеризующие объект управления. На основе анализа этих параметров и отношений осуществляется классификация ситуаций и далее выбор управляющего воздействия из набора альтернатив и в соответствии с заданной целью.

В отечественной литературе также исследуются разные подходы к моделированию ситуаций в контексте ситуационного управления и поддержки принятия решений [3, 6, 19, 20].

В наиболее общем виде описание ситуации можно представить как сочетание существенных факторов, влияющих на объект, характеристик этого объекта, достигаемых результатов, а также управляющих воздействий на объект для достижения определенной цели (рис. 1).

Определение понятия цели необходимо для того, чтобы при описании ситуации ограничить количество факторов только теми, которые могут повлиять на указанную цель. Факторы, свойства объекта, результаты и управляющие воздействия взаимно зависимы.

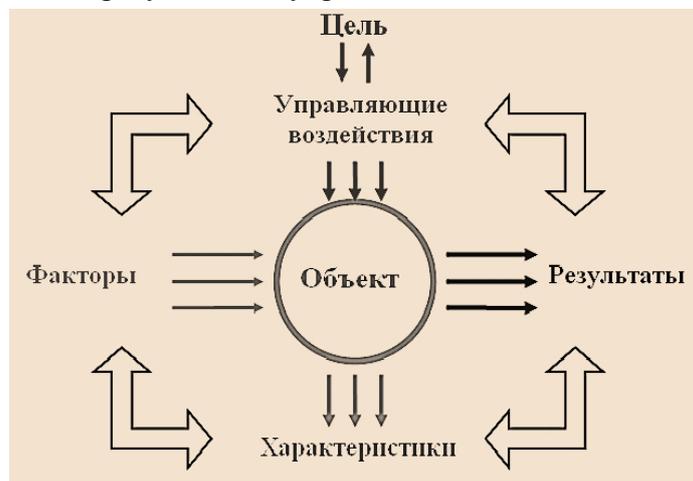


Рис. 1. Представление ситуации по отношению к объекту

В зарубежных исследованиях при изучении и описании ситуаций, например, в работах [22, 25] используется понятие ситуационной осведомленности, как всестороннее комплексное, динамичное восприятие окружающей обстановки. В рамках концепции Semantic Web исследуются подходы к моделированию ситуаций и ситуационной осведомленности, управляемой онтологией, а также к разработке соответствующего программного обеспечения на основе онтологий. [21]. Например, в инструментарии SAWA (Situation Awareness Assistant) предлагается онтология ситуации, в которой основными понятиями, связанными с ситуацией являются цель, объект и отношение. Объект имеет набор атрибутов и список отношений. Атрибуты и отношения имеют соответствующие значения, которые зависят от внешних или внутренних событий. Отношения, кроме того, могут определяться некоторыми правилами, их формирующими. Такая онтология рассматривается как базовая и в некоторых работах российских исследователей [16].

В лаборатории Информационных технологий в энергетике ИСЭМ СО РАН разрабатываются методические принципы использования ситуационной осведомленности как инструмента ситуационного анализа [8]. Авторами предлагается использовать сетцентрический подход, основанный на использовании единой информационной среды и ситуационной осведомленности для поддержки принятия решений в энергетике.

Онтология ситуации. При разработке интеллектуальных систем поддержки принятия решений в задачах ситуационного управления существует необходимость формального описания ситуаций. Формализованные знания о ситуациях – это необходимые компоненты баз знаний для интеллектуальной системы процесса принятия решений.

Основой для разработки онтологии может служить фреймовая модель описания ситуации, разработанная экспертом предметной области. Фрейм формирует минимальное описание некоего явления, факта или объекта, обладающее свойством целостности: удаление

из этого описания любой составляющей приводит к тому, что данное явление перестает правильно опознаваться (классифицироваться).

Ситуация – это совокупность обстоятельств, которые связаны как с объектом, так и с внешней средой, в которой данный объект функционирует. Объект имеет состояние, которое характеризуется соответствующими атрибутами и их значениями. Влияние внешней среды определяется теми или иными факторами, также имеющими некоторые атрибуты и значения.

Определение понятия «ситуация» часто связывается и с социальным аспектом, с восприятием человека (субъекта) тех или иных обстоятельств окружающей действительности. Оценка ситуации зависит не только от объективных обстоятельств, влияющих на нее, но и от восприятия этих обстоятельств определенным субъектом, его целями и возможностями [2, 18].

На рисунке 2 приведена онтология ситуации, созданная с использованием SmartTools, которая рассматривается в качестве исходной или базовой для дальнейших исследований.

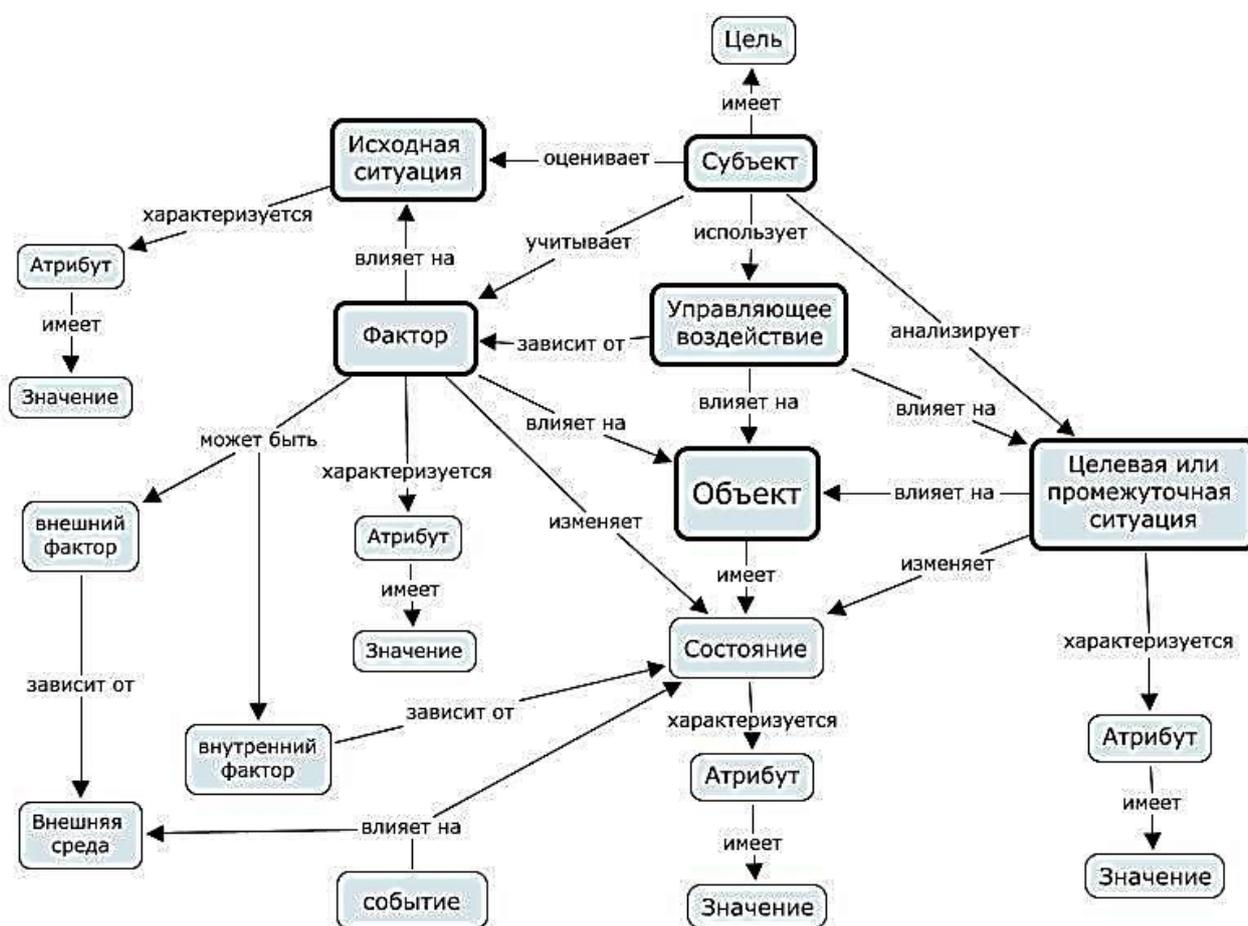


Рис. 2. Базовая онтология ситуации

Понятие ситуации необходимо рассматривать по отношению к объекту, на который могут влиять определенные факторы. Факторы являются основными понятиями онтологии, описывающей ситуацию. Понятие субъекта является обобщенным, это может быть некая управляющая структура того или иного уровня или лицо, принимающее решение. Субъект заинтересован в достижении некоторой цели, может предпринимать управляющие воздействия и изменять ситуацию, которая определяется состоянием объекта в данный момент времени и состоянием внешней среды по отношению к объекту. Управляющее

воздействие выбирается субъектом, исходя из оценки ситуации, методами ситуационного управления.

Таким образом, при разработке онтологии ситуации применительно к задачам ситуационного управления в исследованиях энергетики учитывались следующие моменты:

- Ситуация рассматривается с точки зрения субъекта управления по отношению к некоторому объекту.
- Факторы, влияющие на ситуацию, могут зависеть от событий (внешних или внутренних).
- Объект обладает набором свойств, характеризующих его состояние.
- Факторы, свойства, результаты характеризуются атрибутами, имеющими определенные значения.
- Субъект анализирует результат влияния фактора и формирует управляющее воздействие.

Формирование списка влияющих на исследуемый объект факторов, оценка степени их влияния, а также разработка соответствующих мер (управляющих воздействий) – это сложная задача экспертов соответствующей предметной области.

Моделирование ситуаций, приближенных к реальным, требует учета не только большого количества влияющих факторов, но и взаимного влияния и взаимодействия сложной совокупности объектов, имеющих отношение к ситуации. Описание совокупности таких объектов (экземпляров или индивидуумов) и отношений между ними для конкретной ситуации представляет собой модель ситуации. Экземпляры или индивидуумы такой онтологической модели характеризуются свойствами, отражающими количественные или качественные характеристики объекта. Изменение свойств объектов может приводить к изменению взаимосвязей между ними, тем самым отражая изменение ситуации. Моделирование изменений взаимосвязей между объектами – это наиболее сложный этап в моделировании ситуаций, так как требует формулирования набора правил, по которым они осуществляются.

В дальнейших исследованиях предполагается использование семантических и других технологий для выявления и мониторинга взаимосвязей между объектами, участвующими в ситуации, а также для моделирования изменения ситуаций.

Заключение. Проблема формального описания ситуаций связана с решением задач ситуационного управления. Анализ ситуации должен содержать всю исходную информацию, необходимую для объяснения проблемы. Знания о ситуациях – это необходимые компоненты баз знаний для интеллектуальной системы поддержки процесса принятия решений. Формальная модель ситуации должна способствовать решению следующих основных задач: 1) распознавание ситуации (оценка и классификация); 2) прогноз развития ситуации; 3) изменение ситуации (выбор управляющих воздействий).

Формализованное описание ситуаций может быть использовано для формирования базы прецедентов и принятых решений, т.е. для накопления опыта и при принятии решений. Разработка онтологий рассматривается как необходимый этап формализации знаний рассматриваемой предметной области для использования в рамках разработки ситуационного полигона как интеллектуальной системы семиотического типа [7, 23].

Работа выполняется при частичной финансовой поддержке грантов РФФИ № 16-07-00474, №16-07-00569 и гранта Программы Президиума РАН № 229 (2015-2017 гг).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Большой Энциклопедический словарь. 2-е изд. М. «Большая Российская энциклопедия». СПб: «Норинт». 1997. 1546 с.
2. Виттих В.А. Понятие интерсубъективности в эвергетике // Онтология проектирования. 2014. № 4. С. 90-97.
3. Еременко Т.К., Пилипенко Ю.Г. Онтологическая модель ситуаций для баз знаний систем поддержки принятия решений // Математические машины и системы. 2010. № 3. С. 69 - 75.
4. Клыкков Ю.И. Ситуационное управление большими системами. // М. Энергия. 1984.
5. Кобец Б.В., Волкова И.О. Инновационное развитие электроэнергетики на базе концепции Smart Grid // М. ИАЦ Энергия. 2010. 208 с.
6. Конев К.А., Шакирова Г.Р. Метаситуационные модели: концепция, архитектура, применение в задачах поддержки принятия решений // Вестник УГАТУ. 2014. Т.18. № 1(62). С. 131-140.
7. Массель А.Г. Иванов Р.А. Ситуационный полигон как инструмент ситуационного управления в энергетике // IV Международная конференция OSTIS: труды. Беларусь. Минск. БГУИР. 2014. С. 277-280.
8. Массель Л.В., Иванов Р.А., Массель А.Г. Моделирование этапов принятия решений на основе сетецентрического подхода. Вестник ИрГТУ. №10 (81). 2013. С. 16-21.
9. Массель Л.В. Интеллектуализация поддержки принятия решений при моделировании и управлении режимами в Smart Grid // 9-я Международная конференция «Интеллектуализация обработки информации»: труды. Черногория. Будва. 2012. С. 692-695.
10. Массель Л.В., Массель А.Г. Ситуационное управление и семантическое моделирование в энергетике // IV Международная конференция OSTIS-2014: труды. Беларусь, Минск: БГУИР. 2014. Рр. 111-116.
11. Массель Л.В. Проблема построения интеллектуальных и программных компонентов Smart Grid и подход к ее решению на основе агентной технологии // XL Международная конференция «Информационные технологии в науке, образовании, телекоммуникации и бизнесе»: труды. Приложение к журналу «Открытое образование». Украина. Крым. 2012. С.22 – 25.
12. Массель Л.В., Пяткова Н.И., Массель А.Г. Адаптация методов ситуационного управления для решения задач оценки влияния угроз на состояние энергетической безопасности (в настоящем выпуске)
13. Методические вопросы исследования надежности систем энергетики. Вып. 64. «Надежность систем энергетики: достижения, проблемы, перспективы» // Отв. ред. Н.И. Воропай. Иркутск. ИСЭМ СО РАН. 2014. 568 с.
14. Осипов Г.С. От ситуационного управления к прикладной семиотике // Новости искусственного интеллекта. 2002. №6 (54). С. 2-12.
15. Поспелов Д.А. Ситуационное управление: теория и практика. М. Наука. 1986. 288 с.
16. Разин В.В, Тузовский А.Ф. Анализ ситуаций с применением семантических технологий // Доклады ТУСУР: «Управление, вычислительная техника и информатика». № 2(22). Ч. 2. 2010 [Электронный ресурс] – Режим доступа: URL: <http://www.tusur.ru/filearchive/reports-magazine/2010-2-2/238.pdf>

17. Сендеров С.М., Рабчук В.И., Пяткова Н.И. Анализ выполнения требований энергетической безопасности при реализации различных направлений развития ТЭК страны до 2020 г. // Известия РАН. Энергетика. 2009. № 5. С. 17-23.
18. Социальная психология. Словарь . Под. ред. М.Ю. Кондратьева.
19. Троцкий Д.В., Городецкий В.И. Сценарная модель и язык описания знаний для оценки и прогнозирования ситуаций // Труды СПИИ РАН. 2009. Вып. 8.
20. Филиппович А.Ю. Ситуационные центры: определения, структура и классификация // PCWeek/RE. 2003. №26 (392).
21. Christopher J. Matheus, Mieczyslaw M. Kokar, Kenneth Baclawski, Jarzy A. Letkowsky. / An Application of Semantic Web Technologies to Situation Awareness [Электронный ресурс]/ – Режим доступа: URL:
<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.90.1270&rep=rep1&type=pdf>
22. K. Baclawski, M. Kokar, C. Matheus, J. Letkowski and M. Malczewski. Formalization of Situation Awareness. In Practical Foundations of Behavioral Semantics, H. Kilov, K. Baclawski (Ed). Pp. 25-40. Kluwer Academic (2003) [Электронный ресурс]/ – Режим доступа: URL: <http://www.ccs.neu.edu/home/kenb/pub/2003/03/public.pdf>
23. Massel A.G., Ivanov R.A. Intelligent Situational modeling platform as a tool of contingency management in energy sector // The 16th Workshop on Computer Science and Information Technologies: Proceedings. Vol. 1. 2014. - England, Sheffield. - Pp. 14-17.
24. Massel L.V. Problems of the Smart Grid creation in Russia with a view to information and telecommunication technologies and proposed solutions / The 15th International Workshop on Computer Science and Information Technologies: Proceedings. Vol. 1. 2013. Ufa. UGATU. Pp. 115 – 120.
25. Norbert Baumgartner, Werner Retschitzegger, Wieland Schwinger //A Software Architecture for Ontology-Driven Situation Awareness [Электронный ресурс]/ - Режим доступа: URL: http://www.schwinger.at/PUBLICATIONS/11_2008_ACMSAC_A_Software_Framework_for_Ontology_Driven_Situation_Awareness.pdf.

UDK 004.822 : 004.89 : 620.9

**SITUATIONS MODELING IN THE TASKS
OF SITUATIONAL MANAGEMENT IN THE ENERGY SECTOR**

Tatiana N. Vorozhtsova

PhD, Melentiev Energy Systems Institute

Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences

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

Annotation. In the article the questions of modeling of knowledge when building intelligent systems, in particular, the problem of describing situations in the tasks of situational management in the energy sector. Ontologies are used as the primary means of identifying and structuring the main concepts and relationships in the subject area, as well as a means of their formal representation in the development of intelligent systems.

Keywords: Ontological model, situation, situation management, decision making, knowledge modeling.

References

1. Bol'shoj Ehnciklopedicheskij slovar'. [Great Encyclopedic Dictionary]. 2-e izd. M. «Bol'shaya Rossijskaya ehnciklopediya»= Great Russian Encyclopedia. SPb. «Norint». 1997. 1546 p. (in Russian).
2. Vittih V.A. Ponyatie intersub"ektivnosti v ehvergetike [The concept of intersubjectivity in Energetica] // Ontologiya proektirovaniya = Ontology design. 2014. № 4. Pp. 90-97 (in Russian).
3. Eremenko T.K., Pilipenko YU.G. Ontologicheskaya model' situacij dlya baz znaniy sistem podderzhki prinyatiya reshenij [An ontological model for knowledge bases of systems of support of decision-making] // Matematicheskie mashiny i sistemy = Mathematical Machines and Systems. 2010. № 3. Pp. 69 – 75 (in Russian).
4. Klykov YU.I. Situacionnoe upravlenie bol'shimi sistemami [Situational management of large systems] // M.: Energiya = Moscaw. Energy. 1984 (in Russian).
5. Kobec B.B., Volkova I.O. Innovacionnoe razvitie jelektrojenergetiki na baze koncepcii Smart Grid [The innovative development of electric power based on the concept of Smart Grid]. M. IAC Jenergija.= M. IAC Energy. 2010. 208 s. (in Russian).
6. Konev K.A., Shakirova G.R. Metasituacionnye modeli: koncepciya, arhitektura, primenenie v zadachah podderzhki prinyatiya reshenij [Meta-situational models: concept, architecture, application in tasks of decision support.] // Vestnik UGATU = Bulletin of Ufa State Aviation University. 2014. T.18. № 1(62). Pp. 131-140 (in Russian).
7. Massel' A.G. Ivanov R.A. Situacionnyj poligon kak instrument situacionnogo upravleniya v ehnergetike [Situational polygon as a tool for situational management in the energy sector] / IV Mezhdunarodnaja konferencija OSTIS-2014: trudy = IV International Conference OSTIS-2014: Proceedings. Minsk. BGUIR. = Belarus' State University of Informatics and Radiotechnics. Belarus'. Minsk. BGUIR. 2014. Pp. 277-280 (in Russian).
8. Massel' L.V., Ivanov R.A., Massel' A.G. Modelirovanie ehapov prinyatiya reshenij na osnove setecentricheskogo podhoda [Modeling of decision-making stages on the basis of network-centric approach // Vestnik IrGTU= Bulletin of the Irkutsk State Technical University. №10 (81). 2013. S. 16-22 (in Russian).
9. Massel' L.V. Intellektualizaciya podderzhki prinyatiya reshenij pri modelirovanii i upravlenii rezhimami v Smart Grid [Intellectualization of decision support in modeling and modes control of the Smart Grid] // 9-ja Mezhdunarodnaja konferencija «Intellektualizacija obrabotki informacii» : trudy.= 9th International Conference "intellectualization of information processing": Proceedings. Chernogorija. Budva. 2012 .- Pp. 692-695 (in Russian).
10. Massel' L.V., Massel' A.G. Situacionnoe upravlenie i semanticheskoe modelirovaniya v ehnergetike [Situational management and semantic modeling in the energy sector] // IV Mezhdunarodnaja konferencija OSTIS-2014: trudy. = IV International Conference OSTIS-2014: Proceedings. Minsk. BGUIR. = Belarus' State University of Informatics and Radiotechnics. 2014. S. 111-116 (in Russian).

11. Massel' L.V. Problema postroeniya intellektual'nyh i programmnyh komponentov Smart Grid i podhod k ee resheniyu na osnove agentnoj tekhnologii [The problem of constructing intelligent and software components of the Smart Grid and the approach to its solution based on agent technology] // XL Mezhdunarodnaja konferencija «Informacionnye tekhnologii v nauke, obrazovanii, telekommunikacii i biznese» : trudy. = International Conference "Information Technologies in science, education, telecommunications and business" : Proceedings. Prilozhenie k zhurnalu «Otkrytoe obrazovanie». Ukraina. Krym. = Supplement to the journal "Open Education". Ukraine. Crimea. 2012. Pp.22 – 25 (in Russian).
12. Massel' L.V., Pyatkova N.I., Massel' A.G. Adaptaciya metodov situacionnogo upravleniya dlya resheniya zadach ocenki vliyaniya ugroz na sostoyanie ehnergeticheskoy bezopasnosti [Adaptation of methods of situational management for solving problems of assessing the impact of threats to energy security] (in this issue) (in Russian).
13. Metodicheskie voprosy issledovaniya nadezhnosti sistem ehnergetiki. [Methodical questions of the reliability research of energy systems]. Vyp. 64. Nadezhnost' sistem ehnergetiki: dostizheniya, problemy, perspektivy // Otv. red. N.I. Voropaj. = Vol. 64. "Reliability of Energy Systems: Achievements, Problems and Prospects". By ed. N.I. Voropay. ISEM SO RAN. 2014. – 568 p. (in Russian).
14. Osipov G.S. Ot situacionnogo upravleniya k prikladnoj semiotike [From situational management to applied semiotics] / Novosti iskusstvennogo intelekta. = News of artificial intelligence. 2002. №6 (54). Pp. 2-12 (in Russian).
15. Pospelov D.A. Situacionnoe upravlenie: teoriya i praktika [Situational management: theory and practice] // M. Nauka. . = Moscow. Science. 1986. 288 p. (in Russian).
16. Razin V.V, Tuzovskij A.F. Analiz situacij s primeneniem semanticheskikh tehnologij // [Analysis of situations with the use of semantic technologies]. Doklady TUSUR: «Upravlenie, vychislitel'naja tehnika i informatika» = Management, Computer Science and Informatics. № 2(22). Ch. 2. 2010. [Jelektronnyj resurs]/ – Rezhim dostupa: URL: <http://www.tusur.ru/filearchive/reports-magazine/2010-2-2/238.pdf>. (in Russian).
17. Senderov S.M., Rabchuk V.I., Pyatkova N.I. Analiz vypolneniya trebovanij ehnergeticheskoy bezopasnosti pri realizacii razlichnyh napravlenij razvitiya TEHK strany do 2020 g. [Analysis of the requirements implementation of energy security in the realization of various directions of development of the country's energy sector up to 2020.] // Izv. RAN. Energetika.= News. Russian Academy of Sciences. Energetics. 2009. № 5. Pp. 17-23. (in Russian).
18. Social'naya psihologiya. Slovar' [Social psychology. Dictionary] / Pod. red. M.YU. Kondrat'eva (in Russian).
19. Trockij D.V., Gorodeckij V.I. Scenarnaya model' i yazyk opisaniya znaniy dlya ocenki i prognozirovaniya situacij [The scenario model and knowledge language for assessment and prediction of situations] // Trudy SPII RAN. 2009. Vyp. 8. = St. Petersburg Institute for Informatics and Automation of the Russian Academy of Sciences: proceedings. 2009. Issue 8. (in Russian).
20. Filippovich A.YU. Situacionnye centry: opredeleniya, struktura i klassifikaciya [Situational centers: definitions, structure and classification] // PCWeek/RE, 2003. №26 (392) (in Russian).

21. Christopher J. Matheus, Mieczyslaw M. Kokar, Kenneth Baclawski, Jarzy A. Letkowsky. / An Application of Semantic Web Technologies to Situation Awareness [Электронный ресурс] – Режим доступа: URL: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.90.1270&rep=rep1&type=pdf>
22. K. Baclawski, M. Kokar, C. Matheus, J. Letkowski and M. Malczewski. Formalization of Situation Awareness. In Practical Foundations of Behavioral Semantics, H. Kilov, K. Baclawski (Ed), pages 25-40. Kluwer Academic. (2003) [Электронный ресурс] – Режим доступа: URL: <http://www.ccs.neu.edu/home/kenb/pub/2003/03/public.pdf>
23. Massel A.G., Ivanov R.A. Intelligent Situational modeling platform as a tool of contingency management in energy sector. / Proceedings of the Workshop on Computer Science and Information Technologies, vol. 1, 2014. - England, Sheffield. - P. 14-17.
24. Massel L.V. Problems of the Smart Grid creation in Russia with a view to information and telecommunication technologies and proposed solutions / The 15 International Workshop on Computer Science and Information Technologies (CSIT'2013). – Ufa: UGATU, 2013. – Vol. 1. - P. 115 – 120.
25. Norbert Baumgartner, Werner Retschitzegger, Wieland Schwinger /A Software Architecture for Ontology-Driven Situation Awareness [Электронный ресурс] / - Режим доступа: URL: http://www.schwinger.at/PUBLICATIONS/11_2008_ACMSAC_A_Software_Framework_for_Ontology_Driven_Situation_Awareness.pdf.

КОНЦЕПЦИЯ ЗНАКА В КОНТЕКСТЕ НЕОГЕОГРАФИИ

Еремченко Евгений Николаевич

Группа Неогеография, г. Протвино

e-mail: eugene.ermchenko@gmail.com

Аннотация. В статье рассматривается новое направление визуальной аналитики – неогеография, основанное на использовании ГИС-сервисов, например, Google Maps и Google Earth. Предлагается расширить применение семиотики в картографии в рамках интеграции направлений «Неогеография» и «Метакартосемиотика». Обосновывается необходимость введения понятия нулевого знака для обозначения «беззнакового» способа передачи информации. Работа выполнена при частичной финансовой поддержке гранта РФФИ №13-05-12011 офи_м.

Ключевые слова: знак, неогеография, семиотика.

Введение. Наглядно проявившаяся в новом направлении визуальной аналитики – неогеографии – тенденция к представлению общегеографического контекста не с помощью привычных условных знаков, но посредством не опосредованных, документально точных изображений местности нуждается в обсуждении с позиций семиотики. Эту тенденцию можно рассматривать либо как тенденцию к отказу от досконально разработанных картосемиотических знаковых комплексов и редукцию к наиболее простым, так называемым «иконическим», знакам, либо как отказ от знаковости вообще. Проблема редукции знаков или отказа от них является отражением более существенной проблемы общей семиотики, связанной с отсутствием явно сформулированного критерия, позволяющего отличить знак от иных возможных носителей информации. Предлагается ввести в семиотику представление о «нулевом» знаке по аналогии с нулём в математике. Подобную конструкцию можно было бы использовать для обозначения способа передачи информации, не использующего знаки, т.е. имеющего «нулевой» уровень знаковости. Концепция «нулевого» знака может быть использована как для анализа особенностей восприятия информации субъектом, так и для прояснения особенностей генезиса знаков как таковых.

1. Определение понятия «неогеография». В 2005 году в сети Интернет появились два географических сервиса, кардинально отличных от привычных карт и геоинформационных систем (ГИС) – геопортал Google Maps и геоинтерфейс Google Earth. Одной из наиболее очевидных особенностей нового феномена, названного неогеографией, стало широкое использование для представления общегеографического контекста не привычных картографических знаков, но непосредственных изображений местности, полученных средствами дистанционного зондирования Земли – в первую очередь, космических снимков [3]. Новые сервисы обрели беспрецедентную популярность (десять лет спустя счёт количеству загрузок клиентского ПО для геоинтерфейса Google Earth идёт на миллиарды) [8]. Такой популярностью они обязаны функциональности, информационной насыщенности и удобству в использовании. Фактор, обуславливающий эту новизну, неясен и до сих пор является предметом оживлённых дискуссий [7].

Согласно определению неогеографии [3], использование растрового (т. е. не опосредованного условными знаками), а не векторного (т. е. основывающегося на использовании условных знаков) представления общегеографического контекста является одним из трёх признаков, позволяющих отличить неогеографические продукты и сервисы от аналогичных по назначению, но выполненных в парадигме классической картографии продуктов и сервисов. Наглядное, не опосредованное картографическими условностями представление Земли как единого целого сразу выделило геоинтерфейс Google Earth среди множества хорошо известных и доступных пользователям, в том числе в сети Интернет, картографических продуктов – карт, ГИС, цифровых глобусов и т. д. А поскольку картография построена на обязательном использовании знаков [2], возник вопрос о правомерности отнесения неогеографических продуктов вроде Google Earth к сфере картографии вообще.

Переход от условных знаков к наглядным изображениям местности и причины такого перехода естественно рассмотреть с позиций семиотики.

2. Проблема неогеографии с точки зрения семиотики. Картографические знаки как таковые исследует картосемиотика. В литературе предпринимаются попытки систематизировать весь спектр определений этой относительно новой научной дисциплины [3]; в данном случае под ней будем понимать направление на стыке картографии и семиотики, изучающее особенности использования знаков для представления геопространственного контекста.

В общей семиотике с момента её зарождения в качестве науки была введена очевидная классификация знаков по степени их абстрактности – например, в классификации Пирса выделялись знаки-иконы, знаки-индексы и знаки-символы. Знаки-иконы, или иконические знаки, определялись как знаки, морфологически напоминающие означаемое (например, рисунок дерева есть иконический знак, изображающий дерево) и представлявшиеся поэтому наиболее простыми, примитивными и первичными. Наоборот, знаки условные рассматривались как более совершенный семиотический инструментальный, возникший в процессе развития человечества в результате качественной эволюции иконических знаков. Современные классификации знаков представляют собой многоярусные иерархические эволюционные пирамиды, в основании которых лежат знаки иконические, а вершиной являются знаки предельно абстрактные – например, «формализованные системы второго порядка» в шестиярусной пирамидальной структуре [11].

Следует отметить, что картография явилась первой или одной из первых практик, в которой человек стал использовать знаковые опосредующие механизмы. Первая из известных нам «настоящих» карт, выполненная с помощью условных знаков и с применением всех базовых принципов картографии: 1) использование условных знаков; 2) использование картографической проекции; 3) генерализация, - была обнаружена в ходе раскопок древнего города Чатал-Гуюк в Малой Азии на территории нынешней Турции [6]. Она датируется седьмым тысячелетием до н.э. Это означает, что карта Чатал-Гуюка примерно в два раза старше самых ранних египетских иероглифов.

На протяжении более чем восьми тысяч лет знаковый инструментальный картографии непрерывно совершенствовался и к нашему времени достиг образцового совершенства и лаконичности. Поэтому неожиданный отказ от использования условных знаков не только как

единственного, но и как основного средства передачи общегеографического контекста в продуктах класса Google Earth, выглядит парадоксальным и требующим объяснения.

В настоящее время факт так называемой редукции знаков в картографии может считаться общепризнанным в картосемиотике. Его обсуждение проходит, в частности, в рамках исследовательской программы «Неогеография + Метакартосемиотика» [1]. Ведётся полемика о масштабах такой редукции. В ней сформировались две полярные позиции.

Согласной одной из них, в неогеографии наблюдается возврат к более примитивным иконическим знакам, но не отказ от знаковости вообще. Иными словами, неогеографические продукты не покидают сферу семиотической реальности. Согласно другой, тенденция к использованию изображений вместо условных знаков говорит об использовании в данном случае иных механизмов восприятия пространства, нежели механизмы знаковые и, следовательно, к отказу от передачи информации посредством знаков вообще.

Последняя точка зрения, которой придерживаются авторы данной работы, эквивалентна утверждению о наличии как минимум двух независимых каналов восприятия внешней реальности субъектом. Один из них связан с непосредственным, т. е. не опосредованным какими-либо условностями восприятием мира посредством органов чувств (так называемой перцепцией). Другой предполагает использование знаков как коммуникационного инструментария.

3. О необходимости введения нулевого знака в семиотику. Эта точка зрения эквивалентна тезису о введении в семиотику представления об особом «нулевом» знаке, аналогичном нулю в математике и обозначающем способ передачи информации, не использующий знаки т. е. имеющий «нулевую» знаковость [9, 10].

Представление о существовании нулевого знака никоим образом не затрагивает существующую семиотику – он относится лишь к гипотетическим объектам, которые находятся вне текущей семиотической реальности. Вместе с тем, введение нулевого знака видится актуальным и оправданным по ряду причин.

Во-первых, с помощью такого понятия можно исследовать феномены прямого восприятия внешней реальности субъектом.

Во-вторых, он открывает перспективу изучения генезиса знаков, поскольку признание искусственности знаков естественным образом предполагает, что до определённого момента субъект уже существовал и мыслил, а знаковая реальность ещё отсутствовала как таковая. Естественно поэтому описывать коммуникационные механизмы этого этапа как принципиально беззнаковые. Описать генезис знаков без инструментария, аналогичного знаку нулевому, по-видимому, невозможно в принципе.

В-третьих, введение понятия о нулевом знаке поможет прояснить природу так называемых знаков иконических, к которым в настоящее время относят все изображения без исключения. Изначально иконические знаки отождествлялись с рисунками, т. е. с созданными искусственно морфологическими подобиями внешней реальности. С появлением средств непосредственной фиксации изображений – фотоаппаратов и, в дальнейшем, более совершенных устройств – получаемые с их помощью изображения тоже автоматически отнесли к знакам иконическим. Однако неясно, насколько обосновано распространение понятия об иконических знаках ещё и на изображения, получаемые аппаратными средствами – например, системами дистанционного зондирования.

Сегодня технологический прогресс позволяет создавать изображения, максимально близкие к образу, получаемому субъектом посредством прямого чувственного восприятия. В таких видах изображений, как изображения панорамные, отсутствует даже такой малый элемент субъективизма, присущий фотографическим изображениям, как выбор ракурса съёмки. Поэтому вопрос о разграничении, с одной стороны, чувственного восприятия, и, с другой – восприятия посредством знаков, является правомочным, а как показывает стремительный рост популярности неогеографии – вопросом актуальным и насущным.

В-четвёртых, феномен неогеографии может рассматриваться в качестве частного случая общекультурной тенденции к минимизации знаковой компоненты в коммуникации, проявляющейся в феномене научной визуализации [5]. Стремление к замещению восприятия сверхбольших объёмов данных посредством условных знаков их отображением в виде визуальных образов может рассматриваться как дополнительное подтверждение как наличия альтернативного канала восприятия внешней реальности, нежели канал знаковый, так и высокой эффективности первого.

4. Выводы. Предлагаемая концепция «нулевого» знака эквивалентна утверждению о наличии у субъекта особого канала восприятия внешней реальности (по крайней мере, пространственного аспекта внешней реальности), отличного от канала знакового, причём эффективность этого альтернативного канала существенно превышает эффективность канала знакового. Такое утверждение носит гипотетический характер. Для его подтверждения видится необходимым проведение комплекса междисциплинарных исследований в области восприятия пространства и времени субъектом, опыта восстановления в реальном режиме времени 3D-моделей реальной обстановки в живой природе, особенно организмами, заведомо неспособными к использованию знаков, а также опыта использования современных продуктов класса Google Earth в области географии и картографии. В настоящее время данная проблематика обсуждается в рамках исследовательской программы «Неогеография + Метакартосемиотика», однако её междисциплинарный характер видится необходимым значительно расширить.

Следует особо отметить также тот факт, что предлагаемая исследовательская программа, несмотря на свой очевидно фундаментальный характер, отличается безусловной актуальностью и злободневностью. Стремительное распространение геоинтерфейсов класса Google Earth в системах управления, очевидное наличие в них особого качества восприятия общегеографического контекста и беспрецедентная популярность свидетельствуют в пользу того, что геопространственные системы, в которых знаковая компонента сведена к минимуму, обладают существенно более высокими тактико-техническими и пользовательскими характеристиками, нежели системы, построенные на использовании даже самых изощрённых систем представления геопространственной обстановки с использованием условных знаков.

Заключение. В статье предлагается расширить применение семиотики в картографии в рамках интеграции направлений «Неогеография» и «Метакартосемиотика». Предлагается ввести понятие нулевого знака для обозначения «беззнакового» способа передачи информации. Работа выполнена при частичной финансовой поддержке гранта РФФИ №13-05-12011 офи_м.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Альманах «Геоконтекст». <http://geo-context.org/index.php/ru/> Проверено: 20 декабря 2015 г.
2. Володченко А. Карто семиотика (e-lexicon) http://meta-carto-semiotics.org/uploads/mcs_vol2_2009/wolodtschenko_eLexikon2009.pdf Проверено: 20 декабря 2015 г.
3. Ерёмченко Е. Неогеография: особенности и возможности. Материалы IX Международного форума "Высокие технологии XXI века. Москва, 2008. С. 170–179
4. Тикунов В., Ерёмченко Е. Цифровая земля и картография. Геодезия и картография. 2015. № 11. С. 14–23. Цифровая_земля_и_картография_ГиК_11_2015.
5. Aleshin A., Afanas'ev V., Brusencev P. et al. Modern information technology: Information visualization, virtual environment, neo-geography, tangible image. - Scientific Visualization. 2013. Vol. 5, no. 4. Pp. 1–17.
6. Axel K. Schmitt, Martin Danisik, Erkan Aydar, et al. Identifying the Volcanic Eruption Depicted in a Neolithic Painting at Catalhoyuk, Central Anatolia, Turkey / PLOS One 9(1). - University of Oxford, United Kingdom, 2014. Pp. 1-10.
7. Eremchenko E., Tikunov V., Ivanov R., Massel L., Strobl J.. Digital Earth and Evolution of Cartography. Procedia Computer Science. Volume 66, 2015. Pp 235–238. Published by Elsevier.
8. Happy 10th birthday + Google Earth! <https://plus.google.com/+GoogleMaps/posts/ViGhq5Ztu8k> Проверено: 20 декабря 2015 г.
9. Massel L.V., Eremchenko E.N. Cognitive graphics and images in geography / New Semiotics: Between Tradition and Innovation. Abstracts of 12th World Congress on Semiotic (IASS/AIS). – Bulgaria, Sofia: New Bulgarian University, 2014. Pp.181-182.
10. Massel L.V, Eremchenko E.N. Cognitive graphics and new concepts in semiotics. Proceeding of International Workshop "Contingency management, intelligent, agent-based computing and cyber security in energy sector" (CM/IAC/CS/ES-2015). Russia, Irkutsk: MESI, 2015. Pp. 28-29.
11. Solomonick, Abraham. A Theory of General Semiotics: The Science of Signs, Sign-Systems, and Semiotic Reality. Cambridge Scholars Publishing. 2015. P. 399. ISBN-13: 978-1443877183

UDK 003.62 : 004.93

CONCEPTION OF SIGN IN THE NEOGEOGRAPHY CONTEXT

Eugene N. Eremchenko

Neogeography Group, Protvino

e-mail: eugene.ermchenko@gmail.com

Annotation. The article proposes to extend the application of semiotics to cartography as part of integration trends "Neogeography" and "Metakartosemiotika." It is proposed to introduce the concept of the zero-sign to indicate "unsigned" method of transmitting information.

This work was partially supported by grant RFFI №13-05-12011 ofi_m.

Keywords: sign, neogeography, semiotics

References

1. Al'manah «Geokontekst» [Almanac "Geokontekst"]. <http://geo-context.org/index.php/ru/> Provereno: 20.12.2015. (in Russian)
2. Wolodchenko A. Kartosemiotika (e-lexicon) http://meta-carto-semiotics.org/uploads/mcs_vol2_2009/wolodtschenko_eLexikon2009.pdf Provereno: 20.12.2015.
3. Eremchenko E. Neogeografija: osobennosti i vozmozhnosti. Materialy IX Mezhdunarodnogo foruma "Vysokie tehnologii XXI veka. Moskva, 2008. S. 170–170 [Neogeography: features and capabilities] (in Russian)
4. Tikunov V., Eremchenko E. Cifrovaja zemlja i kartografija. Geodezija i kartografija. [Digital Land and Cartography. Geodesy and Cartography] 2015. № 11. S. 14–23. (in Russian).
5. Aleshin A., Afanas'ev V., Brusencev P. et al. Modern information technology: Information visualization, virtual environment, neo-geography, tangible image. - Scientific Visualization. 2013. Vol. 5, no. 4. Pp. 1–17.
6. Axel K. Schmitt, Martin Danisik, Erkan Aydar, et al. Identifying the Volcanic Eruption Depicted in a Neolithic Painting at Catalhoyuk, Central Anatolia, Turkey / PLOS One 9(1). - University of Oxford, United Kingdom, 2014. Pp. 1-10.
7. Eremchenko E., Tikunov V., Ivanov R., Massel L., Strobl J. Digital Earth and Evolution of Cartography. Procedia Computer Science. Volume 66, 2015. Pp 235–238. Published by Elsevier.
8. Happy 10th birthday + Google Earth! <https://plus.google.com/+GoogleMaps/posts/ViGhq5Ztu8k> Проверено: 20 декабря 2015 г.
9. Massel L., Eremchenko E. Cognitive graphics and images in geography / New Semiotics: Between Tradition and Innovation. Abstracts of 12th World Congress on Semiotic (IASS/AIS). – Bulgaria, Sofia: New Bulgarian University, 2014. Pp.181-182.
10. Massel L., Eremchenko E. Cognitive graphics and new concepts in semiotics. Proceeding of International Workshop "Contingency management, intelligent, agent-based computing and cyber security in energy sector" (CM/IAC/CS/ES-2015). Russia, Irkutsk: MESI, 2015. Pp. 28-29.
11. Solomonick, Abraham. A Theory of General Semiotics: The Science of Signs, Sign-Systems, and Semiotic Reality. Cambridge Scholars Publishing. 2015. P. 399. ISBN-13: 978-1443877183

ПРИМЕНЕНИЕ РАСПРЕДЕЛЁННЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ КРИТИЧЕСКИ ВАЖНЫХ ОБЪЕКТОВ ГАЗОТРАНСПОРТНОЙ СЕТИ РОССИИ

Еделев Алексей Владимирович¹

К.т.н., старший научный сотрудник, e-mail: flower@isem.irk.ru

Сендеров Сергей Михайлович¹

Д.т.н., заместитель директора, e-mail: ssm@isem.irk.ru

Сидоров Иван Александрович²

К.т.н., научный сотрудник, e-mail: ivan.sidorov@icc.ru

¹ФГБУН Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева СО РАН,

664033 г. Иркутск, ул. Лермонтова 130

²ФГБУН Институт динамики систем и теории управления СО РАН,

664033 г. Иркутск, ул. Лермонтова 134

Аннотация. Статья посвящена решению проблемы формирования перечня критически важных объектов газотранспортной сети России с учетом требований энергетической безопасности. Предложен подход выделения критически важных объектов энергетических систем в зависимости от их влияния на общую работоспособность системы. Осуществляется это путём анализа уровня негативных последствий для потребителей от прекращения или нарушения работы конкретного объекта. Анализ осуществляется с помощью распределённой вычислительной среды, которая формируется средствами программно-вычислительного комплекса «Нефть и газ России» и инструментария DISCOMP, предназначенного для организации многовариантных численных экспериментов в разнородных распределённых вычислительных средах.

Ключевые слова: энергетическая безопасность, программно-вычислительный комплекс, система энергетики, распределённая вычислительная среда

Введение. В 2012 г. МЧС России утвердило Методику отнесения объектов государственной и негосударственной собственности к критически важным объектам для национальной безопасности Российской Федерации [3]. Рассмотрение такой важной составляющей национальной безопасности страны, каковой является энергетическая безопасность (ЭБ) [6], делает необходимым выделение таких же критически важных объектов (КВО) для топливно-энергетического комплекса (ТЭК) в целом и для отдельных систем энергетики (СЭ). Дополнительное обоснование такой необходимости состоит в том, что функционирование ТЭК и составляющих его СЭ является важнейшим фактором обеспечения нормальной жизнедеятельности экономики, как всей страны, так и отдельных ее регионов.

Рассмотрение такого аспекта ЭБ, как создание условий для максимально возможной степени удовлетворения энергоресурсами потребителей в условиях чрезвычайных ситуаций (ЧС) требует выделения КВО в ТЭК, т.е. тех объектов, частичный или полный выход из строя которых (во время ЧС) может нанести стране максимальный ущерб со стороны ТЭК. Выделение КВО ТЭК непосредственно связано с двумя важнейшими задачами:

- выявление и нейтрализация разного рода угроз устойчивому топливно- и энергоснабжению потребителей (включая угрозы реализации террористических актов на объектах ТЭК);
- заблаговременная подготовка объектов и систем ТЭК к работе во время ЧС, вызванных реализацией угроз различного вида.

1. Методика формирования перечня критически важных объектов газотранспортной сети. Для европейской части России и Урала, где проживает более 82% населения страны, основной вид топлива – природный газ. В целом по стране доля газа в балансе котельно-печного топлива (КПТ) составляет около 77%. В значительной части регионов его доля в балансе КПТ превышает 90-95%, а иногда доходит и до 99%.

На территории России сосредоточены значительные запасы газа (полуострова Ямал, Гыдан, шельф Баренцева и Карского морей). В стране функционирует разветвленная система магистральных газо- и нефтепроводов и сложнейшая географически распределенная система топливно- и энергоснабжения, охватывающая всю территорию России. Сложившаяся территориальная структура системы газоснабжения России обуславливает ее существенные недостатки. Например, европейская часть страны не обеспечена собственными запасами топливно-энергетических ресурсов. Здесь в основном используется природный газ, более 90% которого добывается в одном газодобывающем районе (Надым-Пур-Тазовский район Тюменской области). Этот район находится в 2–2,5 тыс. км от мест основного потребления газа. Таким образом, практически весь российский газ транспортируется на дальние расстояния по системам магистральных газопроводов, имеющим большое количество взаимных пересечений и перемычек, к тому же нитки мощных магистральных газопроводов часто проложены на малом расстоянии друг от друга. В настоящее время в газотранспортной системе (ГТС) России можно отметить более 20-ти потенциально опасных для функционирования системы пересечений магистральных газопроводов.

На современном этапе, в качестве КВО в ГТС Единой системы газоснабжения (ЕСГ) можно рассматривать следующие виды объектов: головные компрессорные станции (КС) на месторождениях, подземные хранилища газа (ПХГ), линейную часть магистральных газопроводов (МГ).

Критически важным при этом предлагается считать каждый объект, при нарушении работы которого, суммарная относительная недопоставка газа потребителям составит 5% и более от суммарной потребности в газе (потребление внутри страны и поставки на экспорт) по системе. Данная величина (5%) была обоснована в результате многоитерационных расчётов при решении задачи о максимальном потоке минимальной стоимости [5, 7] и позволяет выделить в качестве КВО ограниченное число объектов (ориентировочно 20–30).

Количество объектов добычи газа и ПХГ в ГТС относительно невелико и расчёты по последствиям нарушения работы каждого из таких объектов могут быть проведены вручную. Количество дуг магистрального транспорта газа в ГТС и количество пересечений этих дуг настолько велико, что проверку значимости каждой дуги или каждого пересечения для решения общих задач системы целесообразно проводить с помощью вычислений в распределённой вычислительной среде (РВС).

Итак, для ГТС России на предмет формирования перечня КВО с позиций живучести ЕСГ рассмотрим многочисленные пересечения коридоров магистральных газопроводов или

отдельно идущих магистральных газопроводов. При этом придётся рассматривать как пересечения магистральных газопроводов на узловых КС, так и пересечения вне КС.

Методика формирования перечня КВО ГТС состоит из следующих шагов:

- 1) формируется полный список пересечений магистральных газопроводов;
- 2) в результате многовариантных расчётов при решении задачи определения максимального потока минимальной стоимости определяется суммарный дефицит газа у потребителей при нарушении работы каждого из пересечений;
- 3) все пересечения ранжируются в списке в зависимости от величины суммарной относительной недопоставки газа потребителям при нарушении работы конкретного пересечения;
- 4) все пересечения, при нарушении работы которых суммарная относительная недопоставка газа потребителям составит 5% и более суммарной потребности в газе по системе (учитываются и внутренние потребности страны и потребности экспорта), считаются критически важными и формируют перечень КВО ГТС;
- 5) для каждого пересечения из перечня КВО выделяется перечень субъектов России, потенциально страдающих от дефицита газа при нарушении работы данного пересечения, с характеристиками соответствующих относительных недопоставок газа по каждому из субъектов;
- 6) для каждого пересечения из перечня КВО решается задача об оптимальном преобразовании сети [1] и на этой основе определяются мероприятия, позволяющие минимизировать дефицит газа у потребителей путём расшивки «узких мест», образовавшихся при нарушении работы данного пересечения;
- 7) в результате расчётов при решении задачи об оптимальном преобразовании сети формируется перечень инвариантных мероприятий, реализация которых позволит снизить негативные последствия от нарушения работы большего числа пересечений из перечня КВО и тем самым понижения рейтинга отдельных КВО вплоть до исключения их из списка КВО.

2. Программно-вычислительный комплекс "Нефть и газ России". Для исследования функционирования СЭ при различных условиях работы и оказания помощи в определении «узких» мест, сдерживающих возможности удовлетворения потребности отдельных районов, был разработан программно-вычислительный комплекс (ПВК) "Нефть и газ России" [9], современная архитектура которого показана на рис. 1.

Исходная информация по СЭ импортируется из внешнего источника данных. На основе исходной информации строится схема СЭ, представляющая собой ориентированный граф. В зависимости от цели исследования граф СЭ при расчёте преобразуется в одну из следующих задач потокораспределения:

- нахождение максимального потока минимальной стоимости;
- оптимальное преобразование сети;
- распределение излишков добытого или выработанного энергоресурса.

Непосредственный расчёт задачи потокораспределения осуществляется с помощью решателя `lp_solve` [8].

Современная архитектура ПВК "Нефть и газ России" учитывает использование его модулей в распределённой вычислительной среде (РВС), поэтому в случае необходимости множественных расчётов при решении задачи потокораспределения может быть распределён

по вычислительным узлам РВС. Для последних разработан расчётный модуль, вызываемый из командной строки.

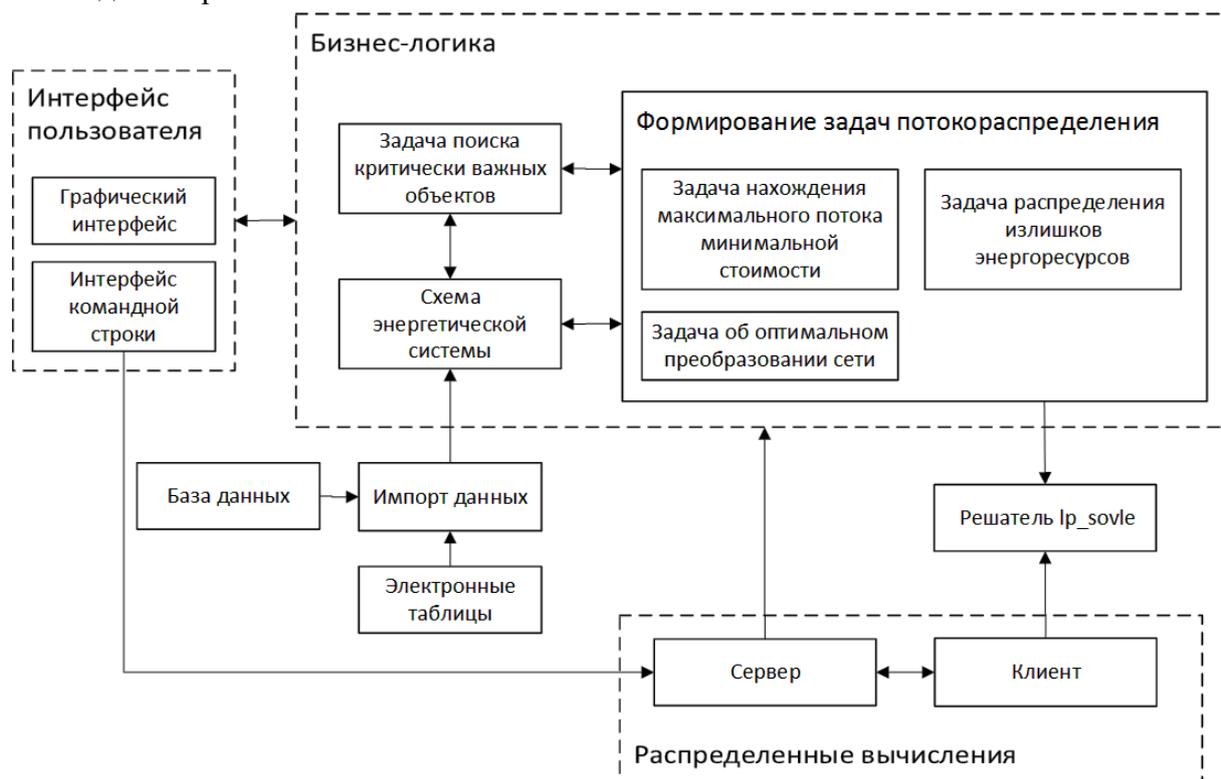


Рис. 1. Функциональная схема ПВК "Нефть и газ России"

Для однократных расчётов задачи потокораспределения и дальнейшего анализа результатов расчёта используется специализированная геоинформационная система (ГИС) [2]. В ГИС схема СЭ представлена в виде электронной карты, состоящей из двух слоёв с векторными данными. Первый слой, представленный точечными объектами, характеризует состояние производителей, а также показывает, полностью ли удовлетворены нужды потребителей энергоресурса. Второй слой, представленный линиями, даёт представление о степени загруженности транспортной подсистемы. С точечными объектами первого слоя связывается атрибутивная информация о производстве и потреблении энергоресурса, а с линиями второго слоя - информация об участках магистральных трубопроводов (пропускная способность, количество труб, их диаметр и т.д.).

Характеристика текущего режима работы объектов системы энергетики определяется в результате расчёта задачи потокораспределения и отображается цветом компонентов векторных слоёв. Например, для производителей и транспорта ТЭР чёрный цвет означает, что объект работает в нормальном режиме с определённым запасом по производственным мощностям, красный – объект полностью загружен (никакого запаса по производственным мощностям нет), синий – объект не был задействован (по разным причинам, определяемым в ходе специального анализа).

3. Реализация методики определения критически важных объектов газотранспортной сети. Вследствие большого размера списка пересечений магистральных газопроводов многовариантные расчёты при решении задачи определения максимального потока минимальной стоимости для определения суммарного дефицита газа у потребителей при нарушении работы каждого из пересечений проводятся с помощью инструментария

DISCOMP [4], предназначенного для организации многовариантных численных экспериментов в разнородных РВС. DISCOMP имеет клиент-серверную архитектуру, в рамках которой клиентские приложения выполняют функции обработки отдельных вариантов данных расчетным модулем на доступных узлах РВС, а серверное приложение выполняет функции координации процесса распределенных вычислений и взаимодействия с ПВК "Нефть и газ России". Вычислительные модули DISCOMP представляют собой исполняемые программы. Удаленный запуск модулей, обмен данными между модулями через файлы и мониторинг узлов РВС реализуются средствами системной части DISCOMP.

Для организации процесса распределённых вычислений реализованы три базовых модуля (рис. 2):

- модуль генерации вариантов расчётных данных (m_1),
- модуль параллельной обработки вариантов данных (m_2),
- модуль анализа результатов (m_3).

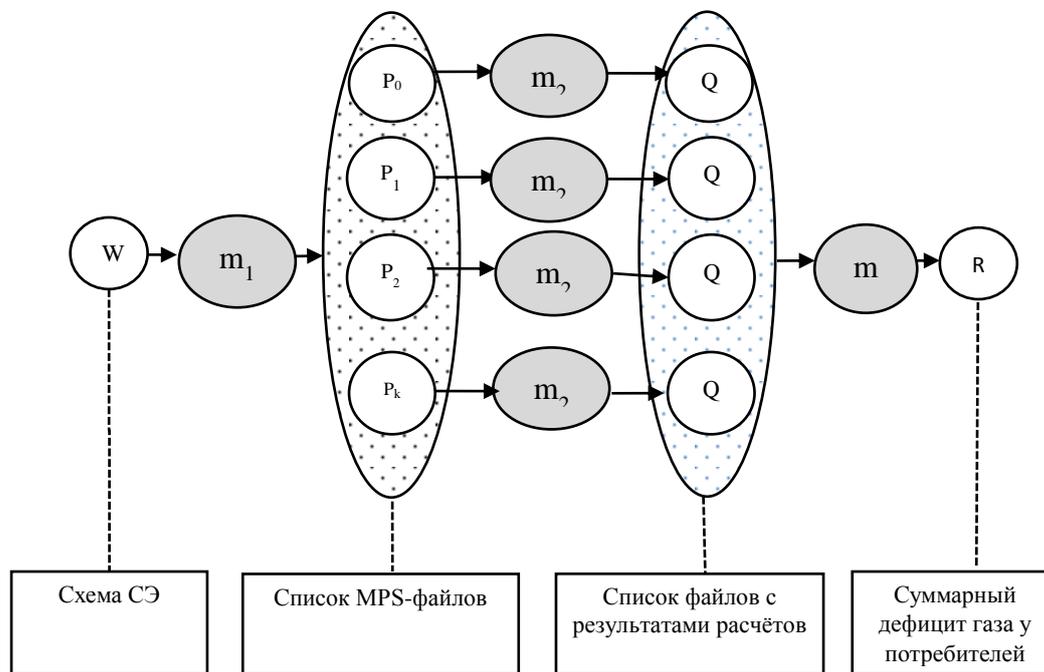


Рис. 2. Схема взаимодействия модулей в РВС

На вход модулю m_1 передаётся XML-файл W со схемой СЭ, заранее созданной специализированной ГИС. В процессе выполнения модуль m_1 формирует полный список пересечений магистральных газопроводов. Для каждого пересечения в схеме СЭ реализуется нарушение его работы, затем схема СЭ преобразуется в задачу нахождения максимального потока минимальной стоимости и результат записывается в текстовый файл формате MPS P_i .

Модуль m_2 принимает на вход один из вариантов данных $P_0..P_k$, производит расчёт задачи максимального потока минимальной стоимости и результаты расчёта записывает в выходной текстовый файл Q_i .

Модуль m_3 получает на вход все результаты $Q_0..Q_k$, полученные в результате работы модуля m_2 , распределяет полученные значения потока по дугам схемы СЭ и рассчитывает суммарный дефицит газа у потребителей.

Для взаимодействия инструментария DISCOMP с ПВК "Нефть и газ России" используется API интерфейс, реализованный на базе протокола XML-RPC.

Заключение. В статье описана методика выбора КВО газовой отрасли и её реализация на основе РВС, которая обеспечивается средствами ПВК «Нефть и газ России» и инструментария DISCOMP, предназначенного для организации многовариантных численных экспериментов в разнородных РВС.

Используя представленную выше методику обоснования перечня КВО, были проведены тестовые расчёты для выделения узловых КС и мест пересечения коридоров магистральных газопроводов, располагающихся между КС, отключение которых приведёт к суммарному потенциальному дефициту газа у потребителей в относительном объёме 5% и более.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Воробьев С.В., Еделев А.В. Методика определения узких мест в работе больших трубопроводных систем // Программные продукты и системы. 2014. № 3. С. 174–177.
2. Еделев А.В., Сендеров С. М. Интегрированная инструментальная среда ПВК "Нефть и газ России" // Всероссийская конференция: «Информационные технологии в энергетике: современные подходы к анализу и обработке информации»: труды. Иркутск: ИСЭМ СО РАН. 2000. 176 с. С. 165–169.
3. Методика отнесения объектов государственной и негосударственной собственности к критически важным объектам для национальной безопасности Российской Федерации. Режим доступа <http://central.mchs.ru/upload/site4/filesbea08465669b520c2603f73058fe188a.pdf> (дата обращения 26.12.2015).
4. Сидоров И.А., Опарин Г.А., Феоктистов А.Г. Разработка и применение распределенных пакетов прикладных программ // Программные продукты и системы. 2010. № 2. С. 108–111.
5. Храмов А.В., Еникеева С.М., Хрусталева Н.М. и др. Программное и информационное обеспечение решения задач живучести Единой системы газоснабжения СССР // Методы и модели исследования живучести систем энергетики. Под ред. Руденко Ю.Н. Новосибирск: Наука. Сиб. Отд. 1990. С.86-91.
6. Энергетическая безопасность России: проблемы и пути решения // Н.И. Пяткова, В.И. Рабчук, С.М. Сендеров и др. Отв. ред. Н.И. Воропай, М.Б. Чельцов. Новосибирск: Изд-во СО РАН. 2011. 198 с.
7. Ford L. R., Jr, Fulkerson D. R. Flows in Networks. Princeton, N. J.: Princeton University Press, 1962. 276 с. [Форд Л. Р., Фалкерсон Д. Р. Поток в сетях. М. Мир. 1963].
8. Mixed Integer Linear Programming (MILP) solver Ip_solve. Режим доступа <http://sourceforge.net/projects/lpsolve> (дата обращения 26.12.2015).
9. Voropai N.I., Senderov S.M., Edelev A.V. Detection of “Bottlenecks” and ways to overcome emergency situations in gas transportation networks on the example of the European gas pipeline network // Energy. 2012. Vol.42. №1. P.3-9. DOI: 10.1016/j.energy.2011.07.038

THE APPLICATION OF DISTRIBUTED COMPUTATIONS FOR IDENTIFICATION OF CRITICAL FACILITIES IN THE GAS TRANSPORT NETWORK OF RUSSIA

Alexey V. Edelev¹

PhD., Senior researcher, e-mail: flower@isem.irk.ru

Sergey M. Senderov¹

Dr., Dep. director, e-mail: ssm@isem.irk.ru

Ivan A. Sidorov²

PhD., Researcher, e-mail: ivan.sidorov@icc.ru

¹Melentiev Energy Systems Institute of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences
130, Lermontov Str., 664033, Irkutsk, Russia,

²Matrosov Institute for System Dynamics and Control Theory of Siberian Branch
of Russian Academy of Sciences,
134, Lermontov Str., Post Box 292, 664033, Irkutsk, Russia

Annotation. The article is devoted to solving the problems of formation of the list of critical facilities gas pipeline network in Russia to meet the requirements of energy security. The approach highlights critical energy systems based on their impact on the overall performance of the system. This is done by analyzing the level of negative consequences for consumers of the termination or violation of a particular object. The analysis is carried out using a distributed computational environment-you, which is formed by means of software and computing complex "Oil and Gas in Russia" and tools DISCOMP, intended for organization-of multivariate numerical experiments in heterogeneous distributed computational-enforcement environments.

Keywords: energy security, software, energy system, distributed computing environment

References

1. Vorobiev S.V., Edelev A.V. Metodika opredelenija uzkih mest v rabote bol'shih truboprovodnyh sistem [Methods of determining the bottlenecks of large pipeline systems]. Programmnye produkty i sistemy = Software & Systems. 2014. №. 3. Pp. 174–177 (in Russian).
2. Edelev A.V., Senderov S.M. Integrirovannaja instrumental'naja sreda PVK "Neft' i gaz Rossii" [An integrated software environment "Russia Oil and Gas"]. Vserossijskaja konferencija "Informacionnye tehnologii v jenergetike: sovremennye podhody k analizu i obrabotke informacii": trudy. =All-Russian conference "Information technology in the energy sector: modern approaches to the analysis and processing of information": Proceedings. 2000. Pp. 165–169 (in Russian).
3. Metodika otnesenija obektov gosudarstvennoj i negosudarstvennoj sobstvennosti k kriticheski vazhnym obektam dlja nacional'noj bezopasnosti Rossijskoj Federacii [Methods of assigning of critical state and non-state objects regards to the national security of the Russian Federation]. Available at:<http://central.mchs.ru/upload/site4/files/bea08465669b520c2603f73058fe188a.pdf>, accessed 26.12.2015.

4. Sidorov I.A., Oparin G.A., Feoktistov A.G. Razrabotka i primenenie raspredelennyh paketov prikladnyh programm [Development and application of distributed application packages]. Programmnye produkty i sistemy = Software & Systems. 2010. № 2. Pp. 108-111 (in Russian).
5. Hramov A.V., Yenikayeva S.M., Hrustaleva N.M. Programmnoe i informacionnoe obespechenie reshenija zadach zhivuchesti Edinoj sistemy gazosnabzhenija SSSR [Software and information support of survivability problems solving of Unified Gas Supply System of the USSR]. Metody i modeli issledovanija zhivuchesti sistem jenergetiki = Methods and models of research of vitality of energy systems. 1990. Pp. 86-91 (in Russian).
6. Pyatkova N. I., Rabchuk V. I., Senderov S. M. et al. Jenergeticheskaja bezopasnost' Rossii: problemy i puti reshenija [Energy security in Russia: problems and solutions]. Novosibirsk. Publishing house of SB RAS. 2011. 198 p. (in Russian).
7. L.R. Ford, D.R. Fulkerson. Flows in Networks. Princeton University Press. 1962. 276 p.
8. Mixed Integer Linear Programming (MILP) solver lp_solve. Available at: <http://sourceforge.net/projects/lpsolve>, accessed 26.12.2015.
9. Voropai N.I., Senderov S.M., Edelev A.V. Detection of “Bottlenecks” and ways to overcome emergency situations in gas transportation networks on the example of the European gas pipeline network. Energy. 2012. Vol.42. №1. Pp. 3-9. DOI: 10.1016/j.energy.2011.07.038

О ПАРАДИГМЕ ПАРАЛЛЕЛЬНОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ

Городняя Лидия Васильевна

К.ф.-м.н., доцент, старший научный сотрудник, e-mail: lidvas@gmail.com

Новосибирский национальный исследовательский

государственный университет,

630090, г. Новосибирск, ул. Пирогова, д. 2.

Институт систем информатики им. А.П. Ершова

Сибирского отделения Российской академии наук,

630090, г. Новосибирск, проспект Академика Лаврентьева, 6.

Аннотация. Доклад посвящен проблеме формирования самостоятельной парадигмы параллельного программирования, вызванной расширением и развитием системы базовых понятий, необходимых для рациональной разработки информационных систем управления процессами на современной аппаратуре.

Ключевые слова: парадигма параллельного программирования, языки и системы программирования, методы определения компьютерных языков, параллельные алгоритмы, учебное программирование

Введение. Парадигмы в программировании характеризуются стилем мышления при решении программистских задач, системой используемых и вводимых понятий и особенностями их практической реализации. Стил мышления и система понятий для параллельного программирования (ПП) уже сложились в процессе эволюции языков программирования (ЯП), но типовая их поддержка в системах программирования (СП) ещё не сформировалась [5]. Переход к параллельным алгоритмам (ПА) связан с пересмотром содержания многих понятий и введением новых терминов, отражающих разного рода явления и эффекты, не имевшие особого значения для обычных последовательных алгоритмов. Ведущую роль в результативности такого перехода, бесспорно, играет содержание образовательных программ подготовки специалистов в области информационных технологий (ИТ) [1, 6, 9].

1. Интеллектуальный вызов. Разнообразие моделей параллельных вычислений (ПВ) и расширение спектра доступной архитектуры следует рассматривать как вызов разработчикам языков и систем программирования (ЯСП), способным решать проблему создания методов компиляции многопоточных программ для многопроцессорных конфигураций [15]. ЯП должен допускать представление любых моделей параллелизма, проявляемого на уровне решаемой задачи или реализуемого с помощью реальной архитектуры, причем такое представление требует лаконичных форм и конструктивных построений, гарантирующих сохранение свойств программ при их реорганизации. Не менее важна расширяемость СП по мере развития средств и методов параллельных вычислений, темп которого превышает скорость осознания специалистами их возможностей [8].

Парадигма параллельного программирования (ППП) занимает нишу, связанную с реализацией программ выполнения вычислений на многопроцессорных системах для организации высокопроизводительных вычислений. Эта ниша обременена резким

повышением трудоемкости отладки программ, вызванной комбинаторикой выполнения фрагментов асинхронных процессов. Полноценное решение проблем ПП требует создания более специализированного инструментария, некоторые механизмы реализации которого могут быть изучены в форме экспериментальной разработки учебного языка ПП [6, 9].

Переход к параллельным алгоритмам (ПА) влечёт пересмотр содержания многих понятий и введение новых терминов, отражающих разного рода явления и эффекты, не имевшие особого значения для обычных ПА. Резкое расширение пространства решений задач меняет подходы к реализации решений, использующих параллелизм, и в некоторой мере сказывается собственно на постановке задач и планировании жизненного цикла программ решения задач, ориентированных на использование параллелизма.

Рассматривая задачу формализации языков параллельного программирования (ЯПП) как путь к решению проблемы адаптации программ к различным особенностям используемых многопроцессорных комплексов и многоядерных процессоров, приходится признать, что решение этой проблемы требует разработки новых методов компиляции программ и развития средств и методов ясного описания операционной семантики ЯПП, возможно дополненной описанием денотационной и аксиоматической семантики [7].

Для практического решения проблемы разработки ЯПП и подходов к их реализации необходимо рассматривать вопросы системной поддержки ППП как базовой, отражающей прагматические различия в условиях реализации и применения изобразительных средств, используемых в жизненном цикле программ. В этом плане средства языков сверхвысокого уровня позволяют представлять регулярные, эффективно реализуемые структуры данных, гарантирующие высокую производительность вычислений и надежность процесса разработки программ, включая подготовку программ для многопроцессорных конфигураций.

2. Пространство парадигм программирования. В настоящее время по существу различимы более двух десятков парадигм программирования. Многие ЯП относят к пяти-восьми парадигмам. Часть упоминаемых в разных источниках парадигм можно характеризовать как технологии, стили или методики, отражающие поиск путей снижения трудоёмкости программирования и повышения надёжности программ на базе доступных СП [3]. Аспектно-ориентированное программирование поддерживается как макрорасширение ООП. Структурное программирование фактически сводится к ряду рекомендаций по стилю представления императивно-процедурных программ. Мета-программирование представляет собой технику компиляции программ в комплекте с типовыми элементами данных. Недетерминированное программирование иногда рассматривают как частный случай параллелизма [8]. При определении парадигм обычно выделяются следующие характеристики ЯП:

- 1) программируемые решения представляются в императивно-процедурной или в декларативной форме;
- 2) обрабатываемые элементы данных позиционируются как адресуемые блоки памяти или независимо размещаемые значения;
- 3) программа может быть защищена от изменений в процессе её выполнения или допускать программируемые модификации по ходу получения результатов
- 4) вычисления;
- 5) программа может быть целостной или собираться из типовых компонентов и шаблонов;

- 6) представленные в программе функции могут быть частичными, типизированными, обрабатывающими значения заданного домена или универсальными, дающими разумную реакцию на любой элемент данных;
- 7) управление вычислениями выполняется последовательно или параллельно;
- 8) порядок действий может быть определённым или недетерминированным;
- 9) вычисления могут быть «энергичными» или «ленивыми»;
- 10) области видимости имён могут быть глобальными или локализованными по иерархии конструкций с возможностью восстановления контекста;
- 11) распределение и повторное использование памяти может быть действием в программе или выполняться автоматически СП;
- 12) инициирование памяти первоначально размещаемыми значениями может требовать программируемых действий или выполняться в СП по умолчанию;
- 13) домены значений могут быть независимыми или допускать пересечения;
- 14) результат выполнения программы может быть рассредоточен по ряду переменных или сконцентрирован в специальном регистре;
- 15) контроль правильности может выполняться статически – при анализе текста программы или динамически – при выполнении кода программы.

В практике признают основными парадигмы императивно-процедурного, функционального, логического и объектно-ориентированного программирования, суммарно покрывающие это поляризованное пространство, поддерживающее практичные механизмы снижения трудоёмкости полного жизненного цикла программ, с тенденцией продвижения к ПП, встраиваемому в контекст привычных парадигм. Си и Фортран предлагают следующий выбор предпочтений:

- 1) программируемые решения представляются в императивно-процедурной, дополненной описаниями типов данных, включая функции/процедуры;
- 2) обрабатываемые элементы данных позиционируются как непрерывно адресуемые блоки памяти, а независимо размещаемые значения допускаются в основном при передаче параметров;
- 3) программа обычно защищена от изменений в процессе её выполнения, но полезность программируемых модификаций получила право на жизнь в языке С#;
- 4) программа целостна, хотя на уровне компиляции собирается из типовых шаблонов;
- 5) представленные в программе функции обычно являются частичными, типизированными, поскольку универсальность часто приводит к противоречиям с системой типового контроля, упрощающей работу компилятора;
- 6) управление вычислениями выполняется последовательно, а параллельное управление проникает в программу через специальные библиотечные модули и доработку программы «вручную»;
- 7) порядок действий заранее определён, если нужна недетерминированность, то она моделируется;
- 8) «энергичные» вычисления понятнее, хотя «ленивые» признаются более результативными;
- 9) области видимости имён преимущественно являются глобальными или отчасти локализованными по иерархии модулей, вызовов процедур или классов объектов с возможностью восстановления контекста;

- 10) распределение и повторное использование памяти выполняется действием в программе, но в языках Java и C# появилась возможность автоматической «сборки мусора»;
- 11) инициирование памяти первоначально размещаемыми значениями может требовать программируемых действий, хотя инструментальные оболочки делают это по умолчанию;
- 12) домены значений обычно независимы, роль пересечений выполняют преобразования типов данных;
- 13) результат выполнения программы рассредоточен по ряду переменных;
- 14) контроль правильности может выполняться статически при анализе компилируемой программы, что обосновывается экономией памяти и времени исполнения для динамического контроля.

3. Системы программирования. При измерении производительности суперкомпьютеров и в экспериментах с распараллеливанием программ активно используются задачи научных расчётов, преимущественно реализующих алгоритмы векторной обработки данных. Практические задачи современного ПП обычно выглядят как приведение больших ранее отлаженных программ на самых живучих СП для языков C или Fortran к форме, дающей выигрыш от распараллеливания с помощью штатных средств, включаемых в доступные СП.

В целом такая работа сводится к следующим видам работы:

- Разметка участков программы, допускающих автоматическое распараллеливание.
- Анализ участков и причин, препятствующих распараллеливанию программы.
- Выбор участков программы, допускающих их техническое приведение к форме, пригодной для распараллеливания.
- Изобретение рецептов полуручного преобразования текста программы с целью расширения возможностей распараллеливания.
- Приведение текста программы к предельно распараллеливаемой форме.
- Прогон распараллеленной версии программы для оценки выигрыша от параллелизма.
- Частичное репрограммирование и отладка фрагментов программы для исключения или смягчения эффектов, препятствующих достижению нужных характеристик производительности.
- Установление частичной функциональной эквивалентности исходной программы и её результирующей версии.

Обычно компилятор поддерживает оптимизацию, обеспечивающую устранение неиспользуемого кода, чистку циклов, слияние общих подвыражений, перенос участков повторяемости для обеспечения однородности распараллеливаемых ветвей, раскрутку или разбиение цикла, втягивание константных вычислений, уменьшение силы операций, удаление копий агрегатных конструкций и др. Рассматривается зависимость ускорения вычислений от числа процессоров и объема общей и распределенной памяти. Выполняется систематическая замена рекурсии на циклы. Предпочитаются однородное пространство процессоров, общая память, быстрые обмены, соседство, гарантирующие улучшение производительности систем для высокопроизводительных вычислений. Заметно влияние дисциплины работы с памятью на характеристики параллельных процессов. Используется защищенная и размазанная память. Различны решения, принятые в разных языках

программирования, по работе с многоуровневой и разнородной памятью (доступ, побочный эффект, реплики, дубли и копии). Обработка транзакций становится одной из типовых семантик работы с памятью в ЯП.

Особый круг проблем связан с навыками учёта особенностей многоуровневой памяти в многопроцессорных системах. Обычное последовательное программирование такие проблемы может не замечать, полагаясь на решения компилятора, располагающего статической информацией о типах используемых данных и способного при необходимости выполнить оптимизирующие преобразования программы.

Следует отметить, что использование ЯПП в качестве языка представления исходной программы не гарантирует её приспособленность к удачному распараллеливанию. При анализе пригодности программы к распараллеливанию анализируются потенциальные зоны риска, требующие дополнительных испытаний и отладки [4].

4. Параллельные алгоритмы. Прежде всего, следует прояснить следующие вопросы, связанные с постановками практических задач:

- Насколько изменится трудоёмкость жизненного цикла программы решения задачи с помощью параллельного алгоритма?
- В какой мере при постановке задачи следует учитывать модель параллелизма?
- Как обосновать и измерить выигрыш от разработки параллельного алгоритма?
- Насколько изменяется постановка задачи при переходе к параллельным алгоритмам?
- Что даёт парадигма параллельного программирования на уровне разработки параллельного алгоритма?
- Какими средствами представляются разрабатываемые параллельные алгоритмы решения задачи на этапе, предшествующем разработке программы?

За полвека традиционного последовательного программирования отлажено колоссальное количество программ, аккумулированных в СП и стандартные библиотеки. Изменение постановок задач, уже имеющих готовые отлаженные программные решения, ради учёта допустимого параллелизма чревато повторным программированием и, что гораздо более трудоёмко, повторной отладкой. Основной аргумент за разработку ПА – целесообразность учёта естественного параллелизма на уровне постановки задачи, утрачиваемого при решении задачи посредством обычных алгоритмов. Число ЯПП, удобных для реализации ПА, год от года растёт, хотя и их применение решает не все проблемы организации ПВ [14]. Так, отмечая простоту записи параллельной композиции, можно сложность её отладки даже для несложных программ оставить в тени [13].

Нередко ПА может быть реализован по частям на множестве различных устройств с последующим объединением полученных результатов и получением целевого результата. Возникают чисто практические вопросы:

- Каким образом в определении алгоритма выделены части, выполняемые отдельными устройствами?
- Обязана ли реализация алгоритма использовать в точности представленный в его определении набор устройств?
- Можно ли последовательный алгоритм рассматривать как параллельный, исполняемый на одном устройстве?

Следующая обойма вопросов касается категории «время» и связана с проблемами

синхронизации:

- Могут ли части параллельного алгоритма обладать своим независимым или централизованным отсчетом времени?
- Может ли синхронизация частей алгоритма противоречить его информационным связям и логике управления?
- Можно ли синхронизацию частей алгоритма рассматривать как частный случай асинхронности?
- Особые сложности параллелизма вызывают вопросы доступа к памяти:
- Каким образом взаимодействующие части параллельного алгоритма обмениваются данными?
- Могут ли части параллельного алгоритма изменять состояние общей памяти и памяти других частей?
- Может ли часть параллельного алгоритма воспрепятствовать использованию своей памяти другими частями?

Кроме того, части алгоритма могут быть определены в разных моделях вычислений и над разными структурами данных. Оценка результата разработки параллельного алгоритма, кроме оценки сложности вычислений и объёма данных, осложнена целесообразностью оценивать выполнение разного рода трудно формализуемых критериев, часть которых, однако, поддаётся современным средствам верификации на моделях [7].

5. Долгоживущие языки программирования. Новые и долгоживущие ЯП, как правило, имеют мультипарадигмальный характер [14]. Параллельное программирование использует средства, характерные для разных парадигм [7]. Это определяет возможность трансформационного подхода к накоплению правильности программных решений при разработке и модернизации параллельных программ на разных ЯП в рамках общей СП. Следует особо отметить не столько сложность собственно ПП, но трудоёмкость отладки программ для разных многопроцессорных конфигураций, необходимость разработки методов верифицирующей компиляции и оптимизации программных компонентов, средств масштабируемой макрогенерации кода и автоматизируемых трансформаций программ с удостоверением сохранения свойств при их комплексации из ранее отлаженных компонентов, приспособленных к многократному применению в разных условиях [12].

Развитие ЯСП в настоящее время ориентировано на решение задач на основе общих библиотечных модулей, обеспечивающих эффективную организацию процессов, или подязыков, допускающих многопоточное программирование. Существуют сотни функциональных языков программирования, ориентированных на разные классы задач ПП, дающих эффективную отладку программ. Это не исключает реальную практику ручного распараллеливания ранее отлаженных обычных программ, приведения их к виду, удобному для применения производственных систем поддержки параллельных вычислений. Значительная часть таких работ носит технический характер и заключается в систематической реорганизации структур данных, изменении статуса переменных и включении в программу аннотаций, сообщающих компилятору об информационно-логических взаимосвязях. Существенным ограничением результата ручного распараллеливания является не только опасность повторной отладки алгоритма, но и его избыточная зависимость от характеристик целевой архитектуры [7].

6. Учебные языки и системы программирования. Авторы считают, что пришло время изучать информатику и программирование, начиная с мира параллелизма [6]. Теперь трудно не заметить, что: выполнение «одинаковых» действий обладает разной длительностью; длительность реагирования информационной системы может зависеть от текущей ситуации; собственно выполнимость действий зависит от не всегда заранее известных условий; системы можно и нужно настраивать; ряд систем могут работать одновременно и влиять на работу друг друга. На практике видно, что существуют кэши, протоколы, верификаторы, резервное копирование, транзакции, «гонки» данных, «смертельное объятие» и многое другое. Известно об успехах любительской астрономии, перспективах GRID-технологий и «облачных» вычислений. Активизация, вербализация и формализация таких знаний образует основу для быстрого изучения средств и методов параллельного программирования, начало которому авторы пытаются дать в экспериментальном курсе «Парадигма параллельного программирования» [2, 6, 9].

Интересно отметить появление новых архитектур, обладающих полным набором команд с условным исполнением. В этом процессе расширяется пространство решений сложных задач, модернизируются методы развития информационных систем (ИС) на основе компьютерных сетей и многопроцессорных комплексов. Полезно рассмотреть перспективы развития парадигм программирования, обусловленных изменением условий эксплуатации современных информационных систем, особенно связанных с повсеместным распространением сетевых технологий, меняющих критерии оценки качества программ и методы обеспечения надежности и производительности программирования. Две основные линии такого развития – разработка распределенных ИС и компонентное программирование.

Варьирование правил функционирования сетей допускает как асинхронную, так и синхронную организацию срабатывания действий, включая дозирование нагрузки и специализацию процессоров и распределение действий по потокам выполнения. Использование иерархических, многоуровневых, структурированных и расширяемых сетей обеспечивает моделирование практически любых, накопленных в ЯП техник программирования и представления структур данных.

Сколь ни сложен мир параллелизма, программистам предстоит его понять, освоить и создать его полноценную поддержку с помощью ЯСП!

При оценке образовательного значения парадигм появилась тенденция выделять функциональное, параллельное и императивно-процедурное программирование в качестве принципиальных, а логическое и объектно-ориентированное рассматривать как дополнительные, изучаемые в виде расширения принципиальных парадигм [16]. Не исключено, что такое выделение обусловлено зависимостью преподавания логического программирования и ООП от владения развивающейся областью знаний или приложений, усложняющих учебный процесс.

Заключение. Мультипарадигмальность долго живущих ЯП и тенденция XXI-го века по созданию новых мультипарадигмальных ЯП говорят о созревании единой ПП, объединяющей выверенные в практике механизмы программирования. Тем более обосновано формирование общей ППП и создание учебных ЯСП, поддерживающих раннее обучение программированию как параллельному программированию, что и предсказывал Кеннет Айверсон, автор языка APL [4].

Рассматривая задачу обучения ПП как путь к решению проблемы адаптации программ

к различным особенностям используемых многопроцессорных комплексов и многоядерных процессоров, мы видим, что решение этой проблемы потребует развития не только средств и методов ясного описания семантики ЯСП, но и методики преподавания ПП. Тридцать лет назад проект академика А.П. Ершова по обучению школьников информатике слегка обидел профессионалов, убеждённых, что программирование – это занятие для людей с высшим образованием. Возможно, что идее опережающего освоения параллелизма не легко будет найти признание, но ее реализация возможна в контексте современных дистанционных технологий и массового распространения мобильных устройств.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Андреева Т.А., Ануреев И.С., Бодин Е.В., Городняя Л.В., Марчук А.Г., Мурзин Ф.А., Шилов Н.В. Образовательное значение классификации компьютерных языков // Прикладная информатика. 2009. №6 (24). С. 18–28.
2. Андреева Т.А., Городняя Л.В. Преподавание парадигм программирования //XXV Ежегодная международная конференция-выставка «Информационные технологии в образовании» (ИТО-2015).
3. Бек К. Экстремальное программирование. Питер. 2002. 224 с.
4. Бурдонов И.Б., Косачев А.С., Кулямин В.В. Теория соответствия для систем с блокировками и разрушениями. М. Физматлит. 2008. 412 с.
5. Воеводин В.В. Параллельные вычисления / В.В. Воеводин, Вл.В. Воеводин. СПб. БХВ-Петербург. 2002. 608 с.
6. Городняя Л.В. Образовательные проблемы параллельного программирования //XXV Ежегодная международная конференция-выставка «Информационные технологии в образовании» (ИТО-2015).
7. Городняя Л.В. О проблеме автоматизации параллельного программирования // В сборнике Международной суперкомпьютерной конференции «Научный сервис в сети Интернет: многообразие суперкомпьютерных миров». <http://agora.guru.ru/abrau2014> Проверено: 8 июня 2015.
8. Городняя Л.В. Парадигма программирования: курс лекций. Новосибирск. РИЦ НГУ. 2015. 206 с.
9. Городняя Л.В. Парадигмы параллельного программирования в университетских образовательных программах и специализации // Всероссийская научная конференция "Научный сервис в сети Интернет: решение больших задач" - Новороссийск-Москва. 2008. С. 180-184.
10. Магариу Н.А. Язык программирования АПЛ. М.: Радио и связь. 96 с.
11. Палмер С.Р., Фелсинг Дж.М. Практическое руководство по функционально ориентированной разработке ПО. М. Вильямс. 2002. 304 с.
12. Степанов Г.Г. Пути обеспечения переносимости программ и опыт использования системы СИГМА // Трансляция и преобразование программ. Новосибирск. ВЦ СО АН СССР. 1984. 9 с.
13. Хоар Ч. Взаимодействующие последовательные процессы. М. Мир. 1989. 264 с.
14. Хорстман К. Scala для нетерпеливых. ДМК пресс. 2013. 408 с. 300 экз. ISBN 978-5-94074-920-2, 978-0-321-77409-5.
15. Knoop J. Compiler Construction / 20th International Conference, CC 2011Held as Part of

the Joint European Conferences on Theory and Practice of Software, ETAPS 2011 Saarbrücken, Germany, March 26 —April 3, 2011 // Lecture Notes in Computer Science. Springer V2011. V. 6601. 330 p.

16. Peter Van Roy. The principal programming paradigms (2008). <https://www.info.ucl.ac.be/~pvr/paradigmsDIAGRAMeng108.pdf> Проверено: 8 июня 2015.

UDK 004.43: 042.4

ON THE PARALLEL PROGRAMMING PARADIGM

Lidia V. Gorodnyaya

A.P. Ershov Institute of Informatics Systems, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences 6, Acad. Lavrentjev pr., Novosibirsk 630090, Russia

e-mail: gorod@iis.nsk.su

Federal State Autonomous Institution of Higher Education «Novosibirsk National Research State University» 630090, Novosibirsk-90, 2 Pirogova Str.

Annotation. The article concerns the actual problem of the parallel programming paradigms. Importance of this topic comes from the steep increase in the number of new-generation programming languages oriented at application and development of modern information technologies.

Keywords: programming languages and systems, programming paradigms, computer languages definition methods, parallel programming; educational programming

References

1. Andreeva T.A., Anureev I.S., Bodin E.B., Gorodnyaya L.V., Marchuk A.G., Murzin F.A., Shilov N.V. *Obrazovatel'noe znachenie klassifikatsii komputernyh jazykov* [The educational value of the computer languages classification] // *Prikladnaja informatika. = Applied Informatics.* №6 (24). 2009. Pp. 18–28. (in Russian)
2. Andreeva T.A., Gorodnyaya L.V. *Prepodavanie paradigm programmirovaniya*. [Education of programming paradigm] // XXV *Ezhegodnaja mezhdunarodnaja konferencija-vystavka «Informatsionnye tehnologii v obrazovanii» (ITO-2015) = XXV The annual international conference-exhibition "Information Technologies in Education" (ITO-2015)* (in Russian)
3. Beck K. *Extremaljnoe programmirovanie* [Extreme Programming Explained]. Piter. 2002. 224 p. (in Russian)
4. Burdonov I.B., Kosachev A.S., Kuljain V.V. *Teoria sootvetstvia dlja sistem s blokirovkami i razrushenijami* [The compliance theory for systems with blocking and destruction] M. Fizmatlit. 2008. 412 p. (in Russian)
5. Voevodin V.V. *Parallelnye vychislenija* [Parallel computing]. SPb. BHV-Peterburg. 2002. 608 p. (in Russian)
6. Gorodnyaya L.V. *Obrazovatel'nye problem parallelnogo programmirovaniya*. [Educational problems of parallel programming] // XXV *Ezhegodnaja mezhdunarodnaja konferencija-vystavka «Informatsionnye tehnologii v obrazovanii» (ITO-2015) = XXV The annual*

- international conference-exhibition "Information Technologies in Education" (ITO-2015) (in Russian)
7. Gorodnyaya L.V. O probleme avtomatizatsii parallelnogo programmirovaniya. [About the problem of parallel programming automation] // V sbornike Mezhdunarodnoj superkompjuternoj konferentsii «Nauchnyi servis v seti Internet: mnogoobrazie superkompjuternyh mirov». <http://agora.guru.ru/abrau2014> Provereno: 8.06.2015. (in Russian)
 8. Gorodnyaya L.V. Paradigma programmirovaniya: kurs lectsiy [The programming paradigm: lectures] Novosibirsk. RIC NGU. 2015. 206 p. (in Russian)
 9. Gorodnyaya L.V. Paradigmy parallelnogo programmirovaniya v universitetskih obrazovatelnyh programmah i specializatsii [The parallel programming paradigms in university education programs and specialization] //Vserossijskaja nauchnaja konferentsii «Nauchnyi servis v seti Internet: reshenije boljshih zadach = Allrussian Science Conference "Scientific service in the Internet: solving of the large tasks". Novorossiysk – Moskva. 2008. Pp. 180-184. (in Russian)
 10. Magariu N.A. Jazyk programmirovaniya APL [The programming language APL]. M. Radio i svjazj =M. Radio and Communication. 96 p. (in Russian)
 11. Palmer S.R., Felsing Dzh.M. Prakticheskoe rukovodstvo po funktsionalno orientirovannoj razrabotke PO [A Practical Guide to Feature-Driven Development]. - M.: Viljams, 2002. - 304 p. (in Russian)
 12. Stepanov G.G. Puti obespechenija perenosimosti program I opyt ispolzovanija sistemy SIGMA [The ways of tolerability programs and the experience of using the system SIGMA] // Transljatsija i preobrazovanie programm = Translation and transformation program. Novosibirsk. VC SO AN SSSR. 1984. 9 p. (in Russian)
 13. Hoar Ch. Vzaimodejstvujuzhie posledovatelnyje process [Communicating sequential processes] M. Mir. 1989. 264 p. (in Russian)
 14. Horstman K. Scala dlja neterpelivyh [Scala for the Impatient]. DMK press. 2013. 408 p. – 300 экз. – ISBN 978-5-94074-920-2, 978-0-321-77409-5. (in Russian)
 15. Knoop J. Compiler Construction / 20th International Conference, CC 2011Held as Part of the Joint European Conferences on Theory and Practice of Software, ETAPS 2011 Saarbrücken, Germany, March 26 —April 3, 2011 // Lecture Notes in Computer Science. Springer V2011. V. 6601. 330 p.
 16. Peter Van Roy. The principal programming paradigms (2008). <https://www.info.ucl.ac.be/~pvr/paradigmsDIAGRAMeng108.pdf> Provereno: 8.06.2015.

**МЕТАЭВРИСТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОПТИМИЗАЦИИ ПАРАМЕТРОВ
НЕЧЕТКИХ КЛАССИФИКАТОРОВ**

Ходашинский Илья Александрович

Д.т.н., профессор, ТУСУР, e-mail: hodashn@rambler.ru

Анфилофьев Александр Евгеньевич

Аспирант, ТУСУР, e-mail: yowwi00@gmail.com

Бардамова Марина Борисовна

Студентка, ТУСУР, e-mail: 722bmb@gmail.com

Ковалев Виталий Сергеевич

Студент, ТУСУР, e-mail: vitaly_979@mail.ru

Мех Максим Анатольевич

Студент, ТУСУР, e-mail: maxcimkj93@gmail.com

Сонич Ольга Константиновна

Студентка, ТУСУР, e-mail: zlasjasok@gmail.com

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники
(ТУСУР), 634050 г. Томск, пр. Ленина 40

Аннотация. Представлены следующие алгоритмы оптимизации параметров нечетких систем: алгоритм сорняков, гравитационный алгоритм, алгоритм прыгающих лягушек, гармонический поиск, дифференциальная эволюция, алгоритм «Всемирный потоп». С помощью указанных алгоритмов построены на реальные данные из репозитория KEEL.

Ключевые слова: нечеткие системы, оптимизация параметров, метаэвристики

Введение. Нечеткие системы находят широко применение в различных областях деятельности: автоматическом управлении, распознавании образов, принятии решений. Важным этапом при построении нечетких систем является задача определения оптимальных параметров таких систем. В качестве формального аппарата решения указанной задачи часто используются метаэвристические методы [5].

Целью статьи является анализ эффективности применения различных метаэвристических методов при оптимизации параметров нечетких классификаторов.

1. Постановка задачи. Нечеткий классификатор задается правилами вида [4]:

$R_{ji} : \text{ЕСЛИ } x_1=A_{i1} \text{ И } x_2=A_{i2} \text{ И } x_3=A_{i3} \text{ И } \dots \text{ И } x_n=A_{in} \text{ ТО class}=c_j,$

где \mathbf{x} – вектор признаков классифицируемого объекта; c_j – идентификатор j -того класса, $j \in [1, m]$, A_{ik} – нечеткий терм, характеризующий k -ый признак в ji -ом правиле R_{ji} ($i \in [1, |R_j|]$, $j \in [1, m]$), R_j – множество правил, относящих наблюдение к классу с идентификатором c_j .

В процессе нечеткой классификации объект относится к каждому классу с определенной степенью принадлежности, вычисленной следующим образом:

$$\beta_j(\mathbf{x}) = \sum_{R_{ji}} \prod_{k=1}^n A_{ik}(x_k), \quad j = 1, 2, \dots, m.$$

Выходом классификатора является метка класса, определяемая следующим образом:

$$\text{class} = c_{j^*}, j^* = \arg \max_{1 \leq j \leq m} \beta_j.$$

Нечеткий классификатор может быть представлен функцией $c = f(\mathbf{x}, \boldsymbol{\theta})$, где $\boldsymbol{\theta}$ – вектор, описывающий базу правил.

На множестве обучающих данных (таблице наблюдений) $\{(\mathbf{x}_p; c_p), p = 1, \dots, z\}$ определим единичную функцию

$$\text{delta}(p, \boldsymbol{\theta}) = \begin{cases} 0, & \text{если } c_p = f(c_p, \boldsymbol{\theta}) \\ 1, & \text{иначе} \end{cases}, p = 1, 2, \dots, z,$$

тогда численный критерий ошибки классификации выражается следующим образом:

$$E(\boldsymbol{\theta}) = \frac{\sum_{p=1}^z \text{delta}(p, \boldsymbol{\theta})}{z}.$$

Целью построения нечетких систем является поиск таких параметров этих систем, которые сводят к минимуму ошибку $E(\boldsymbol{\theta})$. Минимизация выполняется с помощью представленных ниже метаэвристических методов.

2. Гармонический поиск (HS). Алгоритм основан на принципе создания музыкальных фраз. Новая музыкальная фраза может быть случайной или производной от сыгранной ранее [2].

Алгоритм имеет следующие параметры: $r_{\text{accept}}, r_{\text{pa}} \in [0, 1]$ – используются при создании нового вектора, S – размер популяции, N – количество итераций. Первым этапом выполнения является инициализация популяции векторов вещественных значений $\boldsymbol{\theta}$.

Принцип оптимизации алгоритма заключается в генерации на каждой итерации нового вектора $\boldsymbol{\theta}_{\text{new}}$ на основе случайно выбранного вектора из популяции $\boldsymbol{\theta}_r$. Сгенерированный новый вектор оценивается оптимизируемой фитнес-функцией $E(\boldsymbol{\theta})$, полученное значение сравнивается со значением фитнес-функции худшего вектора в популяции $\boldsymbol{\theta}_{\text{worst}}$ и происходит замена худшего вектора на новый, если значение фитнес-функции нового вектора меньше. По завершению выполнения N итераций, алгоритм возвращает лучший по значению фитнес-функции вектор в популяции $\boldsymbol{\theta}_{\text{best}}$. Псевдокод алгоритма приведен ниже.

Вход: $S, N, r_{\text{accept}}, r_{\text{pa}}$.

Выход: $\boldsymbol{\theta}_{\text{best}}$.

$\text{Popul} := \{\boldsymbol{\theta}_1, \boldsymbol{\theta}_2, \dots, \boldsymbol{\theta}_S\};$

цикл пока ($N > 0$)

$\boldsymbol{\theta}_r := \text{Random_choose}(\text{Popul})$

цикл по d от 1 до $|\boldsymbol{\theta}_i|$

если ($\text{rand}(0,1) < r_{\text{accept}}$) то

$\boldsymbol{\theta}_{\text{new}}[d] := \boldsymbol{\theta}_r[d]$

если ($\text{rand}(0,1) < r_{\text{pa}}$) то

$\boldsymbol{\theta}_{\text{new}}[d] := \boldsymbol{\theta}_{\text{new}}[d] \pm \text{rand}(0,1) \cdot (\text{Max}(\boldsymbol{\theta}_{\text{new}}[d]) - \text{Min}(\boldsymbol{\theta}_{\text{new}}[d]));$

иначе $\boldsymbol{\theta}_{\text{new}}[d] := \text{rand}(0,1) \cdot (\text{Max}(\boldsymbol{\theta}_{\text{new}}[d]) - \text{Min}(\boldsymbol{\theta}_{\text{new}}[d]));$

конец цикла;

если ($E(\boldsymbol{\theta}_{\text{new}}) > E(\boldsymbol{\theta}_{\text{worst}})$) то

$$\theta_{worst} := \theta_{new};$$

$$N := N - 1;$$

конец цикла;

ВЫВОД $\theta_{best} := \text{Search_best}(\text{Popul})$.

3. Гравитационный алгоритм (GSA) основан на фундаментальных законах тяготения. Популяция представляет собой систему частиц, между которыми действуют силы притяжения [7]. На вход алгоритма подаются следующие параметры: количество частиц N , количество итераций T , начальное значение гравитационной постоянной G_0 , коэффициент точности поиска α , малая константа ε . Значение гравитационной постоянной рассчитывается на каждой итерации на основе монотонно убывающей функции. Для каждой i -ой частицы из популяции θ на t -ой итерации рассчитываются следующие физические характеристики: $m_i(t)$ – масса, $a_i(t)$ – ускорение, $V_i(t)$ – скорость. На последнем шаге происходит обновление позиции частицы путем изменения текущих координат на величину, пропорциональную скорости. Расчеты проводятся до истечения итераций T , затем на выход подается вектор с наименьшим значением ошибки θ_{best} . Ниже приведен псевдокод алгоритма.

Вход: $N, S, G_0, \alpha, \varepsilon$.

Выход: значение θ_{best} .

$\text{Population} = \{\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_S\}$;

цикл пока ($N > 0$)

цикл по i от 0 до S

$$m[i] := (E[\theta_i] - E[\theta_{worst}]) / (E[\theta_{best}] - E[\theta_{worst}]);$$

цикл по j от 0 до S

$$R[i, j] := \|\theta_j - \theta_i\|;$$

цикл по d от 1 до $|\theta_i|$

$$a_i^d := a_i^d + \text{rand} * M[j] * (\theta_j^d - \theta_i^d) / (R[i, j] + \varepsilon);$$

$$V_i^d[t+1] := \text{rand} * V_i^d[t] + a_i^d[t];$$

$$\theta_i^d[t+1] := \theta_i^d[t] + V_i^d[t+1];$$

конец цикла

конец цикла

конец цикла

$$N := N - 1;$$

конец цикла

ВЫВОД $\theta_{best} := \text{Search_best}(\text{Population})$.

4. Алгоритм прыгающих лягушек (FLA) имитирует поведение группы лягушек в процессе поиска пищи. Основой алгоритма является комбинирование локального поиска в пределах каждого из мемплексов (группы) и глобального поиска путем обмена информацией о положении лучших агентов этих мемплексов и определения на этой основе глобально лучшего агента [1]. Ниже приведены параметры алгоритма и его пошаговое представление. Population – популяция; LB, UB – верхняя и нижняя граница области определения признака соответственно; S – размер популяции; q – количество мемплексов; p – количество агентов в каждом мемплексе; T – количество глобальных итераций; Iter – количество локальных

итераций; θ_{best} , θ_{worst} – лучшее и худшее положение агента; θ_{global} – глобальное лучшее положение агента; rand_i – равномерно распределенное случайное число в интервале $[0,1]$.

Вход: $S, q, p, T, Iter, LB, UB$.

Выход: θ_{best} .

$Population := \{\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_S\}$;

цикл по d от 1 до T

Find ($\theta_{worst} := \text{Max}(E(\theta)), \theta_{best} := \text{Min}(E(\theta))$);

Sort ($F = \{\theta_1 < \theta_2 < \dots < \theta_S\}$);

PartitionMemeplex ($Population = \{m_1, m_2, \dots, m_q\}$);

цикл по k от 1 до $Iter$

цикл по j от 1 до q

цикл по i от 1 до p

$\theta_{i,new} := \text{rand}_i * (\theta^{best} - \theta^{worst}) + \theta_i$;

если ($E(\theta_{i,new}) < E(\theta_i)$) то

$\theta_i := \theta_{i,new}$;

иначе

$\theta_{i,new} := \text{rand}_i * (\theta^{global} - \theta^{worst}) + \theta_i$;

если ($E(\theta_{i,new}) < E(\theta_i)$) то

$\theta_i := \theta_{i,new}$;

иначе

$\theta_{i,new} := LB + \text{rand} * (UB - LB)$;

конец цикла;

конец цикла;

конец цикла;

CombineMemeplex ($Population = \{\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_S\}$);

конец цикла;

вывод $\theta_{best} := \text{Search_best}(Population)$.

5. Дифференциальная эволюция (DE) – алгоритм, принадлежащий к группе эволюционных алгоритмов [9]. Параметрами алгоритма являются: $F \in [0,1]$ – параметр для создания нового вектора, S – размер популяции, N – количество итераций. На первом этапе выполнения происходит генерация популяции векторов θ . Далее на основе каждого вектора в популяции θ_{cur} генерируется новый вектор θ_{new} . Если $E(\theta_{new}) < E(\theta_{cur})$, то текущий вектор заменяется в популяции новым. В завершение алгоритм возвращает лучший вектор в популяции θ_{best} .

В статье исследуются две модификации алгоритма дифференциальной эволюции. Данные модификации отличаются механизмом реализации кроссовера. В первой модификации (De_1) применяется бинарный кроссовер, вторая (De_2) использует экспоненциальный. Ниже приведен псевдокод первой модификации алгоритма, реализующей бинарный кроссовер.

Вход: N, S, F

Выход: θ_{best} .

$Popul := \{\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_S\}$;

цикл пока ($N > 0$)

цикл по p от 1 до S

$\theta_{cur} := Popul[p];$

$\theta_a, \theta_b := \text{Random_choose}(Popul);$

$\theta_{best} := \text{Search_best}(Popul);$

$CR := \text{rand}(0,1);$

цикл по d от 1 до $|\theta_i|$

если ($\text{rand}(0,1) < CR$) то

$\theta_{new}[d] := \theta_{best}[d] + F * (\theta_a[d] - \theta_b[d]);$

иначе $\theta_{new}[d] := \theta_{cur}[d];$

конец цикла

если ($E(\theta_{new}) < E(\theta_{cur})$) то

$\theta_{cur} := \theta_{new};$

$N := N - 1;$

конец цикла

конец цикла

ВЫВОД $\theta_{best} := \text{Search_best}(Popul).$

6. Алгоритм «Всемирный потоп» (GDA) – метаэвристика, построенная на основе имитации процесса затопления участка земли. Задачей является проход по участку, без попадания в воду, с достижением максимальной высоты [8].

Основные обозначения алгоритма: x_i^o – текущее решение; x_i^c – новое решение; $E(\theta_{cur})$ – текущее значение целевой функции; $E(\theta_{new})$ – новое значение целевой функции; UP – параметр, увеличивающий уровень воды; u – равномерно распределенное случайное число в интервале $[0,1]$, p – нечетное целое, $LEVEL$ – критерий приемлемости, N – количество итераций, n – количество внутренних итераций, $\min\text{ValueX}$, $\max\text{ValueX}$ – минимальное и максимальное значение входного вектора вещественных значений θ .

Принцип работы алгоритма: в поэлементном изменении входного вектора вещественных значений θ , в поисках решения θ_{best} с минимальным значением оптимизируемой фитнес - функции $E(\theta)$. Псевдокод алгоритма представлен ниже.

Вход: $\theta, UP, p, N, n.$

Выход: θ_{best}

$x_i^o := \text{Random}(\min\text{ValueX}, \max\text{ValueX});$

$u := \text{Random}(0,1);$

$LEVEL := E(\theta_{cur});$

цикл пока ($N > 0$ или $(x_i^o - x_i^c) / x_i^o < 0.000001$)

цикл по i от 0 до n

$x_i^c := x_i^o + (10 * u - 5)^p;$

$\theta_{new} := \theta[x_i^c];$

если ($(E(\theta_{new}) < E(\theta_{cur}))$ и $(E(\theta_{new}) < LEVEL)$) то

$\theta_{cur} := \theta_{new};$

$LEVEL := LEVEL - UP * (LEVEL - E(\theta_{new}));$

конец цикла;

конец цикла;

ВЫВОД $\theta_{best} := \theta_{cur}.$

7. Алгоритм сорняков (IWO) отражает поведение сорняков на ограниченной территории в борьбе за выживание в течение ограниченного времени [6]: 1) распределение начального/конечного числа семян; 2) производство выросшими растениями семян в зависимости от приспособленности растений; 3) размещение произведённых семян по области поиска; 4) отбор растений с более высокой приспособленностью; 5) повторение пунктов 2-4 до условий окончания процесса.

В качестве вектора для оптимизации выступают antecedentes и konsekventy нечеткой системы. Вектор представлен в виде массива θ_i , i принимает значения от 1 до $\sum_{j=1}^L kO_j + R$, где L – количество входных переменных нечеткой системы, k – количество переменных, описывающих терм, O – количество термов для j -ой переменной, R – количество правил в нечеткой системе. Псевдокод алгоритма и параметры приведены ниже. N – количество итераций; S – максимальное количество векторов; n_{min} , n_{max} – минимальное и максимальное количество дочерних векторов; σ – параметр нормального распределения; $Popul$ – текущая популяция.

ВХОД: $N, S, n_{min}, n_{max}, \sigma$.

ВЫХОД: θ_{best} .

$\theta^0 := \text{Generate_random}()$;

$\text{Add_to_population}(Popul, \theta^0)$;

ЦИКЛ по $iter$ от 1 до N

цикл по s от 1 до текущего количества векторов в $Popul$

$$n^s := \frac{n_{max} - n_{min}}{E^{best} - E^{worst}} E(\bar{\theta}^s) + \frac{E^{best} n_{max} - E^{worst} n_{min}}{E^{best} - E^{worst}} ;$$

цикл по j от 1 до n^s

$$\sigma_N := \sigma \left(\frac{N - iter}{N} \right) ;$$

$$u \rightarrow N(0, \sigma_N) := \sigma_N \sqrt{-2 \ln(a)} \cos(b) ;$$

$$\theta_i^{*s,j} := \theta_i^s + u ;$$

конец цикла;

$\text{Add_to_population}(Popul, \theta^{*s,j})$;

конец цикла;

$\text{Sort}(Popul)$

$\text{Save_best}(Popul, S)$;

конец цикла;

ВЫВОД $\theta_{best} := \text{Search_best}(Popul)$.

8. Эксперимент был выполнен на 12 наборах реальных данных из репозитория KEEL (<http://www.keel.es>). Описания указанных наборов приведены в таблице 1. Эксперимент проводился по принципу кросс-валидации. Для формирования обучающих и тестовых выборок исходный набор данных разделялся на десять равных частей, из девяти частей формировалась обучающая выборка, оставшаяся часть использовалась в качестве тестовой. По каждой обучающей выборке алгоритмом формирования структуры [3] была выполнена инициализация нечеткого классификатора, далее были запущены метаэвристики для оптимизации параметров классификатора.

В таблице 2 приведены усредненные значения процента правильной классификации на 12 наборах данных, классифицированных нечеткими классификаторами, параметры которых оптимизированы рассмотренными метаэвристиками. Жирным шрифтом выделены лучшие результаты классификации на тестовых выборках каждого набора данных. Курсивом выделены лучшие результаты классификации на обучающих выборках. Процент правильной классификации вычислен как разность $100 \cdot (1 - E(\theta))$.

Таблица 1. Описание наборов данных

Наименование	Условное обозначение	Количество записей	Количество признаков	Количество классов
iris	irs	150	4	3
wine	wn	178	13	3
glass	gl	214	9	7
newthyroid	nth	215	5	3
cleveland	cld	297	13	5
haberman	hbm	306	3	2
bupa	bp	345	6	2
balance	bl	625	4	3
wisconsin	wsn	699	9	2
pima	pm	768	8	2
spambase	spb	4597	57	2
ring	rng	7400	20	2

Таблица 2. Эффективность нечетких классификаторов

Интерпретация		Наборы данных											
		irs	wn	gl	nth	cld	hbm	bp	bl	wsn	pm	spb	rng
		Количество правил											
		3	3	7	3	5	2	2	3	2	2	2	2
De_1	Обуч.	98.4	99.8	71.6	98.3	62.5	77.0	75.6	91.4	98.2	79.9	90.6	96.3
	Тест	92.7	96.9	66.3	96.3	58.0	73.5	69.0	90.4	97.4	77.5	89.3	95.1
De_2	Обуч.	98.6	99.6	70.5	99.5	63.4	77.2	74.6	91.5	98.3	80.5	90.2	97.5
	Тест	94.0	91.5	67.0	97.2	58.9	74.8	69.7	90.7	96.4	75.8	89.6	96.4
HS	Обуч.	99.0	100	70.0	99.8	66.8	77.3	79.1	91.9	98.0	80.3	87.0	95.2
	Тест	96.7	97.2	64.9	97.7	57.9	74.8	74.0	91.0	96.5	75.4	86.6	94.6
GSA	Обуч.	98.3	99.3	62.0	98.3	63.4	77.9	68.9	83.7	96.0	76.9	70.5	82.1
	Тест	97.3	97.1	50.8	98.1	62.6	76.1	69.0	81.8	96.3	74.0	69.7	82.5
FLA	Обуч.	92.6	100	73.1	93.3	61.1	81.3	80.4	82.4	97.3	78.8	87.4	97.4
	Тест	95.2	95.5	61.2	90.2	55.3	73.7	73.0	79.6	96.1	73.1	74.5	96.6
GDA	Обуч.	98.1	99.7	65.5	93.1	55.8	78.7	69.4	83.7	96.9	75.9	84.1	93.2
	Тест	97.3	92.1	61.0	93.6	56.7	75.9	67.3	83.4	94.9	74.6	83.1	93.9
IWO	Обуч.	96.9	94.5	63.6	93.6	54.4	78.5	68.3	90.7	96.0	69.2	60.6	49.5
	Тест	96.7	94.4	61.7	91.6	53.9	77.5	66.8	90.3	97.1	69.1	60.4	49.6

Заключение. В работе представлены метаэвристические методы оптимизации параметров нечетких классификаторов. Работоспособность нечетких классификаторов,

настроенных приведенным алгоритмом, проверена на двенадцати наборах данных из репозитория KEEL. Полученные классификаторы имеют хорошие способности к обучению (высокий процент правильной классификации на обучающих выборках) и не менее хорошие прогностические способности (высокий процент правильной классификации на тестовых выборках). Таким образом, рассмотренные алгоритмы могут быть рекомендованы для практического применения при решении задач оптимизации параметров нечетких классификаторов.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-07-00034а

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Eusuff M., Lansey K. Optimization of water distribution network design using the shuffled frog leaping algorithm // *Journal of Water Resources Planning and Management*. 2003. Vol. 129. P. 210–225. DOI:10.1061/(ASCE)0733-9496(2003)129:3(210)
2. Geem Z.W., Kim J.H., Loganathan G.V. A new heuristic optimization algorithm: harmony search // *Simulation*. 2001. Vol. 76. P. 60–68. DOI: 10.1177/003754970107600201.
3. Hodashinsky I. A., Gorbunov I. V. Algorithms of the tradeoff between accuracy and complexity in the design of fuzzy approximators // *Optoelectronics, Instrumentation and Data Processing*. 2013. Vol. 49. P. 569–577. DOI: 10.3103/S875669901306006X.
4. Hodashinsky I.A., Minina D.Y., Sarin K.S. Identification of the parameters of fuzzy approximators and classifiers based on the cuckoo search algorithm // *Optoelectronics, Instrumentation and Data Processing*. 2015. Vol. 51. P. 234–240. DOI 10.3103/S8756699015030048.
5. *Metaheuristics for Production Systems* / Editors E.-G. Talbi, F. Yalaoui, L. Amodeo. Springer. London. 2016. 350 p. DOI 10.1007/978-3-319-23350-5.
6. Rad H. S., Lucas C. A Recommender System based in Invasive Weed Optimization Algorithm // *IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC 2007)*. 2007. P. 4297–4304. DOI: 10.1109/CEC.2007.4425032.
7. Rashedi E., Nezamabadi-pour H., Saryazdi S. GSA: A Gravitational Search Algorithm // *Information Sciences*. 2009. Vol.179. P. 2232–2248. DOI:10.1016/j.ins.2009.03.004.
8. Ravi V. Modified Great Deluge Algorithm versus Other Metaheuristics in Reliability Optimization // *Studies in Computational Intelligence*. 2007. Vol. 40. P. 21–36. DOI: 10.1007/978-3-540-37372-8_2.
9. Storn R., Price K.V. Differential evolution – a simple and efficient adaptive scheme for global optimization over continuous spaces (1995) Technical Report TR-95-012. ICSI (March 1995). <ftp://ftp.icsi.berkeley.edu/pub/techreports/1995/tr-95-012.pdf>

METAHEURISTICS FOR PARAMETERS OPTIMIZATION OF FUZZY CLASSIFIERS

Ilya A. Hodashinsky

Dr., Professor, e-mail: hodashn@rambler.ru

Alexander E. Anfilofiev

Graduate student, e-mail: yowwi00@gmail.com

Marina B. Bardamova

Student, e-mail: 722bmb@gmail.com

Vitaly S. Kovalev

Student, e-mail: vitaly_979@mail.ru

Maksim A. Mekh

Student, e-mail: maxcimkj93@gmail.com

Olga K. Sonich

Student, e-mail: zlasjasok@gmail.com

Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics,
40 Lenina Prospect, Tomsk, Russia 634050, Russia,

Annotation. Metaheuristics are widely recognized as efficient approaches for hard optimization problems. This paper addresses the application of metaheuristics for optimizing parameters of fuzzy classifiers. Several numerical experiments on well-known benchmark data sets are carried out to illustrate the effectiveness of the proposed metaheuristics.

Keywords: fuzzy classifiers, parameters optimization, metaheuristics

References

1. Eusuff M., Lansey K. Optimization of water distribution network design using the shuffled frog leaping algorithm // Journal of Water Resources Planning and Management. 2003. Vol. 129. P. 210–225. DOI:10.1061/(ASCE)0733-9496(2003)129:3(210)
2. Geem Z.W., Kim J.H., Loganathan G.V. A new heuristic optimization algorithm: harmony search // Simulation. 2001. Vol. 76. P. 60–68. DOI: 10.1177/003754970107600201.
3. Hodashinsky I. A., Gorbunov I. V. Algorithms of the tradeoff between accuracy and complexity in the design of fuzzy approximators // Optoelectronics, Instrumentation and Data Processing. 2013. Vol. 49. P. 569–577. DOI: 10.3103/S875669901306006X.
4. Hodashinsky I.A., Minina D.Y., Sarin K.S. Identification of the parameters of fuzzy approximators and classifiers based on the cuckoo search algorithm // Optoelectronics, Instrumentation and Data Processing. 2015. Vol. 51. P. 234–240. DOI 10.3103/S8756699015030048.
5. Metaheuristics for Production Systems / Editors E.-G. Talbi, F. Yalaoui, L. Amodeo. Springer. London. 2016. 350 p. DOI 10.1007/978-3-319-23350-5.
6. Rad H. S., Lucas C. A Recommender System based in Invasive Weed Optimization Algorithm // IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC 2007). 2007. P. 4297–4304. DOI: 10.1109/CEC.2007.4425032.
7. Rashedi E., Nezamabadi-pour H., Saryazdi S. GSA: A Gravitational Search Algorithm // Information Sciences. 2009. Vol.179. P. 2232–2248. DOI:10.1016/j.ins.2009.03.004.
8. Ravi V. Modified Great Deluge Algorithm versus Other Metaheuristics in Reliability Optimization // Studies in Computational Intelligence. 2007. Vol. 40. P. 21–36. DOI: 10.1007/978-3-540-37372-8_2.
9. Storn R., Price K.V. Differential evolution – a simple and efficient adaptive scheme for global optimization over continuous spaces (1995) Technical Report TR-95-012. ICSI (March 1995). <ftp://ftp.icsi.berkeley.edu/pub/techreports/1995/tr-95-012.pdf>

АЛГОРИТМЫ СТРУКТУРНОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ КОМПАКТНЫХ И ТОЧНЫХ НЕЧЕТКИХ СИСТЕМ

Ходашинский Илья Александрович

Д.т.н., профессор, ТУСУР, e-mail: hodashn@rambler.ru

Горбунов Иван Викторович

К.т.н., м.н.с., ТУСУР, e-mail: giv@keva.tusur.ru

Сарин Константин Сергеевич

Ассистент, ТУСУР, e-mail: sks@security.tomsk.ru

Субханкулова София Радиковна

Студентка, ТУСУР, e-mail: sophi1059@gmail.com

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники
(ТУСУР), 634050 г. Томск, пр. Ленина 40

Аннотация. Представлен алгоритм выбора признаков на основе метода «минный взрыв». Описаны два алгоритма генерации структуры нечетких аппроксиматоров: алгоритм динамического разбиения входного пространства и алгоритм кусочно-линейной инициализации. Рассмотрен алгоритм генерации структуры нечеткого классификатора на основе экстремальных значений таблицы наблюдений. Результаты работы алгоритмов проверены на реальных данных из репозитория KEEL.

Ключевые слова: нечеткие системы типа Такаги-Сугено, структурная идентификация, дискретный алгоритм «минный взрыв», кусочно-линейная инициализация, алгоритм динамического разбиения входного пространства, нечеткий классификатор

Введение. Идентификация системы является важнейшим этапом в процессе нечеткого моделирования. В настоящей работе идентификация рассматривается как этап построения модели, связанный с установлением закономерностей между входными и выходными переменными объекта исследования. Идентификация нечетких систем проводится в два этапа, которые называют структурной и параметрической идентификацией. На этапе структурной идентификации осуществляется определение входных переменных и структурных характеристик нечеткой системы, таких, как число нечетких правил и количество нечетких термов, на которое необходимо разбить входное пространство. На этапе параметрической идентификации в сформированной структуре подбираются параметры системы таким образом, чтобы результаты ее работы был как можно ближе к результатам экспериментальных данных.

Целью статьи является описание алгоритмов выбора информативных признаков (входных переменных) и алгоритмов структурной идентификации компактных и точных нечетких классификаторов и аппроксиматоров.

1. Постановка задачи. Нечеткий аппроксиматор типа Такаги-Сугено задается правилами вида:

ЕСЛИ $x_1=A_{1i}$ AND $x_2=A_{2i}$ AND ... AND $x_n=A_{ni}$ ТО $y = d_{0i} + d_{1i}x_1 + \dots + d_{ni}x_n$,

где n – размерность входного пространства; A_{ji} – лингвистический терм, которым оценивается входная переменная x_j ; выход y задается линейной функцией от входных переменных.

Выход нечеткого аппроксиматора определяет следующее отображение:

$$f(\mathbf{x}; \boldsymbol{\theta}, \mathbf{D}) = \frac{\sum_{i=1}^R \mu_{A_{1i}}(x_1) \cdot \mu_{A_{2i}}(x_2) \cdot \dots \cdot \mu_{A_{ni}}(x_n) \cdot (d_{0i} + d_{1i}x_1 + \dots + d_{ni}x_n)}{\sum_{i=1}^R \mu_{A_{1i}}(x_1) \cdot \mu_{A_{2i}}(x_2) \cdot \dots \cdot \mu_{A_{ni}}(x_n)},$$

где \mathbf{x} – входной вектор, R – число правил; n – количество входных переменных; $\mu_{A_{ji}}$ – функция принадлежности j -ой входной переменной; $\boldsymbol{\theta}$ – вектор параметров функций принадлежности нечеткого аппроксиматора; \mathbf{D} – вектор параметров линейных функций консеквентов правил нечеткого аппроксиматора.

Критерий качества аппроксимации на таблице наблюдений $\mathbf{T}=\{(\mathbf{x}_p; y_p), p = 1, \dots, m\}$ может быть выражен среднеквадратической функцией ошибки:

$$MSE(\boldsymbol{\theta}, \mathbf{D}) = \frac{\sum_{p=1}^m (y_p - f(\mathbf{x}_p; \boldsymbol{\theta}, \mathbf{D}))^2}{m}.$$

Нечеткий классификатор задается правилами следующего вида:

R_{ji} : ЕСЛИ $x_1=A_{j1i}$ И $x_2=A_{j2i}$ И $x_3=A_{j3i}$ И ... И $x_n=A_{jni}$ ТО class= c_j ,

где \mathbf{x} – вектор признаков классифицируемого объекта; c_j – идентификатор j -того класса, $j \in [1, cl]$, A_{jik} – нечеткий терм, характеризующий k -ый признак в ji -ом правиле R_{ji} ($i \in [1, |R_j|]$, $j \in [1, cl]$), R_j – множество правил, относящих наблюдение к классу с идентификатором c_j .

В процессе нечеткой классификации объект относится к каждому классу с определенной степенью принадлежности, вычисленной следующим образом:

$$\beta_j(\mathbf{x}) = \sum_{R_{ji}} \prod_{k=1}^n A_{jik}(x_k), \quad j = 1, 2, \dots, cl.$$

Выходом классификатора является метка класса, определяемая следующим образом:

$$\text{class} = c_{j^*}, \quad j^* = \arg \max_{1 \leq j \leq cl} \beta_j.$$

Нечеткий классификатор может быть представлен функцией $c = f(\mathbf{x}, \boldsymbol{\theta})$, где $\boldsymbol{\theta}$ – вектор, описывающий базу правил.

На множестве обучающих данных (таблице наблюдений) $\{(\mathbf{x}_p; c_p), p = 1, \dots, z\}$ определим единичную функцию

$$\text{delta}(p, \boldsymbol{\theta}) = \begin{cases} 0, & \text{если } c_p = f(\mathbf{x}_p, \boldsymbol{\theta}) \\ 1, & \text{иначе} \end{cases}, \quad p = 1, 2, \dots, z,$$

тогда численный критерий ошибки классификации выражается следующим образом:

$$E(\boldsymbol{\theta}) = \frac{\sum_{p=1}^z \text{delta}(p, \boldsymbol{\theta})}{z}.$$

Целью построения нечётких систем является поиск таких параметров этих систем, которые сводят к минимуму ошибку $E(\theta)$.

2. Выбор признаков. Дискретный алгоритм «Минный взрыв». Алгоритм основан на идее поиска самой взрывоопасной мины, при активации которой всё поле очистилось бы от мин [9]. В данном случае мина будет представлять собой вектор, размерность которого равна числу входных переменных. Значение координаты вектора равно 0, если признак не используется при классификации, иначе – 1.

На начальном этапе определяются параметры алгоритма: \mathbf{X}_0 – начальная точка взрыва (вектор признаков классифицируемого объекта), число осколков N_s , которые разлетаются после взрыва мины и число итераций $maxiter$. Каждая из координат начального вектора равна 1 (считается, что все признаки информативные). Далее вычисляется угол разброса φ , расстояния полёта осколков \mathbf{r} , координаты взорвавшихся мин и координаты новых осколков. Затем определяется, является ли признак информативным. Среди полученных векторов определяется лучшее временное решение с наименьшим значением ошибки классификации. Далее процесс повторяется итерационно, пока количество итераций не достигнет заданного значения.

Псевдокод алгоритма приведен ниже.

Вход: $\mathbf{X}_0, N_s, maxiter$.

Выход: значения: \mathbf{X}_{best} .

$\mathbf{X}[0] := (x_1, x_2, \dots, x_n); iter := 0;$

цикл пока ($iter < maxiter$)

$\mathbf{r}[0] := \text{rand}(\mathbf{max}, \mathbf{min});$

$\varphi := 360 / N_s;$

цикл по i от 1 до N_s

$\mathbf{r}[i] := \mathbf{r}[i - 1] \text{randn};$

$\mathbf{X}_e[i] := \mathbf{r}[i] \cos(\varphi);$

$\mathbf{X}[i] := 1 / (1 + e^{(-\mathbf{X}_e[i])});$

цикл по j от 1 до n

если ($\text{rand}(0,1) < x[i]$) то

$x[i] := 1;$

иначе

$x[i] := 0;$

конец цикла

конец цикла

если ($E(\mathbf{X}[i]) < E(\mathbf{X}_{best})$) то

$\mathbf{X}_{best} := \mathbf{X}[i];$

$iter := iter + 1;$

конец цикла

вывод $\mathbf{X}_{best} := \text{Search_best}(\mathbf{X}[i]).$

3. Динамическое разбиение входного пространства (ДРВП). Алгоритм динамического разбиения входного пространства является алгоритмом структурной идентификации и представляет собой модификацию алгоритма, предложенного в [6]. В данной работе указанный алгоритм адаптирован для систем типа Такаги-Сугено. Идея алгоритма заключается в разбиении входного пространства на нечеткие термы.

На этапе инициализации каждое входное пространство разбивается на один или два нечетких терма таким образом, чтобы ошибка аппроксимации MSE полученной нечеткой системы достигла заданного порога ε . Если достичь порога невозможно, то каждое входное пространство разбивается на два терма. Множество функций принадлежности, на которые разбита переменная i ($i=1, \dots, n$), будем обозначать L_i . Антецеденты находятся как все возможные сочетания функций принадлежности из $\{A_1, A_2, \dots, A_n\}$, обозначим эту процедуру $GetAntecedentParams$. Консеквенты определяются рекуррентным методом наименьших квадратов [7] над теми данными из T , которые подвергаются большему влиянию нечеткого правила, обозначим эту процедуру $GetConsequentParams$.

Далее выполняется итерационный процесс, на каждом шаге которого добавляется новая функция принадлежности в одно из множеств A_1, \dots, A_n и находятся параметры θ и D . Процесс продолжается, пока ошибка аппроксимации MSE нечеткой системы больше заданного порога ε .

Переменная var_worst , в которую добавляется новая функция, находится путем выявления региона reg_worst и переменной в этом регионе, которые вносят больший вклад в ошибку MSE . На пространстве var_worst строится новая функция принадлежности с вершиной a , обозначим эту процедуру $CreateMembership$. Регион входного пространства ограничивается центрами соседних функций принадлежности. На рисунке 1 представлено входное пространство из двух переменных. Каждая переменная разбита на три нечетких терма, что образует четыре региона Reg_1, \dots, Reg_4 . Множество данных таблицы наблюдений, попавших в регион i , будем обозначать M_i .

Псевдокод алгоритма приведен ниже.

Вход: T, ε .

Выход: θ, D .

Инициализация $\{A_1, A_2, \dots, A_n\}$;

$\theta := GetAntecedentParams(\{A_1, A_2, \dots, A_n\})$;

$D := GetConsequentParams(\theta, T)$;

цикл пока ($MSE(\theta, D) > \varepsilon$)

$$reg_worst := \arg \max_{i \in \{1, 2, \dots, CountRegion\}} \frac{\sum_{(x,y) \in M_i} |y - y|}{|M_i|} \cdot \prod_{j=1}^n \frac{L_i^j}{L_j};$$

$$var_worst := \arg \max_{j \in \{1, 2, \dots, n\}} \frac{\sum_{(x,y) \in M_{reg_worst}} |y - y|}{|M_{reg_worst}|} \cdot \frac{L_{reg_worst}^j}{L_j};$$

$$a := \frac{\sum_{(x,y) \in M_{reg_worst}} x_{var_worst} \cdot |y - y|}{\sum_{(x,y) \in M_{reg_worst}} |y - y|};$$

```

 $\mu := \text{CreateMembership}(a, A_{\text{var\_worst}});$ 
 $A_{\text{var\_worst}} := A_{\text{var\_worst}} \cup \{\mu\};$ 
 $\theta := \text{GetAntecedentParams}(\{A_1, A_2, \dots, A_n\});$ 
 $D := \text{GetConsequentParams}(\theta, T);$ 

```

конец цикла

вывод θ, D .

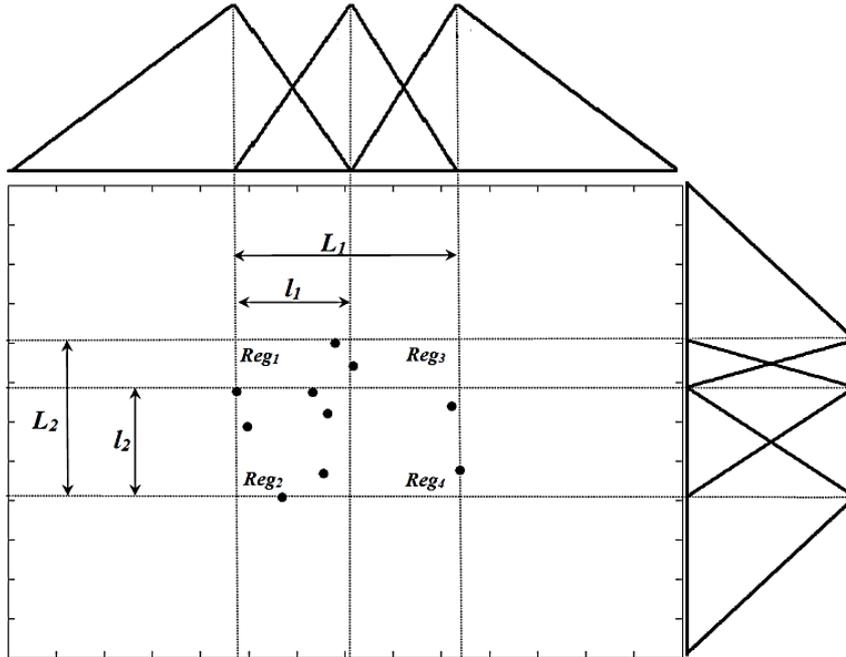


Рис. 1. Построение правил при динамическом разбиении входного пространства

4. Кусочно-линейная инициализация (КЛИ) является алгоритмом структурной идентификации нечетких систем типа Такаги-Сугено. КЛИ относится к алгоритмам кластеризации и отличается от предыдущего тем, что здесь не проводится разбиение входного пространства на нечеткие термы. Вместо этого данные таблицы наблюдений разделяются на группы, называемые кластерами, каждая такая группа будет ассоциироваться с правилом нечеткой системы. Кластеры формируются следующим образом. задается отклонение ϵ . Находится самая удаленная точка (из входных наблюдаемых данных) от начала координат. Относительно этой точки ведется построение кластера: в группу итерационно добавляются ближайшие к этой точке данные до тех пор, пока среднеквадратичная ошибка между выходными данными, входящими в кластер, и линейной регрессией, найденной с помощью данных в кластере рекуррентным методом наименьших квадратов, меньше ϵ . С помощью полученного кластера строится правило.

В этом алгоритме используются функции принадлежности гауссового типа, которые характеризуются двумя параметрами: s – среднее и σ – отклонение. Чтобы найти эти параметры, нужно воспользоваться следующими выражениями:

$$s = \frac{\sum_{k=1}^l x_k}{l}, \quad \sigma = \sqrt{\frac{2}{l} \cdot \sum_{k=1}^l (x_k - s)^2},$$

суммирование здесь ведется по всем данным, входящим в кластер, который представляет правило; l – количество данных в кластере. Консеквент правила соответствует линейной

регрессии, найденной с помощью данных, входящих в кластер, методом наименьших квадратов. Построение кластеров и правил продолжается до тех пор, пока не будут просмотрены все наблюдаемые данные.

Введем следующие обозначения: $Err(C)$ – среднеквадратичная ошибка аппроксимации данных в кластере C гиперплоскостью; $FarPoint(\mathbf{T})$ – самая удаленная точка от начала координат среди множества точек таблицы наблюдений \mathbf{T} ; $FarPoint(P, \mathbf{T})$ – самая удаленная точка от точки P среди точек таблицы наблюдений \mathbf{T} ; $RefreshParams(C, \theta, \mathbf{D})$ – добавление параметров антецедентов и консеквентов нечеткого правила, соответствующего кластеру C , к θ и \mathbf{D} .

Псевдокод алгоритма приведен ниже.

Вход: \mathbf{T}, e .

Выход: θ, \mathbf{D} .

начало цикла ($|\mathbf{T}| > 0$)

$C := \{\emptyset\};$

$P := FarPoint(\mathbf{T});$

$C := C \cup \{P\};$

$\mathbf{T} := \mathbf{T} \setminus \{P\};$

начало цикла ($Err(C) \leq e$ и ($|\mathbf{T}| > 0$))

$p := FarPoint(P, \mathbf{T});$

$C := C \cup \{p\};$

$\mathbf{T} := \mathbf{T} \setminus \{p\};$

конец цикла

$RefreshParams(C, \theta, \mathbf{D});$

конец цикла

вывод θ, \mathbf{D} .

5. Алгоритм генерации структур на основе экстремумов таблицы наблюдений (АГСНК) предназначен для формирования начальной базы правил нечеткого классификатора θ^* , содержащей по одному правилу на каждый класс. Правила алгоритмом формируются на основе экстремальных значений таблицы наблюдений $\{(\mathbf{x}_p; t_p), p = 1, \dots, m\}$ для каждого класса в отдельности [1]. Введем некоторые обозначения: cl – число классов, таблица наблюдений $\{(\mathbf{x}_p; t_p), p = 1, \dots, m\}$, θ^* – база правил классификатора.

Вход: cl .

Выход: База правил классификатора θ^* .

$\theta := \emptyset;$

цикл по j от 1 до m :

цикл по k от 1 до n :

поиск $\min class_{jk} := \min_p(x_{pk});$

поиск $\max class_{jk} := \max_p(x_{pk});$

создание термина A_{jk} , накрывающего интервал $[\min class_{jk}, \max class_{jk}]$;

конец цикла

создание правила R_{1j} на основе термов A_{jk} ($k \in [1, m]$), относящего наблюдение к классу с идентификатором c_j ;

$\theta^* := \theta \cup \{R_{1j}\};$

конец цикла

вывод θ^* .

6. Эксперимент. Эксперимент проводился по схеме кросс-валидации на данных из репозитория KEEL [8]. Описание данных представлено в таблице 1.

Таблица 1. Описание наборов данных

Набор данных	Условное обозначение	Количество записей	Количество признаков	Количество классов
iris	irs	150	4	3
wine	wn	178	13	3
glass	gl	214	9	7
newthyroid	nth	215	5	3
cleveland	cld	297	13	5
monk-2	mnk	306	3	2
bands	bnd	432	6	2
wisconsin	wsn	699	9	2
pima	pm	768	8	2
sonar	snr	208	60	2
vehicle	vhl	846	18	4
coil2000	col	9822	85	2
thyroid	thr	7200	21	3
twonorm	twn	7400	20	2

6.1. Отбор признаков. В ходе эксперимента осуществлялся отбор информативных признаков дискретным алгоритмом «Минного взрыва» (MBA_D). Полученные наборы признаков были проранжированы, из них был выбран набор признаков, на котором проводилась дальнейшая оптимизация параметров нечёткого классификатора с помощью непрерывного алгоритма «Минный взрыв» (MBA_R) [2].

Для генерации структуры нечёткого классификатора использовался АГСНК, в качестве функций принадлежности использовались гауссоиды.

Для дискретного алгоритма «Минный взрыв» было выбрано количество итераций $maxiter = 50$ и количество осколков $N_s = 15$. Для непрерывного алгоритма «Минный взрыв» $maxiter = 100$ и $N_s = 15$. В таблице 2 приведены усредненные значения процента правильной классификации на 11 наборах данных, классифицированных нечеткими классификаторами, структура которых сформирована алгоритмами MBA_R и $MBA_R + MBA_D$, а также результаты работы алгоритмов, представленных в статье [3].

Результаты экспериментов свидетельствуют о том, что уменьшение количества признаков в некоторых случаях ненамного уменьшает процент правильной классификации, а на большинстве наборов данных увеличивает обучающие способности классификатора, делая его абсолютно лучшим (iris) или лучшим относительно классификатора, настроенного только алгоритмом MBA_R (wine, newthyroid, cleveland, bands, vehicle). Положительное влияние оказывает уменьшение признаков и на прогностические способности классификаторов, на наборах данных wine и newthyroid показаны абсолютно лучшие

результаты, относительное улучшение прогностических способностей наблюдается на большинстве наборов данных: iris, glass, cleveland, sonar, bands, vehicle.

Таблица 2. Эффективность нечетких классификаторов

Алгоритм		Наборы данных										
		irs	wn	gl	nth	cld	mnk	bnd	wsn	pm	snr	vhl
		Количество правил										
		3	3	7	3	5	2	2	2	2	2	4
Ant Miner	Обуч.	97.3	99.7	81.5	99.2	60.3	97.2	67.6	92.6	71.9	74.7	59.5
	Тест	96.0	92.1	53.7	90.8	57.5	97.3	59.2	90.4	66.3	71.3	53.1
CORE	Обуч.	95.5	99.1	54.3	92.7	56.3	87.7	66.7	94.7	72.7	53.4	36.5
	Тест	92.7	94.9	45.7	90.8	53.6	88.3	64.2	92.4	73.1	53.4	36.4
HIDER	Обуч.	97.5	97.2	<i>90.1</i>	96.0	82.0	97.2	<i>87.1</i>	97.3	77.8	98.3	84.2
	Тест	96.7	82.6	64.4	90.3	55.9	97.3	62.2	96.1	73.2	52.9	63.1
SGERD	Обуч.	97.3	91.8	53.8	90.2	46.6	80.6	63.8	93.0	73.7	75.7	51.5
	Тест	96.7	87.1	48.3	88.4	44.2	80.7	62.7	92.7	73.7	73.5	51.2
TARGET	Обуч.	93.5	85.2	45.1	88.1	55.8	98.0	71.1	96.1	73.4	76.9	51.6
	Тест	92.9	82.2	44.1	86.8	53.0	96.8	67.3	95.8	73.0	74.6	49.8
MBA _R	Обуч.	97.8	98.7	70.1	98.7	60.7	92.7	70.1	97.0	<i>79.0</i>	78.5	49.4
	Тест	94.4	94.6	62.7	95.8	55.0	92.3	65.3	95.5	74.9	65.6	45.8
MBA _{R+} MBA _D	Обуч.	97.9	99.5	69.8	99.0	61.2	92.1	73.2	96.6	78.8	76.9	50.6
	Тест	95.3	96.8	63.1	96.7	55.6	91.2	67.0	94.7	74.7	66.2	47.4
Номера усечённых признаков		2	6,8,9	8,9	4	2,6,7,9	1,3,4,6	3,6,12,13,14,15	6	4,7	1-16,18-35,37-60	6,16

6.2. Формирование компактной базы правил нечеткого классификатора выполнено алгоритмом АГСНК. В таблице 3 приведены усредненные значения процента правильной классификации на пяти наборах данных, классифицированных нечеткими классификаторами, структура которых сформирована алгоритмом АГСНК и результаты работы алгоритмов, представленных в статье [4], R означает число правил. Жирным шрифтом выделены лучшие результаты классификации на тестовых выборках каждого набора данных. Курсивом выделены лучшие результаты классификации на обучающих выборках. Процент правильной классификации вычислен как разность $100 \cdot (1 - E(\theta))$.

Анализ результатов, представленных в таблице 3, позволяет сделать следующие выводы:

- 1) предложенный алгоритм АГСНК сопоставим по точности с алгоритмами D-MOFARC и FARC-ND как на обучающих, так и на тестовых данных;
- 2) алгоритм АГСНК позволяет получить более компактные базы правил нечеткого классификатора;
- 3) на наборе данных cleveland в случае применения алгоритмов D-MOFARC, FARC-ND наблюдается переобучение.

Таблица 3. Сопоставление результатов с аналогами

Набор данных	Алгоритм								
	АГСНК			D-MOFARC			FARC-HD		
	R	Обуч.	Тест	R	Обуч.	Тест	R	Обуч.	Тест
col	2	94.0	94.0	89.0	94.0	94.0	2.6	94.0	94.0
cld	5	55.1	54.9	45.6	90.9	52.9	42.1	82.2	58.3
nth	3	96.7	88.2	9.5	99.8	95.5	9.6	99.2	94.4
thr	3	99.6	99.3	5.9	99.3	99.1	4.9	94.3	94.1
twn	2	96.7	96.6	10.2	94.5	93.1	60.4	96.6	95.1

6.3. Формирование компактной базы правил нечеткого аппроксиматора

выполнялось двумя алгоритмами: алгоритмом динамического разбиения входного пространства и алгоритмом кусочно-линейной инициализации. В таблице 4 приведены усредненные значения ошибки аппроксимации на 13 наборах данных, полученные нечеткими аппроксиматорами, сформированными алгоритмами КЛИ и ДРВП, а также результаты работы алгоритмов, представленных в статье [5]. При тестировании оценивались такие параметры как количество нечетких правил – R , среднеквадратичная ошибка на обучающей выборке и среднеквадратичная ошибка на тестовой выборке. Пустые значения в таблице говорят о том, что при работе данного алгоритма происходит переполнение памяти, и нормальное завершение алгоритма невозможно. Лучшие результаты ошибки аппроксимации MSE на тестовой выборке выделены жирным шрифтом.

Результаты тестов показали, что предлагаемые алгоритмами структурной идентификации сопоставимы по точности аппроксимации с аналогами, причем количество полученных нечетких правил оказалось значительно меньше. Так же следует отметить, что алгоритмы отработали на всех тестируемых наборах данных. Полученные нечеткие системы прошли только этап структурной идентификации и не были подвергнуты параметрической.

Заключение. В статье описаны методы и алгоритмы выбора признаков и структурной идентификации, позволяющие строить компактные и точные нечеткие системы. Результаты сопоставления полученных нечетких систем с применением предложенных алгоритмов показывают подобные результаты по точности с аналогами при меньшем количестве правил и с использованием меньшего количества входных признаков. Характеристики описанных алгоритмов указывают на целесообразность их применения для построения систем аппроксимации и классификации данных в задачах, где скорость обработки информации не менее важна, чем точность вывода.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-07-00034а и при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках базовой части государственного задания ТУСУР на 2016 год (проект № 3657).

Таблица 4. Результаты работы алгоритмов идентификации нечетких аппроксиматоров

	ANFIS-SUB			TSK-IRL			LEL-TSK			METSK-HD ^s			ДРВП			КЛИ		
	R	Обуч.	Тест	R	Обуч.	Тест	R	Обуч.	Тест	R	Обуч.	Тест	R	Обуч.	Тест	R	Обуч.	Тест
pla	114	1.011	1.504	21	1.090	1.146	66	1.032	1.188	19.2	1.057	1.136	35.25	1.103	1.128	14.2	1.149	1.168
ele-2	2	8208	8525	262	17024	19786	44.8	2928	3752	36.9	2270	3192	36	9562	9869	3.2	9908	10085
detail	53.8	0.973	1.484	233.2	1.321	1.419	105.2	1.193	1.760	36.8	1.190	1.402	32	1.476	1.479	2.5	1.774	1.776
fried	57.2	0.085	3.158	3055	0.433	1.419	435	0.322	1.070	66	1.075	1.888	72	1.57	1.73	50.2	0.616	0.885
dee	291	3087	2083	3054	0.545	882.01	57.8	0.662	0.682	50.6	0.030	0.103	64	0.087	0.094	1	0.081	0.085
stp	13.2	0.134	0.307				78.9	0.606	0.849	66.4	0.167	0.387	4	2.433	2.548	16.8	0.414	0.527
wan	6	0.639	0.845				123	0.709	1.632	48	0.701	1.189	1	1.285	1.242	12.8	0.918	0.954
wiz	6.2	0.544	0.701				116	0.699	2.227	29.1	0.729	0.944	4	0.749	0.781	4	0.707	0.739
mor	9.4	0.001	0.003				64.3	0.259	0.472	27.2	0.005	0.013	1	0.007	0.006	4.8	0.004	0.004
tre	10	0.009	0.019				63.7	0.267	0.504	28.1	0.017	0.038	1	0.028	0.03	8	0.013	0.024
ca	3	7.14E+11	6.09E+11							32.9	4.376	4.949	1	45.86	47.07	2	33.818	35.851
pole	3	127.40	131.69							46.3	57.96	61.02	1	463.2	465.01	1	463.2	465.01
pum	4	4.482	4.852							63.3	0.267	0.287	1	3.55	3.612	1	3.55	3.612

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ходашинский И.А., Горбунов И.В. Построения нечетких классификаторов на основе алгоритма пчелиной колонии // Материалы Всероссийской конференции с международным участием “Знания – Онтологии – Теории” (ЗОНТ-2011). Новосибирск: Институт математики им. С. Л. Соболева, 2011. Т.2. с. 117–125.
2. Ходашинский И.А., Субханкулова С.Р. Идентификация параметров нечётких систем на основе алгоритма «Минный взрыв» // Информатика и системы управления. 2015. №2 (44). С. 89–98.
3. Alcalá-Fdez J., Fernandez A., Luengo J., Derrac J., García S., Sánchez L., Herrera F. KEEL Data-Mining Software Tool: Data Set Repository, Integration of Algorithms and Experimental Analysis Framework // Journal of Multiple-Valued Logic and Soft Computing. 2011. Vol. 17. P. 255–287.
4. Fazzolari M., Alcalá R., Herrera F. A multi-objective evolutionary method for learning granularities based on fuzzy discretization to improve the accuracy-complexity trade-off of fuzzy rule-based classification systems: D-MOFARC algorithm // Applied Soft Computing. 2014. Vol. 24. P. 470–481. DOI:10.1016/j.asoc.2014.07.019
5. Gacto M.J., Galende M., Alcalá R., Herrera F. METSK-HD^c: A multiobjective evolutionary algorithm to learn accurate TSK-fuzzy systems in high-dimensional and large-scale regression problems // Information Sciences. 2014. Vol. 276. P. 63–79. DOI: [10.1016/j.ins.2014.02.047](https://doi.org/10.1016/j.ins.2014.02.047)
6. Guillaume S. Designing inference systems from data: an interpretability-oriented review // IEEE Transactions on Fuzzy Systems. 2001. Vol. 9. P. 426–443. DOI: 10.1109/91.928739
7. Kalman R.E. A New Approach to Linear Filtering and Prediction Problems // Journal of Basic Engineering. Series D. 1960. Vol. 82. P. 35-45.
8. KEEL-dataset repository [Интернет-портал]. URL: <http://sci2s.ugr.es/keel/datasets.php> (дата обращения: 02.12.2015)
9. Sadollah A., Bahreininejad A., Eskandar H., Hamdi M. Mine blast algorithm: A new population based algorithm for solving constrained engineering optimization problems // Applied Soft Computing. 2013. Vol. 13. P. 2592–2612. DOI: 10.1016/j.asoc.2012.11.026

UDK 004.8

STRUCTURAL IDENTIFICATION OF COMPACT AND ACCURATE FUZZY SYSTEMS

Ilya A. Hodashinsky

Dr., Professor, e-mail: hodashn@rambler.ru

Ivan V. Gorbunov

PhD, e-mail: giv@keva.tusur.ru

Konstantin S. Sarin

Assistant, e-mail: sks@security.tomsk.ru

Sofiya R. Subkhankulova

Student, e-mail: sophi1059@gmail.com

Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics,
40 Lenina Prospect, Tomsk, Russia 634050, Russia

Annotation. The algorithm of feature selection was proposed based on mine blast optimization. Two algorithms are described for a structure generation of fuzzy approximators. The first of them is dynamic partitioning of the input space and the second is piecewise linear initialization. An algorithm are described for structure generation of a fuzzy classifier based on the extreme values of observation table. The results of the algorithms benchmarked on real data from the repository KEEL.

Keywords: Takagi-Sugeno fuzzy systems, structural identification, mine blast algorithm, piecewise linear initialization, dynamic partitioning of the input space, fuzzy classifier

References

1. Hodashinsky I.A., Gorbunov I.V. Postroeniya nechetkikh klassifikatorov na osnove algoritma pchelinoy kolonii // *Materialy Vserossiyskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem "Znaniya – Ontologii – Teorii" (ZONT-2011)*. Novosibirsk: Institut matematiki im. S. L. Soboleva, 2011. T.2. S. 117–125. (in Russian).
2. Hodashinsky I.A., Subhankulova S.R. Identifikatsiya parametrov nechetkikh sistem na osnove algoritma «Minnyy vzryv» // *Informatika i sistemy upravleniya*. 2015. №2 (44). S. 89–98. (in Russian).
3. Alcalá-Fdez J., Fernandez A., Luengo J., Derrac J., García S., Sánchez L., Herrera F. KEEL Data-Mining Software Tool: Data Set Repository, Integration of Algorithms and Experimental Analysis Framework // *Journal of Multiple-Valued Logic and Soft Computing*. 2011. Vol. 17. P. 255–287.
4. Fazzolari M., Alcalá R., Herrera F. A multi-objective evolutionary method for learning granularities based on fuzzy discretization to improve the accuracy-complexity trade-off of fuzzy rule-based classification systems: D-MOFARC algorithm // *Applied Soft Computing*. 2014. Vol. 24. P. 470–481. DOI: 10.1016/j.asoc.2014.07.019
5. Gacto M.J., Galende M., Alcalá R., Herrera F. METSK-HDe: A multiobjective evolutionary algorithm to learn accurate TSK-fuzzy systems in high-dimensional and large-scale regression problems // *Information Sciences*. 2014. Vol. 276. P. 63–79. DOI: 10.1016/j.ins.2014.02.047
6. Guillaume S. Designing inference systems from data: an interpretability-oriented review // *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*. 2001. Vol. 9. P. 426–443. DOI: 10.1109/91.928739
7. Kalman R.E. A New Approach to Linear Filtering and Prediction Problems // *Journal of Basic Engineering. Series D*. 1960. Vol. 82. P. 35–45.
8. KEEL-dataset repository. URL: <http://sci2s.ugr.es/keel/datasets.php>
9. Sadollah A., Bahreininejad A., Eskandar H., Hamdi M. Mine blast algorithm: A new population based algorithm for solving constrained engineering optimization problems // *Applied Soft Computing*. 2013. Vol. 13. P. 2592–2612. DOI: 10.1016/j.asoc.2012.11.026

УДК 004.056

СЕРТИФИКАЦИЯ СРЕДСТВ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ ПО ТРЕБОВАНИЯМ БЕЗОПАСНОСТИ ИНФОРМАЦИИ. НОВАЯ ПАРАДИГМА

Марков Алексей Сергеевич

Д.т.н., Президент группы компаний НПО «Эшелон», e-mail: am@cnpo.ru

Рауткин Юрий Владимирович

К.т.н., эксперт НПО «Эшелон», e-mail: mail@cnpo.ru

107023, Москва, ул. Электrozаводская, 24

Аннотация. Статья посвящена вопросам сертификации средств защиты информации по требованиям безопасности информации с точки зрения сотрудников испытательных лабораторий. Рассмотрена современная доктрина сертификации, основанная на нормативно-методических документах, представленных на официальном портале ФСТЭК России, а также новая парадигма, основанная на риск-ориентированном подходе.

Ключевые слова: информационная безопасность, требования информационной безопасности, средства защиты информации сертификация программно-аппаратных изделий.

Введение. Разработчики программно-аппаратных изделий в защищенном исполнении сталкиваются с проблемами при сертификации по требованиям безопасности информации. При принятии решения о проведении сертификации в первую очередь решаются два вопроса: каков ее эффект с точки зрения продвижения изделия на рынке и какова ее результативность с точки зрения собственно безопасности. В статье рассматриваются вопросы эволюции взглядов на сертификацию программно-аппаратных изделий, как это видится испытательным лабораториям.

1. Определение сертификации программно-аппаратных изделий в защищенном исполнении. В настоящее время сертификации по требованиям безопасности информации в обязательном порядке подлежат средства защиты информации (СЗИ), применяемые в сегментах, которые:

- обрабатывают государственный информационный ресурс ограниченного доступа, например, конфиденциальную или секретную информацию;
- обрабатывают персональные данные;
- относятся к критическим инфраструктурам и др.

Надо понимать, если в технических условиях на изделие заявлены функциональные возможности, касающиеся защиты ресурсов от угроз конфиденциальности, целостности или доступности, то изделие трактуется как СЗИ (или изделие, включающее СЗИ) [1]. Ввиду длительности и высокой стоимости выполнения сертификации СЗИ, она требует постоянного переосмысления и совершенствования. Определим основной понятийный аппарат в данной области.

Сертификация СЗИ по требованиям безопасности информации представляет собой обязательное независимое подтверждение соответствия СЗИ требованиям нормативных документов по безопасности информации с учетом правил федеральных органов в рамках их

компетенции. Участники сертификации: заявитель (разработчик, изготовитель или поставщик), испытательная лаборатория, орган по сертификации, федеральный орган.

Ключевыми принципами сертификации СЗИ по требованиям безопасности информации являются [2]:

1. Обязательность, которая диктуется современной законодательной базой.
2. Документальное подтверждение соответствия требованиям в виде сертификата.
3. Изделие имеет законченный вид, идентификационные данные и характеристики целостности его фиксируются, изделие подлежит маркировке.
4. Независимость, которая обеспечена работой третьей стороны - аккредитованной испытательной лабораторией, аккредитованным органом по сертификации, которые контролируются федеральным органом.

Основной процедурой сертификации являются сертификационные испытания, программа, методики и результаты которой подлежат внешней экспертизе. В настоящее время приняты две схемы сертификации: партии изделий и серийного производства. В последнем случае проводится испытание типового образца и собственно экспертиза (аттестация) производства СЗИ. Заявитель на сертификацию СЗИ (которым может быть разработчик, изготовитель или поставщик), должен иметь необходимые лицензии, испытательная лаборатория и орган по сертификации – аттестаты аккредитации, т.е. участники тоже подлежат специальным экспертизам.

Таким образом, сертификация представляет многоуровневую систему проверок, обладающую известной долей субъективизма. Это означает, что выполнение процедур сертификации возможно только автоматизированным путем (с участием человека), а основными способами проверки являются экспертные методы [2, 3].

Можно определить методологические уровни сертификации: процедурный, методический, технологический, документальный, инструментальный.

Сертификация включает два класса испытаний:

- на соответствие требованиям по защищенности информации от несанкционированного доступа (НСД);
- контроль отсутствия недеklarированных возможностей (НДВ).

Указанным классам соответствуют два класса нормативных документов и два класса технологий тестирования (по методу «черного ящика», по методу «стеклянного ящика»).

Таким образом, понятие безопасности информации СЗИ включает в себя понятие защищенности изделия от угроз (точнее, от несанкционированного доступа к информации) и понятие безопасности программной среды [4].

2. Эффективность сертификации программно-аппаратных изделий.

Эффективность сертификации СЗИ как операции порождается совокупностью свойств: результативностью, ресурсоемкостью, оперативностью, т.е. ее можно оценить с помощью следующего e -мерного вектора:

$$E_{(e)} = \langle S_{(s)}, R_{(r)}, T_{(t)} \rangle,$$

где: $S_{(s)}, R_{(r)}, T_{(t)}$ – векторные показатели результативности, ресурсоемкости и оперативности; e -размерность векторного показателя: $e = s + r + t$.

Как отмечалось ранее, требования по безопасности информации включают требования по защищенности объекта испытаний и требования по безопасности среды:

$$S_{(s)} = \langle S_{(s_1)}^{(НСД)}, S_{(s_2)}^{(НДВ)} \rangle,$$

где s - размерность векторного показателя.

Формализованное описание цели сертификации можно описать критерием пригодности:

$$E_{(e)} \in \{E_e^A\},$$

где: $\{E_e^A\}$ – область допустимых значений показателя $E_{(e)}$ качества результатов сертификации.

В условиях априорной неопределенности факторов сертификации принято использовать вероятность наступления события, которая характеризует степень его объективной возможности при заданном комплексе условий:

$$P_{ц} = P(\hat{E}_{(e)} \in \{\hat{E}_{(e)}^A\}),$$

где $P_{ц}$ – вероятность достижения целей сертификации.

Итоговой целью сертификации является обеспечение безопасности ресурсов объекта информатизации, в общем случае – информационно-телекоммуникационной системы (ИТКС). В то же время, показатели безопасности информации СЗИ четко заданы в нормативных документах. Как известно, нормативные документы являются отражением текущей доктрины информационной безопасности (ИБ). Сказанное позволяет сформулировать ряд теоретических положений, приведенных ниже и в разделах 3-4.

Утверждение 1. Уровень результативности сертификации СЗИ отстает от уровня результативности анализа защищенности (аудита безопасности) СЗИ на величину отставания нормативных документов от реальных требований - $\{S_{(s)}^A\} / \{S_{(s')}^A\}$.

Можно привести доказательство указанного утверждения индуктивным методом. Например, руководящий документ по безопасности информации определяет длину пароля в 8 символов. В то же время энтропия его может быть равна нулю, т.е. система в реальной жизни не защищена. В данном случае, мы видим устаревание показателя парольной защиты, который определяет уязвимость механизма защиты СЗИ и, далее, угрозу ИБ объекта информатизации (ИТКС).

В научном плане остается вопрос: как определить это расстояние между уровнями? Рассмотрим вначале современную парадигму сертификации СЗИ по требованиям безопасности информации.

3. Современная парадигма сертификации. Наиболее известными нормативно-методическими документами, регулирующими сертификацию в стране, являются положение, руководящие документы и нормативно-правовые акты, представленные на официальном портале ФСТЭК России.

В первую очередь следует отметить текущие показатели результативности сертификации $S_{(s)}$:

- показатель защищенности информации от несанкционированного доступа (НСД), заданный иерархически в руководящих документах Гостехкомиссии России (соответствует «Оранжевой книге»);

- показатель безопасности ПО СЗИ, формулирующий отсутствие недеklarированных возможностей (НДВ).

В первом случае проводится процедура подтверждения (путем функционального тестирования) заданных качественных показателей (например: факт, что пароль должен содержать не менее 8 символов). Если все частные (булевы) показатели подтверждены при проверках, то делается вывод о соответствии СЗИ нормативному документу.

Во втором случае, в соответствии с нормативным документом проводится так называемый статический и (при необходимости) динамический анализ, выражающийся в компиляции и нисходящей декомпозиции программы (сборе маршрутов программ). По завершению проверок делается экспертный вывод об отсутствии НДВ.

Несмотря на то, что указанные методы оценки результативности сертификации имеют ряд косвенных достоинств, следует сделать критический анализ современной доктрины в связи с новыми геополитическими и технологическими условиями. Основными особенностями доктрины являются:

- часть показателей защищенности заданы директивно, т.е. могут не иметь нагрузки для безопасности реального объекта информатизации;
- формально не определена полнота тестирования, т.е. обоснование достоверности носит субъективный характер;
- методический аппарат испытаний опирается на теорию надежности, т.е. мало эффективен при поиске ошибок, связанных с редко используемыми входными данными (например, в случае закладок);
- статичность сертификации, т.е. проверка изделия не проводится до следующей пересертификации (решение о которой мало зависит от инцидентов в области ИБ).

Утверждение 2. Существует ситуация, когда время и стоимость испытаний не влияет на показатели безопасности, но с течением времени эксплуатации изделия его степень безопасности уменьшается:

$$\begin{cases} \forall (T, R \rightarrow \infty) \exists S \rightarrow S^{\text{реал}} \\ \lim_{t \rightarrow \infty} S \setminus S^{\text{реал}}(t) \rightarrow \infty \end{cases}$$

где: T, R, S – обобщенные показатели эффективности сертификации СЗИ, t - время эксплуатации СЗИ.

Доказательство утверждения можно выполнить, используя индуктивные методы. Например, fuzzing-тестирование современной операционной системы предполагает запуск последней до миллиарда раз. Очевидно, что испытательная лаборатория на этапе сертификации не имеет возможности найти уязвимости, опираясь на методы из теории надежности. Еще пример, структурная декомпозиция программ (сбор и контроль всех маршрутов программ) является обязательной и чрезвычайно трудоемкой процедурой, в то же время не связанной напрямую с поиском и локализацией дефектов безопасности.

Следствие 1. Высокая трудоемкость испытаний, основанных на аппарате теории надежности, приводит к снижению показателей ее результативности по причине отвлечения специалистов испытательной лаборатории (ИЛ).

4. Новая парадигма сертификации. Как известно, альтернативным директивному подходу в области ИБ является риск-ориентированный подход.

Сформулируем систему исходящих понятий риск-ориентированного подхода применительно к сертификации СЗИ:

1. Основными факторами ИБ являются (по нисходящей связи): риски ИБ, угрозы (определяющие риски), известные уязвимости (реализация которых может представлять угрозу) и дефекты программ (локализация которых может составить уязвимость).

2. Каждому фактору безопасности поставлены в соответствие классы способов проверки, например:

- методы структурного анализа безопасности программ, направленные на выявление дефектов и уязвимостей;

- методы функционального тестирования (от пентестов до комплексного анализа уязвимостей), ориентированные на идентификацию угроз, в том числе связанных с известными уязвимостями;

- объектовые проверки, позволяющие оценить риски, связанные с актуальными угрозами.

3. Сертификация (согласно системному подходу) рассматривается как неотъемлемая часть непрерывной оценки соответствия, т.е. подразумевает использование результатов приемочных испытаний (в случае модификации изделия) и определение последующего периодического контроля.

Такой подход имеет ряд преимуществ:

- сертификация касается только вопросов ИБ, т.е. исключает трудоемкие (зачастую и невыполнимые) проверки по качеству, в том числе дублируемые разработчиком СЗИ;

- объектовые проверки направлены на защиту только от актуальных угроз, т.е. согласуются с моделью угроз.

- ориентация на факторы безопасности («дефекты-уязвимости») существенно повышает результативность сертификации в смысле повышения безопасности ресурсов АС.

Утверждение 3. Использование риск-ориентированного подхода позволяет обеспечить заданный уровень эффективности сертификации СЗИ:

$$\left\{ \begin{array}{l} S(t) \rightarrow S_{\max}; \\ T \leq T_{\text{тр}}; \\ R \leq R_{\text{тр}} \end{array} \right. .$$

Можно предложить доказательство данного подхода, опираясь на индуктивно-дедуктивные методы. Например, базовые классы факторов безопасности, а именно: дефекты безопасности, уязвимости, угрозы и риски – инвариантны, значения их показателей подлежат непрерывному контролю. Эффективность контроля зависит от полноты и ранжирования проверочных процедур, которые, в свою очередь, находятся в постоянном развитии, т.е. подлежат управлению.

Следствие 2. Риск-ориентированный подход позволяет обосновать инкрементальную сертификацию, когда изделие имеет динамически меняющийся код.

Например, имеется ряд изделий, требующих постоянного изменения кода или конфигурационных файлов. В первом случае, как правило, имеем дело с обновлениями, во втором – с базами данных, например, антивирусными базами или базами сигнатур компьютерных атак. Опираясь на риск-ориентированный подход, можно оценить риски, связанные с обновлением ПО, и принять обоснованные решения (провести обработку риска) по периодичности инспекционного контроля обновлений или пересертификации всего изделия.

С учетом новой парадигмы можно уточнить утверждение 1.

Утверждение 4. Степень результативности сертификации продукта (программно-технического средства) может быть определена числом N – опубликованных (нормированных) уязвимостей, оставшихся в продукте в период действия сертификата (с учетом инспекционного контроля).

Следствие 3. В рамках экспертизы материалов должна быть подтверждена полнота спектра выявляемых дефектов и уязвимостей.

Утверждение 5. Результативность сертификации (аттестации) объекта информатизации (ИТКС) может быть определена степенью увеличения риска ИБ ΔR ресурсам системы, связанного с оставшимися угрозами и уязвимостями за период действия сертификата (с учетом инспекционного контроля).

Следствие 4. В рамках экспертизы материалов должно быть подтверждено соответствие механизмов безопасности СЗИ актуальным угрозам.

5. Методическая база полноты проверок. Как ранее отмечалось, при сертификации используются два класса технологий тестирования: по методу «черного ящика» (функциональное тестирование) и по методу «стеклянного ящика» (структурный анализ).

Обеспечение полноты проверок при структурном анализе видится в реализации эвристического анализа кода, ориентированного на поддержку существующих классификаций и реестров дефектов безопасности.

Обеспечение полноты проверок на уровне функционального тестирования обеспечивается проверками:

- известных уязвимостей и уязвимостей, локализованных по результатам структурного анализа;
- проверкой закрытия актуальных угроз.

Эти задачи упрощаются, если сертификация проводится в соответствии с метастандартом ISO 15408, когда нормативный документ (задание по безопасности) не имеет строго директивного вида, например, ограниченного требованиями к подсистеме разграничения доступа. Согласно методологии ISO 15408, изделие проходит сертификацию на соответствие декларированным в нем механизмам безопасности. В то же время на реальном объекте, имеющем модель угроз ИБ, не представляет трудности соотнести механизмы безопасности с актуальными угрозами. В идеале, администраторы безопасности на объекте могут (в зависимости от оценки стоимости ресурсов) провести оценку рисков с целью редуцирования угроз ИБ.

Внедрение указанных подходов связано с рядом сложностей, к ключевым из которых относят:

- поддержку актуализированной базы эвристик для эвристических анализаторов;
- сложность и новизну понимания метастандарта ISO 15408, трудности его гармонизации с национальными стандартами и специальными требованиями и рекомендациями.

В работе были проанализированы результаты многолетних изысканий, касающихся исследования применения указанных подходов.

6. Статистика работы испытательной лаборатории

6.1. Статистика реализации эвристического анализа. В рамках исследования был разработан эвристический анализатор, совместимый с наиболее известными таксономиями дефектов безопасности (CWE, HP Fortify) и поддерживающий 16 систем программирования. Для каждого языка программирования было разработано около 100 эвристических правил. Для их моделирования был использован продукционный подход [5].

Сравнительный анализ за 7 лет показал весьма высокий результат – 88 % критических уязвимостей было выявлено эвристическим способом (см. рис. 1) [6].

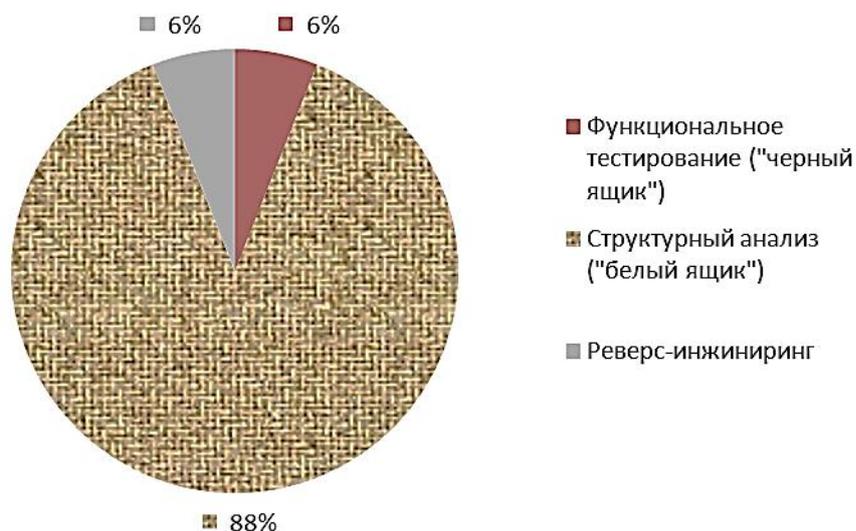


Рис. 1. Статистика результативности способов тестирования

6.2. Статистика внедрения методологии ISO 15408. Апробация методологии ISO 15408 показала ее первичную сложность при обучении персонала, а также разработчиков СЗИ. Несмотря на организацию курсов повышения квалификации, уровень современных разработчиков программно-аппаратных изделий оставляет желать лучшего. Это выражается в том, что на сегодняшний день практически все разработчики программно-аппаратных изделий обращались за помощью по подготовке документации по линии ISO 15408 именно к ИЛ. В то же время проведенные испытания показали, что их трудоемкость соизмерима с традиционными подходами, что вселяет надежду на успех (рис.2) [7].

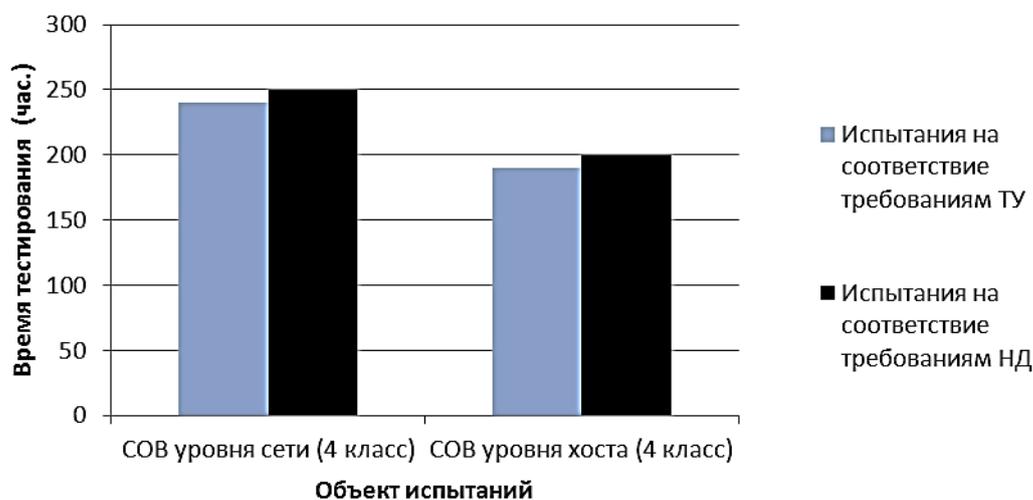


Рис. 2. Сравнение трудоемкости тестирования систем обнаружения вторжений

7. Выводы и предложения. Наиболее перспективным направлением развития системы сертификации программно-аппаратных изделий по требованиям безопасности информации видится внедрение риск-ориентированного подхода. Формирование требований по безопасности информации в соответствии с моделью угроз можно осуществлять на базе методологии метастандарта ISO 15408, однако, возможно, с учетом решения проблем сложности указанного подхода. В то же время, вопросы обеспечения безопасности программного обеспечения требуют существенной переработки и новых изысканий.

В качестве предложений можно сформулировать следующие:

- приоритетное использование показателей безопасности информации, а не качества и надежности;
- использование показателей глубины тестирования;
- исследование вопросов интеграции в систему оценки соответствия с учетом приемочных испытаний и периодического контроля;
- формирование рекомендаций (по итогам сертификации) по компенсационным методам защиты информации на объекте;
- формализация требований по оперативному обновлению ПО СЗИ, повторной сертификации (инспекционному контролю).

В завершение следует указать, что отсутствие регламента модификации нормативных документов в соответствии с новыми угрозами в области ИБ является потенциальной причиной возможного снижения эффективности сертификации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зубарев И.В., Жидков И.В., Кадушкин И.В. Кибербезопасность автоматизированных систем управления военного назначения // Вопросы кибербезопасности. 2013. № 1(1). С. 10-16.
2. Марков А.С., Цирлов В.Л., Барабанов А.В. Методы оценки несоответствия средств защиты информации / Под ред. А.С. Маркова. М.: Радио и связь, 2012. 192 с.
3. Методическое руководство по оценке качества функционирования информационных систем / Жуков И.Ю., Зубарев И.В., Костогрызов А.И. и др. М. Изд-во 3 ЦНИИ МО РФ, 2004. 352 с.
4. Марков А.С., Цирлов В.Л. Сертификация программ: мифы и реальность // Открытые системы. СУБД. 2011. № 6. С.26-29.
5. Марков А.С., Фадин А.А. Статический сигнатурный анализ безопасности программ. // Программная инженерия и информационная безопасность. 2013. №1(1). С.50-56.
6. Марков А.С., Цирлов В.Л. Опыт выявления уязвимостей в зарубежных программных продуктах // Вопросы кибербезопасности. 2013. № 1(1). С.42-48.
7. Barabanov A.V., Markov A.S., Tsirlov V.L. "Russian IT Security Certification Scheme: Steps Toward Common Criteria Approach". In: Proc. of 15th International Common Criteria Conference (ICCC-2014), New Delhi, India, 2014. pp. 1-11.

INFORMATION SECURITY TOOLS CERTIFICATION. NEW PARADIGM

Alexey S. Markov

Dr., Professor, Head of NPO Echelon

Yuriy V. Rautkin

PhD, expert of NPO Echelon

Annotation. The problems of certification of information security tools in accordance with information security requirements are discussed. The situation where certification of hardware-software is being mandatory is reviewed. The key features of certification, methodological levels of certification and indicators of the effectiveness of the certification process are formulated. The drawbacks of the modern paradigm of certification are shown. The necessity of the shift of certification paradigm is substantiated. The approaches to ensure the completeness checks of hardware and software products on information security requirements are offered. The results of long-term statistics of certification testing of software and hardware products are presented.

Keyword: information security, information security requirements, information security tools.

References

1. Zubarev I.V., Zhidkov I.V., Kadushkin I.V. Kiberbezopasnost' avtomatizirovannyh sistem upravlenija voennogo naznachenija [Cybersecurity automated control systems for military use] // Voprosy kiberbezopasnosti = Questions cybersecurity. 2013. № 1(1). Pp. 10-16.
2. Markov A.S., Cirlov V.L., Barabanov A.V. Metody ocenki nesootvetstvija sredstv zashhity informacii [Methods for evaluating inconsistencies of information security tools]. Moscow. Radio i svjaz' = Radio and Communications 2012. 192 p.
3. Metodicheskoe rukovodstvo po ocenke kachestva funkcionirovanija informacionnyh sistem [Methodological manual on evaluating the quality of information systems] / Zhukov I.Ju., Zubarev I.V., Kostogryzov A.I. i dr. Moscow. Izd-vo 3 CNII MO RF. 2004. 352 p.
4. Markov A.S., Cirlov V.L. Sertifikacija programm: mify i real'nost' [Certification of Programs: Myths and Reality] // Otkrytye sistemy. SUBD. = Open the system. DBMS 2011. № 6. Pp. 26-29.
5. Markov A.S., Fadin A.A. Sticheskiy signaturnyj analiz bezopasnosti program [Statistical signature analysis the cybersecurity of program] // Programmnaja inzhenerija i informacionnaja bezopasnost'. = Software Engineering and Information Security. 2013. №1(1). Pp. 50-56.
6. Markov A.S., Cirlov V.L. Opyt vyjavlenija ujazvimostej v zarubezhnyh programnyh produktah [Experience identifying vulnerabilities in overseas software products] // Voprosy kiberbezopasnosti. = Questions cybersecurity. 2013. № 1(1). Pp. 42-48.
7. Barabanov A.V., Markov A.S., Tsirlov V.L. "Russian IT Security Certification Scheme: Steps Toward Common Criteria Approach". In: Proc. of 15th International Common Criteria Conference (ICCC-2014), New Delhi, India, 2014. pp. 1-11.

**СНИЖЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЯ УЯЗВИМОСТИ СИСТЕМЫ SCADA К КИБЕРАТАКАМ
МЕТОДАМИ ОБНАРУЖЕНИЯ ОШИБОЧНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ
ПРИ ОЦЕНИВАНИИ СОСТОЯНИЯ ЭЭС**

Колосок Ирина Николаевна

Д.т.н., ведущий научный сотрудник, e-mail: kolosok@isem.irk.ru

Гурина Людмила Александровна

К.т.н., доцент, научный сотрудник, e-mail: gurina@isem.irk.ru

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

Аннотация. В статье рассмотрены проблемы кибербезопасности электроэнергетических систем (ЭЭС). Оценивание состояния – математический метод обработки данных, широко используемый для расчета режима ЭЭС по данным измерений. Задача оценивания состояния дает корректное решение только в тех случаях, когда в телеизмерениях отсутствуют грубые ошибки. Причинами появления этих ошибок могут быть как случайные факторы, связанные со сбоями в системе сбора данных, ошибками персонала и т.д., так и преднамеренные воздействия (кибератаки) на систему сбора и передачи данных (SCADA), базы данных и саму программу оценивания состояния. В статье рассмотрены возможные последствия кибератак на результаты оценивания состояния. Введено понятие показателя уязвимости к кибератакам. Предложен подход к определению уровней и значений показателя уязвимости. Показано, что совместное использование телеизмерений SCADA и синхронизированных векторных измерений при оценивании состояния ЭЭС позволяет повысить эффективность методов обнаружения грубых ошибок в телеизмерениях и точность получаемых оценок, снижая тем самым уязвимость системы SCADA к кибератакам.

Ключевые слова: Электроэнергетическая система, система SCADA, оценивание состояния, измерения SCADA, синхронизированные векторные измерения, кибербезопасность, показатель уязвимости.

Введение. Современные энергосистемы, базирующиеся на сложном компьютерном и коммуникационном оборудовании, отличаются повышенной уязвимостью к различным видам несанкционированного злонамеренного доступа - к кибератакам, поэтому в настоящее время при разработке концептуальных моделей и проектов развития ЭЭС большое внимание уделяется проблеме обеспечения кибербезопасности, т.е. устойчивости сети к физическому и кибернетическому вмешательству [8, 9].

Оценивание состояния (ОС) – математический метод обработки данных, широко используемый для расчета режима ЭЭС по данным измерений. В качестве исходной информации для решения задачи оценивания состояния в основном используются телеизмерения и телесигналы, поступающие от SCADA-систем (Supervisory Control and Data

Acquisition). В связи с этим проблема кибербезопасности SCADA-системы тесно связана с проблемой кибербезопасности задачи ОС.

Появление систем спутниковой связи дало развитие новому поколению измерительного оборудования – устройствам PMU (Phasor Measurement Unit) для получения синхронизированных векторных измерений (СВИ) [9, 10], входящих в Систему мониторинга переходных режимов (СМПР). Результаты решения задачи ОС могут быть существенно улучшены при совместном использовании СВИ и традиционных телеизмерений (ТИ) системы SCADA.

Задача ОС дает правильное решение только при отсутствии в ТИ грубых ошибок. Обнаружение грубых ошибок, подавление их влияния на оценки параметров режима ЭЭС – одна из наиболее актуальных проблем при решении задачи ОС [6]. Причинами появления грубых ошибок могут быть как случайные факторы, связанные со сбоями в системе сбора данных, ошибками персонала и т.д., так и преднамеренные воздействия (кибератаки) на систему сбора и передачи данных, базы данных и саму программу ОС. Это означает, что вследствие кибератаки на систему SCADA программа ОС будет обеспечивать диспетчера ошибочной информацией о состоянии ЭЭС, не предупредив его об этом. В результате могут возникнуть серьезные ошибки в решениях, принимаемых при диспетчерском управлении на базе результатов ОС. Вследствие этого, как отмечено в большом количестве публикаций [2, 13, 14 и др.], системы SCADA и задача ОС относятся к критическим с точки зрения безопасности, т.е. к наиболее опасным инфраструктурам по последствиям реализованных киберугроз.

В статье рассмотрены возможные последствия кибератак на результаты ОС по измерениям SCADA, а также использование методов обнаружения грубых ошибок в измерениях для идентификации этих последствий и их подавления.

Для оценки способности сложной технической системы противостоять воздействию кибератак вводится понятие уровня уязвимости системы, численной характеристикой которого является показатель уязвимости.

Показатель уязвимости для задачи ОС характеризует степень незащищенности ее результатов от возможных ошибок в измерительной информации при воздействии кибератак на систему SCADA. Для определения показателя уязвимости в статье предлагается использовать набор индикаторов, характеризующих точность результатов ОС. Показатель уязвимости позволяет выявить наиболее уязвимые объекты в ЭЭС и разработать стратегию повышения их кибербезопасности. В качестве такой стратегии предлагается дополнительно к ТИ SCADA использовать СВИ, поступающие от СМПР.

1. Кибербезопасность SCADA и СМПР. SCADA и СМПР относятся к системам, наиболее уязвимым и опасным по последствиям реализованных киберугроз для ЭЭС.

В работах зарубежных исследователей, например, в [12, 7], приводится классификация возможных кибератак на SCADA/EMS¹ системы, оцениваются вероятность их выполнения и возможные последствия для процесса управления ЭЭС. Пять типов кибератак на систему SCADA приводятся в [12]: это может быть прямое повреждение удаленных устройств телемеханики - RTU (Remote Terminal Unit) для снятия телесигналов о состоянии коммутационного оборудования и телеизмерений параметров режима, линий

¹ Energy Management System – математическое обеспечение, используемое диспетчерским персоналом ЭЭС для решения задач оперативного управления, мониторинга и оптимизации режимов

(каналов) связи между RTU и центром управления, баз данных в центре управления, а также программ, расположенных на сервере SCADA и сервере EMS-приложений в центре управления ЭЭС. Наиболее вероятными считаются атаки, названные в [7] атаками «внедрения ложных данных», которые приводят к искажению передаваемых и/или сохраненных данных. Атаки по «внедрению ложных данных» могут быть выполнены непосредственно на RTU или при передаче данных от RTU по каналам связи в центр управления.

Данные, поступившие в центр диспетчерского управления, передаются в блок ОЦЕНИВАНИЯ СОСТОЯНИЯ, обеспечивающий EMS-приложения и управляющие центры надежной и точной информацией о режиме в любое время. Результаты оценки состояния могут быть существенно искажены введением ложных данных, полученных в результате кибератаки на устройство RTU, установленное на объекте ЭЭС, или при передаче этих данных по каналам связи. В статье анализ кибербезопасности задачи ОС будет выполнен при моделировании именно таких атак на устройства RTU, установленные в узлах расчетной схемы, моделирующих объекты ЭЭС.

СМПП представляет собой совокупность измерительных устройств PMU, концентраторов векторных данных PDC (Phasor Data Concentrator), каналов передачи информации между PMU, концентраторами данных и диспетчерскими центрами ОАО «СО ЕЭС», а также средств обработки полученной информации [5].

Точная и надежная синхронизация СВИ (порядка 1 мкс и менее) является принципиальным условием надежной работы СМПП, для выполнения которого применяются Глобальные навигационные спутниковые системы (ГЛОНАСС).

При проведении исследований авторы предполагали, что вероятность проведения кибератаки на RTU, установленное на объекте ЭЭС, и одновременно на соответствующие объекты СМПП, обеспечивающие этот же объект данными PMU, ничтожно мала. Поэтому при моделировании кибератак на систему SCADA измерения от PMU принимались точными и достоверными.

2. Оценивание состояния по данным SCADA и СМПП. Задача ОС состоит в поиске таких расчетных значений (оценок) измеряемых параметров режима \hat{y} , которые наиболее близки к измеренным значениям \bar{y} в смысле некоторого критерия, в качестве которого чаще всего используется сумма взвешенных квадратов отклонений оценок от измерений [9]:

$$J(y) = (\bar{y} - \hat{y})^T R_y^{-1} (\bar{y} - \hat{y}) \quad (1)$$

и удовлетворяют уравнениям электрической цепи

$$w(y, z) = 0, \quad (2)$$

связывающим измеренные y и неизмеренные z переменные режима. В (1) R_y - ковариационная матрица ошибок измерений, \bar{y} - вектор измерений SCADA.

В ИСЭМ СО РАН разработаны алгоритмы ОС, основанные на использовании контрольных уравнений [6]:

$$w_k(y) = 0, \quad (3)$$

которые могут быть получены при исключении неизмеренных переменных из уравнений установившегося режима ЭЭС (2).

После получения контрольных уравнений (КУ) задача ОС сводится к минимизации целевой функции (1) при ограничениях в виде системы (3).

Основная идея алгоритма обнаружения плохих данных (ОПД) на основе КУ состоит в сопоставлении величины невязки w_k , вычисленной после подстановки в КУ полученных измерений, с некоторым порогом d_k , определяемым статистическими свойствами нормальных ошибок измерений. Для этого проверяется условие

$$|w_k| < d_k. \quad (4)$$

Если условие (4) выполняется, то все измерения, входящие в данное контрольное уравнение, считаются достоверными. В противном случае КУ содержит измерения с грубой ошибкой, для поиска которых применяются различные алгоритмы идентификации плохих данных [6].

Опыт реализации алгоритмов в ПВК «Оценка» [6] показал достаточно высокую эффективность предложенных подходов. Вместе с тем, здесь есть и свои проблемы, связанные, в основном, с низкой избыточностью ТИ, получаемых от системы SCADA, и сложной логикой программы при расчете схем большого размера. Из-за этого при проверке условия (4) возникают ошибки I рода (пропуск ошибочных измерений в задачу оценивания состояния) и II рода (ложная браковка достоверных данных). Кроме того, при низкой избыточности измерений существует проблема *критических* измерений и *критических групп*. В этих измерениях невозможно однозначно определить грубые ошибки.

Один из возможных подходов к решению этих проблем – использование измерений от PMU [10]. По сравнению со стандартным набором ТИ, получаемых от системы SCADA, PMU, установленное в узле, может обеспечить точные (погрешность – 0.2-0.5%) и синхронизированные измерения, включающие модуль и фазу напряжения в этом узле, а также модули и фазы токов в смежных с этим узлом ветвях.

Оптимальная расстановка PMU позволяет повысить избыточность телеизмерений SCADA и ликвидировать критические измерения и критические группы, т.е. добиться полного обнаружения грубых ошибок в измерениях. Развитие методов ОПД при совместном использовании данных SCADA и СМПП представлено в [4].

3. Определение показателя уязвимости к кибератакам задачи оценивания состояния при ее решении на основе данных SCADA и СМПП. Под показателем уязвимости при кибератаках понимается уровень незащищенности систем (технических, информационных) от кибератак. Данный показатель может служить для оценки качества ОС ЭЭС по данным, получаемым от систем SCADA и СМПП, при кибератаках.

Расчет показателя уязвимости оценивания состояния выполнялся для отдельных узлов схемы, моделирующих объекты ЭЭС.

Расчеты проводились для двух вариантов оснащения схемы измерениями. В первом варианте использовались только ТИ SCADA, поступающие по каналам телемеханики от RTU. При этом, если по ТИ SCADA схема была не полностью наблюдаема, то в ненаблюдаемых узлах были добавлены либо измерения узловых нагрузок от счетчиков электрической энергии АСКУЭ (Автоматизированная Система Коммерческого Учета Электроэнергии), либо псевдоизмерения прогнозов узловых нагрузок. Во втором варианте к ТИ SCADA для ликвидации критических измерений и критических групп были добавлены СВИ.

3.1 Выбор индикаторов для определения показателя уязвимости. Необходимо было выбрать набор индикаторов, анализ выхода значений которых за допустимые пределы при кибератаках позволит определить уровень уязвимости.

В результате применения алгоритма достоверизации ТИ методом контрольных уравнений все измерения делятся на 4 группы: 1) достоверные; 2) ошибочные; 3) сомнительные; 4) непроверенные или критические [3].

Качество результатов ОС определяется значением целевой функции (1) в точке решения. При предположении о нормальном законе распределения погрешностей измерений функция $J(\hat{y})$ имеет χ^2 распределение с $m-n$ степенями свободы, где m – количество измерений, n – количество компонент вектора состояния. Если значение $J(\hat{y})$ превышает величину $\chi_{1-\alpha}^2(m-n)$, где α – заданная вероятность ошибки I рода при проверке гипотезы о распределении $J(\hat{y})$, то это свидетельствует о присутствии грубых ошибок в измерениях.

Для определения показателя уязвимости задачи ОС были выбраны четыре индикатора, характеризующих эффективность реализованного в блоке ОС метода ОПД и точность полученных оценок:

1. v_φ - отношение величины целевой функции (1), вычисленной по измерениям узла в точке решения, к величине $\chi_{1-\alpha}^2(m-n)$;
2. $v_{ошиб}$ - отношение числа правильно обнаруженных ошибочных измерений к числу ошибочных измерений i -го узла;
3. $v_{дост}$ - отношение числа ошибочных измерений, определенных как достоверные, к числу измерений i -го узла;
4. $v_{сомн}$ - отношение числа ошибочных измерений, определенных как сомнительные, к числу измерений i -го узла.

Для накопления статистики по результатам ОС выполнялось многократное моделирование отказов отдельных RTU путем внесения в поступающие от него измерения грубых ошибок различной величины (от $\pm 10\sigma$ до $\pm 20\sigma$), решались задачи ОПД и ОС. В качестве значений индикаторов для вычисления показателя уязвимости использовались средние значения.

3.2 Определение показателя уязвимости ОС на основе теории нечетких множеств. При определении показателя уязвимости при кибератаках предлагаются следующие уровни опасности: высокий, средний и низкий.

Поскольку уровни уязвимости не являются детерминированными величинами, а рассчитанные показатели носят случайный характер, то для показателя уязвимости при кибератаках целесообразно использование аппарата теории нечетких множеств [1].

Каждый выбранный индикатор описывается лингвистической переменной (ЛП) [1]. Для каждого термина ЛП строится функция принадлежности. Совокупность функций принадлежности ЛП позволит определить показатель уязвимости на основе α -сечений. Множество α -уровня описывается как $\tilde{A}_\alpha = \{\tilde{A}_i / \tilde{A}_i \in A, \mu_{\tilde{A}_i}(A_i) \geq \alpha\}$, где $\tilde{A} \leq A, A_i \in A, \forall \alpha \in [0,1]$. При определении уровня уязвимости предлагаются следующие α -уровни -

$\alpha_1 = 0.25$, $\alpha_2 = 0.75$. Таким образом, для оценки уязвимости необходимо выполнение условий:

- если $\tilde{A}_{0.75} = \{\tilde{A}_i / \tilde{A}_i \in A, \cup \mu_{\tilde{A}_i}(A_i) \geq 0.75\}$, то уровень уязвимости высокий;

- если $\tilde{A}_{0.25} = \{\tilde{A}_i / \tilde{A}_i \in A, 0.25 \leq \cup \mu_{\tilde{A}_i}(A_i) \leq 0.75\}$, то уровень уязвимости средний.

$$\cup \mu_{\tilde{A}_i}(A_i) = \max\{\mu_{\tilde{A}_1}(A_1), \dots, \mu_{\tilde{A}_i}(A_i), \dots, \mu_{\tilde{A}_n}(A_n)\},$$

где n - количество исследуемых характеристик измерений, $i = \overline{1, n}$. При невыполнении перечисленных условий уровень уязвимости считается низким.

Обозначив показатель уязвимости как ρ_v , получим его значение $\rho_v = \max\{\mu_{\tilde{A}_1}(A_1), \dots, \mu_{\tilde{A}_i}(A_i), \dots, \mu_{\tilde{A}_n}(A_n)\}$.

На основе метода парных сравнений [1] находятся функции принадлежности термножества $T_i = \{\text{малое, большое}\}$ ЛП « $v_{\text{сопн}}$ », « $v_{\text{ошиб}}$ », « $v_{\text{досп}}$ » и « v_{φ} ». Уровень уязвимости при кибератаках будет тем выше, чем больше значения функций принадлежности ЛП « $v_{\text{сопн}}$ », « $v_{\text{досп}}$ », « v_{φ} » и чем меньше значение функции принадлежности ЛП « $v_{\text{ошиб}}$ ». Поэтому для определения показателя уязвимости анализировались функции принадлежности термина «большое» для ЛП « $v_{\text{сопн}}$ », « $v_{\text{досп}}$ », « v_{φ} » и функция принадлежности термина «малое» лингвистической переменной « $v_{\text{ошиб}}$ ».

4. Пример расчета. Для определения показателя уязвимости к кибератакам задачи ОС использована схема реального участка ЭЭС, содержащая 7 узлов и 7 ветвей (рис. 1).

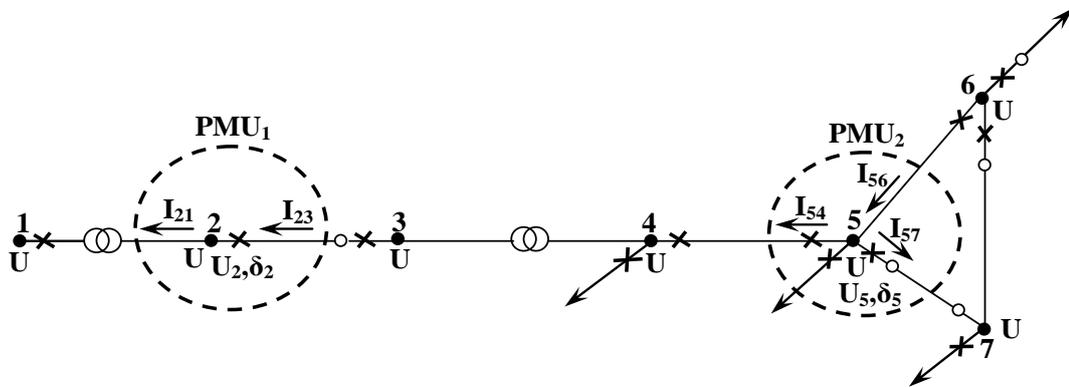


Рис. 1. Тестовая схема. Измерения SCADA: x - активной мощности, o - реактивной мощности, U – напряжения

Определены функции принадлежности ЛП « $v_{\text{сопн}}$ », « $v_{\text{ошиб}}$ », « $v_{\text{досп}}$ » и « v_{φ} ». Для ликвидации критических измерений и критических групп и обеспечения наблюдаемости схемы по данным PMU в узлах 2 и 5 рассматриваемой схемы (рис. 1) были установлены PMU. Так же, как и при расчетах только по ТИ SCADA, были смоделированы кибератаки на RTU каждого узла, рассчитаны выбранные индикаторы и функции принадлежности.

Значения показателя уязвимости ρ_v определены как максимальные значения из всех функций принадлежности μ_v для каждого узла исследуемой схемы и показаны на рис. 2.

Уровни уязвимости, определяющие градацию показателя уязвимости на высокий, средний и низкий, показаны горизонтальными линиями.

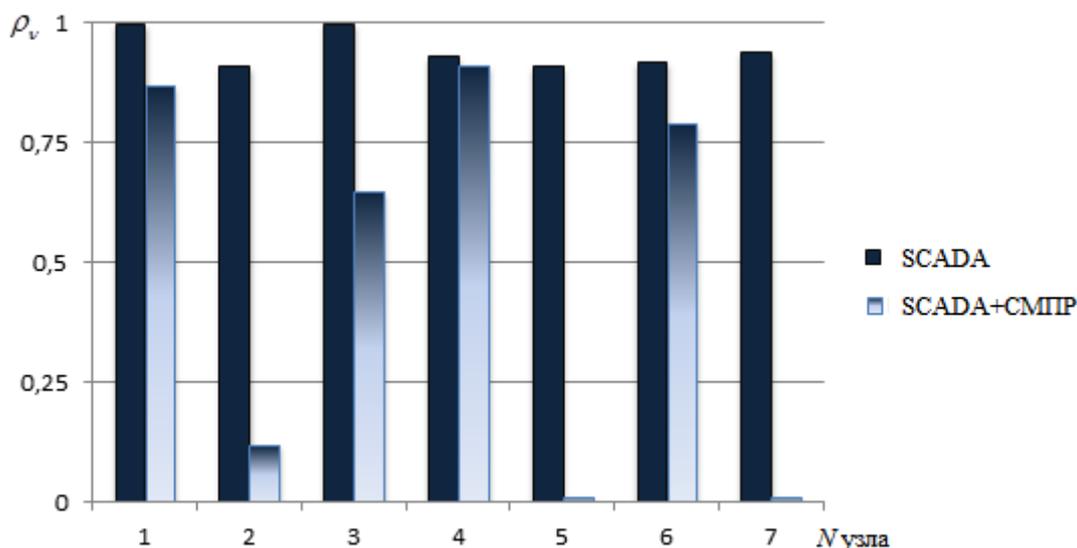


Рис. 2. Показатели уязвимости оценивания состояния по данным SCADA и CMPP

Из полученных результатов следует (рис. 2), что при совместном использовании данных SCADA и CMPP, показатель уязвимости практически всех узлов понижается. Это объясняется тем, что использование измерений от PMU при оценивании состояния ЭЭС позволяет: 1) повысить точность измерительной информации; 2) улучшить наблюдаемость расчетной схемы; 3) повысить эффективность методов обнаружения грубых ошибок в телеизмерениях и точность получаемых оценок.

Заключение

1. Технические и программные средства системы SCADA и программа оценивания состояния, предназначенные для поддержки действий диспетчерского персонала при оперативном и противоаварийном управлении ЭЭС, являются критически важными и наиболее уязвимыми к кибератакам компонентами ЭЭС.
2. Грубые ошибки в измерениях могут заметно исказить полученный при ОС режим и привести к ошибкам при управлении ЭЭС. Причинами появления грубых ошибок могут быть как случайные факторы, связанные со сбоями в системе сбора данных, ошибками персонала и т.д., так и преднамеренные воздействия (кибератаки) на систему SCADA и саму программу ОС.
3. Процедура ОПД при ОС ЭЭС позволяет существенно снизить вероятность искажения расчетной модели текущего режима при возникновении кибератак на систему SCADA. Использование измерений от PMU при ОС ЭЭС позволяет повысить эффективность методов ОПД в ТИ и точность получаемых оценок.
4. Для снижения показателя уязвимости ОС ЭЭС к кибератакам необходимо увеличивать избыточность телеизмерений в системе SCADA, дополнять телеизмерения SCADA измерениями от PMU, использовать сочетание различных методов ОПД - априорных, апостериорных, робастных критериев, использовать при расстановке PMU критерии максимальной вероятности ОПД [11].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Богатырев Л.Л., Манусов В.З., Содномдорж Д. Математическое моделирование режимов электроэнергетических систем в условиях неопределенности. Улан-Батор: Издательство Типографии МГТУ. 1999. 348 с.
2. Менгазетдинов Н.Э., Полетыкин А.Г., Промыслов В.Г. Новые кибернетические угрозы и методы обеспечения кибербезопасности в цифровых системах управления // Энергетик. №7. 2012. С. 18-23.
3. A.Z. Gamm, A.M. Glazunova, I.N. Kolosok. Test Equations For Validation Of Critical Measurements And Critical Sets At Power System State Estimation in Proc. of the 2005 IEEE S.Petersburg, Power Tech, June 27-30,2005, IEEE S.Petersburg, Russia, 166 p. (2005)
4. A.Z. Gamm, Yu.A. Grishin, A.M. Glazunova, I.N. Kolosok, E.S. Korkina, “New EPS state estimation algorithms based on the technique of test equations and PMU measurements”, in Proc. of the International Conference “PowerTech’2007”, Lausanne, CDROM, № 256 (2007)
5. B.I. Ayuev., Y.A. Kulikov. Prospective directions of applying wide-area monitoring system of UPS/IPS in Proc. of the International Conference “Relay Protection and Substation Automation of Modern Power Systems”, http://www.energo-info.ru/images/pdf/Rele/Session_4/S4-2.pdf
6. Gamm A.Z., Kolosok I.N. Test Equations and Their Use for State Estimation of Electrical Power System // Power and Electrical Engineering: Scientific Proc. of Riga Technical University. Riga: RTU, pp. 99-105 (2002)
7. Hug G., Giampapa J.A. Vulnerability Assessment of AC State Estimation with Respect to False Data Injection Cyber-Attacks // IEEE Transactions on Smart Grid. Vol. 3, NO 3, September 2012, pp. 1362-1370.
8. Jin Wei, Kundur D. Two-tier hierarchical cyber-physical security analysis framework for Smart Grid // IEEE PES General Meeting, San Diego, USA, July 22-27, 2012, – 5 p.
9. Nikolai Voropai, Dmitry Efimov, Victor Kurbatsky and Nikita Tomin, 2 “Smart control in the Russian electric power system”, in Proc. of the International Conference “SMARTGREENS 2012”, Porto, Portugal, April 19 – 20, (2012)
10. Phadke A.G. Synchronized Phasor Measurements. A Historical Overview // IEEE/PES Transmission and Distribution Conference, 2002, vol. 1, pp. 476-479.
11. Povalko M., Orth A., Abildgaard H., Eriksen P., Rudion K, Golub I., Voropai N. System Observability Indices for Optimal Placement of PMU Measurements // Proc. of the 2012 IEEE Power&Energy Society General Meeting, San Diego, California, USA. Paper Name: PESGM2012-000474. PDF.
12. Sandberg H., Teixeira A. and Johansson K.J. On Security Indices for State Estimation in Power Network, in Preprints of the First Workshop on Secure Control System, CPSWEEK 2010, 2010.
13. Ten C., Liu C., Govindarasu M. Vulnerability Assessment of Cybersecurity for SCADA Systems, Power Engineering Society General Meeting, 2007. IEEE, 24-28 June 2007, p.1-8.
14. Zanoz S., Rogers K.M., Berthier R., Bobba R.B., Sanders W.H, Overbye T.J. SCPSE: Security-Oriented Cyber-Physical State Estimation for Power Grid Critical Infrastructure // IEEE Transactions on Smart Grid, vol.3, no.4, December 2012, pp.1790-1799.

**DECLINE THE INDEX VULNERABILITY TO CYBER ATTACKS OF SCADA SYSTEM
BY USING BAD DATA DETECTION AT STATE ESTIMATION EPS**

Irina N. Kolosok

Professor, Leading Researcher of Laboratory of Electric Power Systems Operation and Control,

e-mail: kolosok@isem.irk.ru

Liudmila A. Gurina

PhD, Researcher of Laboratory of Electric Power Systems Operation and Control,

e-mail: gurina@isem.irk.ru

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

130, Lermontov Str., 664033, Irkutsk, Russia,

Annotation. The paper considers the problems of cyber security of electric power systems. State estimation is an important procedure providing reliable quality information for control of electric power system. The state estimation problem provides a correct solution only in the cases where measurements do not contain bad data. The reasons of bad data can be both random factors related to a failure in the data collection system, personnel errors, etc. and deliberate impacts (cyber attacks) on the system of data collection and transfer, databases and state estimation software. The paper focuses on the possible implications of cyber attacks for the state estimation results. The notion of the cyber vulnerability index is introduced. The approach to the determination of its levels and values is suggested. The research shows that the joint application of SCADA and PMU data for the state estimation of power systems makes it possible to improve the performance of the bad data detection algorithms and increase the accuracy of the obtained estimates, thus decreasing the state estimation problem vulnerability to cyber attacks.

Key words: Electric Power System, SCADA, state estimation, SCADA measurements, PMU measurements, cyber security, cyber vulnerability index.

References

1. L.L. Bogatyrev, V.Z. Manusov, D. Sodnomdorzh. Matematicheskoe modelirovanie rezhimov ehlektroehnergeticheskikh sistem v usloviyah neopredelennosti. [Mathematical modeling of power system operating conditions under uncertainty]. Ulan-Bator. 1999. Publishing House of MSTU. 348 p. (in Russian).
2. N.E. Mengazetdinov, A.G. Poletykin, V.G. Promyslov. Novye kiberneticheskie ugrozy i metody obespecheniya kiberbezopasnosti v cifrovyyh sistemah upravleniya [New cyber threats and methods of providing cyber security in the digital control systems] // Jenergetik. = Power Engineer. 2012. № 7. Pp. 18-23 (in Russian).
3. A.Z. Gamm, A.M. Glazunova, I.N. Kolosok. Test Equations For Validation Of Critical Measurements And Critical Sets At Power System State Estimation. in Proc. of the 2005 IEEE. S.Petersburg. Power Tech. June 27-30 2005. IEEE S.Petersburg. Russia. 166 p.
4. A.Z. Gamm, Yu.A. Grishin, A.M. Glazunova, I.N. Kolosok, E.S. Korkina, "New EPS state estimation algorithms based on the technique of test equations and PMU measurements". in Proc. of the International Conference "PowerTech'2007". Lausanne. CDROM. № 256

5. B.I. Ayuev., Y.A. Kulikov. Prospective directions of applying wide-area monitoring system of UPS/IPS. in Proc. of the International Conference “Relay Protection and Substation Automation of Modern Power Systems”. http://www.energo-info.ru/images/pdf/Rele/Session_4/S4-2.pdf.
6. Gamm A.Z., Kolosok I.N. Test Equations and Their Use for State Estimation of Electrical Power System // Power and Electrical Engineering: Scientific Proc. of Riga Technical University. Riga. 2002. RTU. Pp. 99-105.
7. Hug G., Giampapa J.A. Vulnerability Assessment of AC State Estimation with Respect to False Data Injection Cyber-Attacks // IEEE Transactions on Smart Grid. Vol. 3. NO 3. September 2012. Pp. 1362-1370.
8. Jin Wei, Kundur D. Two-tier hierarchical cyber-physical security analysis framework for Smart Grid // IEEE PES General Meeting. San Diego. USA. July 22-27. 2012. 5 p.
9. Nikolai Voropai, Dmitry Efimov, Victor Kurbatsky and Nikita Tomin, “Smart control in the Russian electric power system”. in Proc. of the International Conference “SMARTGREENS 2012”. Porto. Portugal. April 19 – 20.
10. Phadke A.G. Synchronized Phasor Measurements. A Historical Overview // IEEE/PES Transmission and Distribution Conference. 2002. vol. 1. Pp. 476-479.
11. Povalko M., Orth A., Abildgaard H., Eriksen P., Rudion K, Golub I., Voropai N., “System Observability Indices for Optimal Placement of PMU Measurements”. in Proc. of the 2012 IEEE Power&Energy Society General Meeting. San Diego. California. USA. Paper Name: PESGM2012-000474.PDF
12. Sandberg H., Teixeira A. and Johansson K.J. On Security Indices for State Estimation in Power Network. in Preprints of the First Workshop on Secure Control System. CPSWEEK 2010.
13. Ten C., Liu C., Govindarasu M. “Vulnerability assessment of cyber security for SCADA systems”, Power Engineering Society General Meeting. IEEE. 24-28 June 2007. Pp.1-8.
14. Zanoz S., Rogers K.M., Berthier R., Bobba R.B., Sanders W.H, Overbye T.J. “SCPSE: Security-Oriented Cyber-Physical State Estimation for Power Grid Critical Infrastructure”. IEEE Transactions on Smart Grid. 2012. vol.3. no.4. Pp.1790-1799.

РАЗРАБОТКА ЭКСПЕРТНОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ АНАЛИЗА УГРОЗ КИБЕРБЕЗОПАСНОСТИ В ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

Гаськова Дарья Александровна

Аспирант, e-mail: gaskovada@gmail.com

Массель Алексей Геннадьевич

К.т.н., старший научный сотрудник, e-mail: amassel@gmail.com

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

664130 г. Иркутск, ул. Лермонтова 130

Аннотация. Рассматривается возможность автоматизации методики анализа угроз и оценки риска нарушения информационно-технологической безопасности энергетических комплексов с помощью экспертной системы.

Ключевые слова: кибербезопасность, экспертные системы, энергетические системы

Введение. В Институте систем энергетики им. Л.А. Мелентьева СО РАН ведутся комплексные исследования систем энергетики, важную роль в которых играют исследования проблем энергетической безопасности, или, конкретнее, исследования направлений развития топливно-энергетического комплекса (ТЭК) России с учетом требований энергетической безопасности. Одной из тенденций развития мировой энергетики является создание концепции и внедрение технологий Smart Grid – интеллектуальных энергетических систем. В России работы по тематике Smart Grid сейчас ведутся преимущественно в области совершенствования технологических основ электроэнергетики. Применение современных информационных технологий в интеллектуальных энергетических системах позволяет управлять производством электроэнергии на всех ее этапах, но внедрение информационных технологий в энергетическую отрасль несет множество рисков и угроз [7], вследствие чего требуется предельно качественное обеспечение кибернетической безопасности. В лаборатории «Информационных технологий в энергетике» института ведутся работы в этой области, в частности, разработана онтология кибербезопасности [2]. А. Г. Масселем предложено расширить список угроз энергетической безопасности за счет киберугроз [5] и разработана методика анализа угроз и оценки риска нарушения информационно-технологической безопасности энергетических комплексов, которая легла в основу разрабатываемой экспертной системы.

1. Кибернетическая безопасность. Кибернетическая безопасность трактуется как набор средств, стратегии, принципы обеспечения безопасности, гарантии безопасности, руководящие принципы, подходы к управлению рисками, действия, профессиональная подготовка, практический опыт, страхование и технологии, которые могут быть использованы для защиты кибернетической среды, ресурсов организации и пользователя [13].

Кибернетическая среда - это подключенные компьютерные устройства, персонал, инфраструктура, приложения, сервисы, телекоммуникационные системы, а также совокупность передаваемой и/или хранящейся информации.

Кибернетическая безопасность состоит в попытке достижения и сохранения свойств безопасности у ресурсов организации или пользователя, направленных против соответствующих угроз безопасности в кибернетической среде.

Ресурсы организации и пользователя включают подсоединенные компьютерные устройства, персонал, инфраструктуру, приложения, услуги, системы электросвязи и всю совокупность переданной и/или сохраненной информации в кибернетической среде [6].

1.1. Угрозы кибернетической безопасности. Угроза безопасности – это возможные действия, способные прямо или косвенно нанести ущерб безопасности информации. Под ущербом безопасности следует понимать нарушение конфиденциальности, доступности или (и) целостности информации.

Кибернетическая атака – разновидность угроз преднамеренного действия, источником которых является человек. Актуальными разновидностями атак для ИЭС являются вирусная атака, Dos / DDoS атака, MitM атака, Инъекция (SQL-инъекция), руткит, анализ трафика [4,12].

Угрозы, связанные с кибербезопасностью, особенно опасны для операторов важнейших объектов энергетической инфраструктуры, поскольку хорошо скоординированная кибератака, особенно при наличии каскадного эффекта, может нанести гораздо больший ущерб, чем физическая атака. Тесные связи в системах и каскадный эффект – это два слагаемых, за счет которых кибератаки на важнейшие объекты энергетической инфраструктуры потенциально способны привести к долговременным нарушениям работы систем энергоснабжения [11].

1.2. Уязвимости систем. Уязвимость – слабость в информационной системе, бреши системы безопасности, внутреннего контроля которые могут быть использованы или вызваны источником угрозы [6].

Уязвимые стороны могут находиться в следующих ресурсах:

- организация;
- процессы и процедуры;
- практика управления;
- персонал;
- физическая среда;
- конфигурация информационной системы;
- аппаратное, программное или коммуникационное обеспечение;
- зависимость от сторонних организаций.

Почти треть уязвимостей (36%) связаны с переполнением буфера (Buffer Overflow) – явлением, возникающим, когда компьютерная программа записывает данные за пределами выделенного в памяти буфера. Подобный недостаток защищенности позволяет злоумышленнику не только вызвать аварийное завершение или «зависание» программы (что ведет к отказу в обслуживании), но и выполнять в целевой системе произвольный код. Стоит отметить также большое количество проблем с аутентификацией и управлением ключами (Authentication, Key Management; почти 23%) [3].

2. Проектирование экспертной системы для анализа угроз кибербезопасности в энергетических комплексах «Cyber».

2.1. Постановка задачи. Для проведения периодического аудита обеспечения защиты информации в энергетической системе предлагается разработать экспертную систему, позволяющую выявить угрозы информационной системы энергетического комплекса по заранее известным, наиболее распространенным и имеющим критические последствия уязвимостям при их использовании злоумышленником. Учитывая ранжирование по степени ущерба от их реализации, требуется в конечном итоге вывести список мер обеспечения кибербезопасности с учетом наиболее критичных угроз. Экспертная система разрабатывается на основе методики анализа угроз и оценки риска нарушения информационно-технологической безопасности энергетических комплексов, предложенной А.Г. Масселем [6]. Поставлена задача: на основе этой методики разработать и реализовать прототип экспертной системы, поддерживающий выявление уязвимостей, составление списка угроз, а так же формирование списка базовых мер по обеспечению безопасности.

2.2. Методика анализа угроз и оценки риска нарушения информационно-технологической (ИТ) безопасности энергетических комплексов (ЭК). Анализ угроз и оценка риска (АУОР) нарушения ИТ-безопасности ЭК проводится в несколько этапов с учетом двух основных аспектов: критичности поддерживаемых ИТ-системой целевых функций ЭК; стоимости защиты ресурсов ИТ ЭК.

Результатом каждого этапа является документ, содержание и форма которого зависит от конкретной ситуации. Каждый созданный документ, как правило, является основой для исследований на последующем этапе.

В процессе проведения АУОР необходимо решить восемь задач [6], в декомпозированной диаграмме на рис. 1 решения этих задач сформированы в пять укрупненных этапов.

По результатам построенных моделей предполагается, что экспертная система будет осуществлять поддержку принятия решений при анализе угроз, ведущих к нарушению безопасности, путем формирования базовых мер защиты ресурсов энергетического комплекса.

Применение экспертной системы Cyber при АУОР позволит:

- автоматизировать процесс сбора данных для анализа угроз и уязвимостей;
- автоматизировать процессы обнаружения уязвимостей, ресурсов, содержащих слабые места и угроз;
- автоматизировать предоставление мер обеспечения информации для поддержки принятия решения о способах защиты ресурсов.

Экспертная система должна обеспечивать обнаружение уязвимостей и угроз информационно-технологической системы энергетического комплекса в части критических ресурсов компании, а также для формирования мер защиты этих ресурсов.

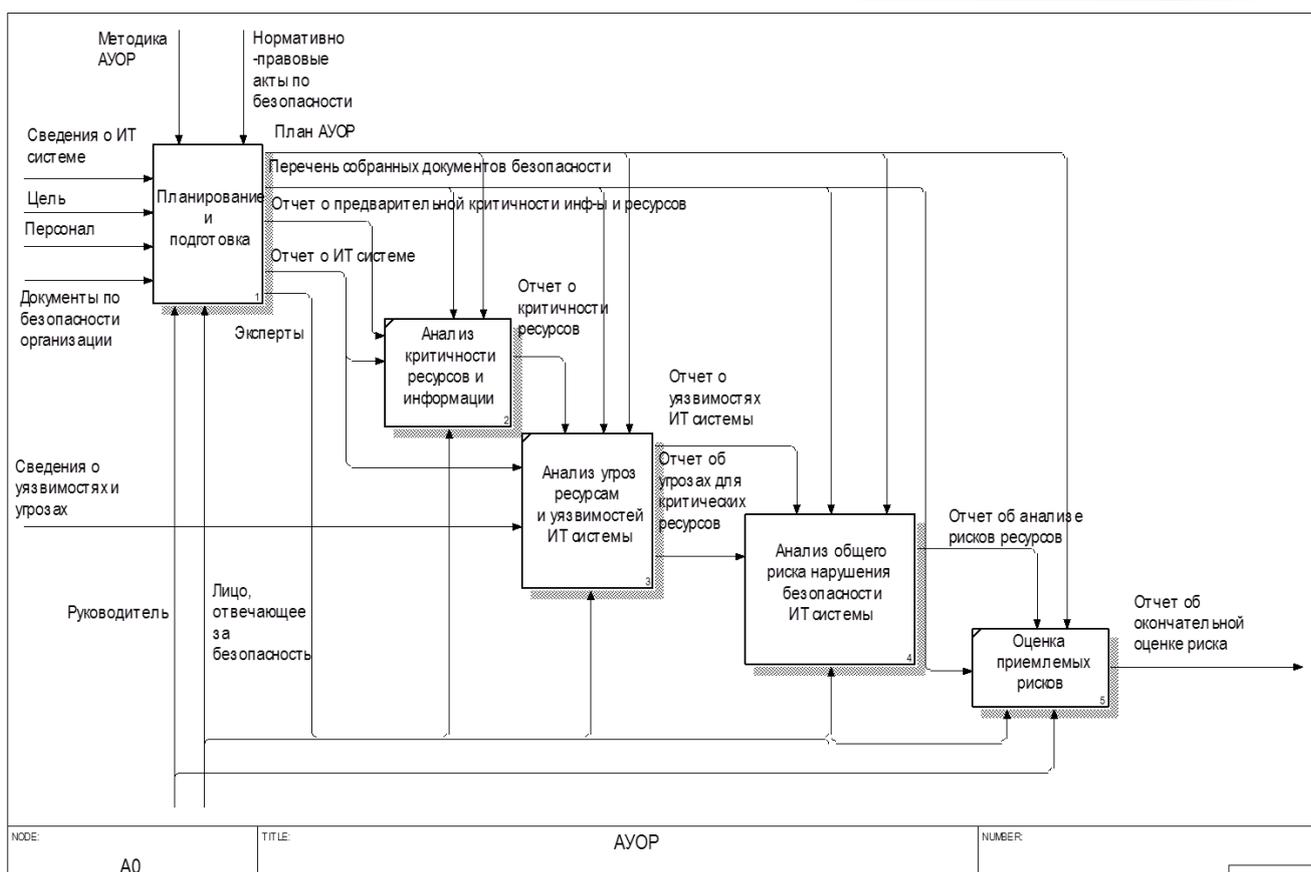


Рис. 1. Декомпозиция процесса AVOP в нотации IDEF0

3. Реализация экспертной системы анализа угроз кибербезопасности в ЭК.

3.1. Функции, выполняемые ЭС.

- ввод условий посредством проведения опроса пользователя с предложением вариантов ответов;
- вывод уязвимостей и угроз на основе опроса;
- ввод пользователем своих качественных оценок угроз;
- формирование списка критических угроз на основе оценки рисков реализации угрозы;
- вывод мер обеспечения безопасности от критических угроз.

3.2. Структура ЭС Cyber. Экспертную систему было решено проектировать с использованием продукционной модели знаний, которая позволяет отобразить экспертные данные в базе знаний в виде правил ЕСЛИ – ТО. ЭС включает три структурных элемента (рис. 2):

- графический интерфейс пользователя;
- интерфейс взаимодействия;
- ядро экспертной системы.

Графический интерфейс пользователя (GUI) включает отображение данных, обработку событий пользовательского интерфейса и реализован на высокоуровневом языке Java с использованием библиотеки Swing.

Интерфейс взаимодействия представляет собой JNI - механизм для запуска кода, под управлением виртуальной машины Java и служит для взаимодействия GUI с CLIPS.

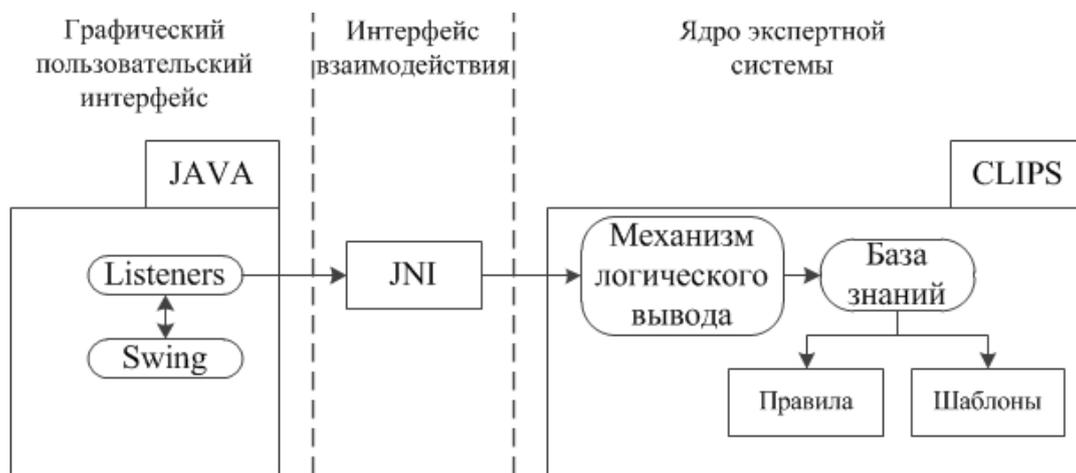


Рис. 2. Структура прототипа экспертной системы Cyber

Ядро экспертной системы реализовано в программной среде для разработки экспертных систем CLIPS и представляет собой механизм логического вывода и базу знаний.

3.3. База знаний. База знаний представляет собой совокупность шаблонов (DEFTEMPLATES) и правил (RULES), а также вспомогательных функций (FUNCTION), обеспечивающих организацию фактов в базе знаний.

Структура шаблонов представлена в таблице 1.

Таблица 1. Структура шаблонов

Шаблон		Поля	
Наименование	Расшифровка	Наименование	Расшифровка
answer	Ответ пользователя	name	Вопрос
		answer	Ответ
vulnerability	Уязвимость	name	Наименование
threat	Угроза	name	Наименование
		level	Качественная оценка с точки возможности обнаружения
control	Мера обеспечения безопасности в зависимости от уязвимостей и угроз	name	Наименование меры обеспечения
		vulnerability	уязвимость
		threat	угроза
class	Класс защищенности АСУ	value	Класс защищенности АСУ

В системе заложены три группы правил:

- правила определения угроз по выбранному ответу пользователя с отметкой уязвимости;
- правила вывода мер защиты ресурса от выявленных угроз для каждой уязвимости в зависимости от класса защищенности автоматизированной системы управления (АСУ);
- общие правила вывода мер защиты ресурса от выявленных угроз для каждой уязвимости.

Наполнение базы знаний выполнялось с использованием [8-10]. Так же использовалась база данных угроз безопасности информации ФСТЭК [1]. В таблице 2 приведен пример

определения угроз по выбранному ответу пользователя с отметкой уязвимости. Уязвимостью является возможность оставлять пустой пароль при авторизации пользователя в системе, а угрозой является имитация пользователя.

Таблица 2. Пример определения угроз по выбранному ответу пользователя

Правило определение угрозы	Правило определения мер защиты от данной угрозы
<pre>(defrule empty-password (answer (name empty password) (answer true)) => (assert (threat (name imitation_user) (level 2))) (assert (vulnerability (name empty password))) (printout t "empty_password" crlf))</pre>	<pre>(defrule control-empty-password (vulnerability (name empty password)) (threat (name imitation user)) => (assert (control (name add password) (vulnerability empty password) (threat imitation user))))</pre>

3.4. Описание внутреннего алгоритма работы ЭС Cyber. Система содержит ряд вопросов по безопасности автоматизированной системы управления предприятием с вариантами ответов. Ввод условий осуществляется посредством опрашивания пользователей с предложением вариантов ответов. Получив ответы пользователя, система вносит факты о наличии уязвимостей и угроз, связанных с реализацией выявленных уязвимостей, в базу знаний.

Угрозы с высокой степенью представляют наибольший риск нарушения безопасности для предприятия. Факты, соответствующие низкой и средней степени угроз, удаляются из базы знаний. Для высокой степени угроз системой формируется набор мер по обеспечению безопасности и выводится на экран.

До начала основного опроса пользователю предлагается выбрать уровень защищенности АСУ, который влияет на критичность уязвимостей угроз и выбор меры обеспечения безопасности.

3.5. Описание классов экспертной системы Cyber. Диаграмма классов представлена на рис. 3. Основным классом с точкой доступа в программу является класс Main. Класс Clips является наследником класса Environment и служит для загрузки файла clips - *. clp, а также подготовки среды Clips для работы. Класс MainFrame реализует работу основного окна, включая работу кнопок, обработку вводимой пользователем информации в таблицу, ввод и вывод информации пользователя в среду Clips. Класс RecomJTextArea предназначен для организации вывода рекомендаций по обеспечению безопасности в удобном для просмотра виде. Класс QuestionJTable отвечает за настройки таблицы, такие, как возможность редактирования только третьего столбца таблицы, а так же блокирования элементов jcheckbox, отвечающих за ответы пользователя, блокировка осуществляется для поддержки логики вопросов. QuestionJTable связывает данные из двумерного массива и отображает их в таблице. Существуют два массива с константами, содержащих блоки вопросов. Класс TranslateHashMap наследуется от класса HashMap и служит для перевода вводимой информации на язык Clips, а также для перевода фактов Clips на русский язык. Объекты

класса Translatehashmap представляют собой коллекции пар вида «ключ/ значение», где ключ - фраза для перевода, а значение - результат перевода фразы.

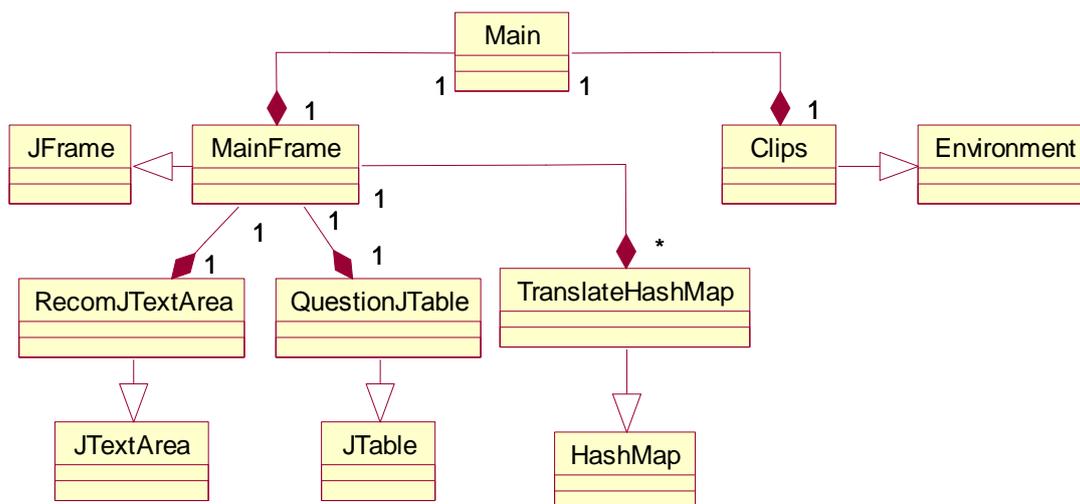


Рис. 3. Диаграмма классов

3.6. Разработка графического пользовательского интерфейса. Большинство экспертных систем отличает наличие дружественного пользовательского интерфейса, поэтому было принято решение разработать графический пользовательский интерфейс для прототипа экспертной системы.

При разработке интерфейса была поставлена задача сделать его максимально простым в использовании и интуитивно понятным, поэтому графический интерфейс построен таким образом, чтобы пользователь мог последовательно выполнять свои действия – от выбора класса защищенности АСУ до получения от системы списка обобщенных мер по обеспечению безопасности.

На рис. 4а) показан внешний вид главного окна разработанной экспертной системы; на рис. 4б) изображено окно с содержанием блоков вопросов для того, чтобы пользователь мог подготовить необходимую информацию для дачи ответов на них; на рис. 4в) показано окно основной работы с пользователем, включающее таблицу вопросов с ответами типа «Да/Нет» и выводом мер по обеспечению безопасности.

Заключение. Авторами предложено автоматизировать процесс анализа угроз с помощью экспертной системы, для того, чтобы ускорить данный процесс, поскольку он может занимать длительное время в зависимости от уровня детализации; уменьшить затраты, связанные с привлечением специалистов компании, которые на время проведения АУОР не исполняют свои прямые обязанности; увеличить скорость построения и точность списка мер защиты ресурсов энергетического комплекса.

Экспертная система способна осуществить поддержку принятия решения при анализе угроз, ведущих к нарушению безопасности, путем формирования базовых мер защиты ресурсов энергетического комплекса.

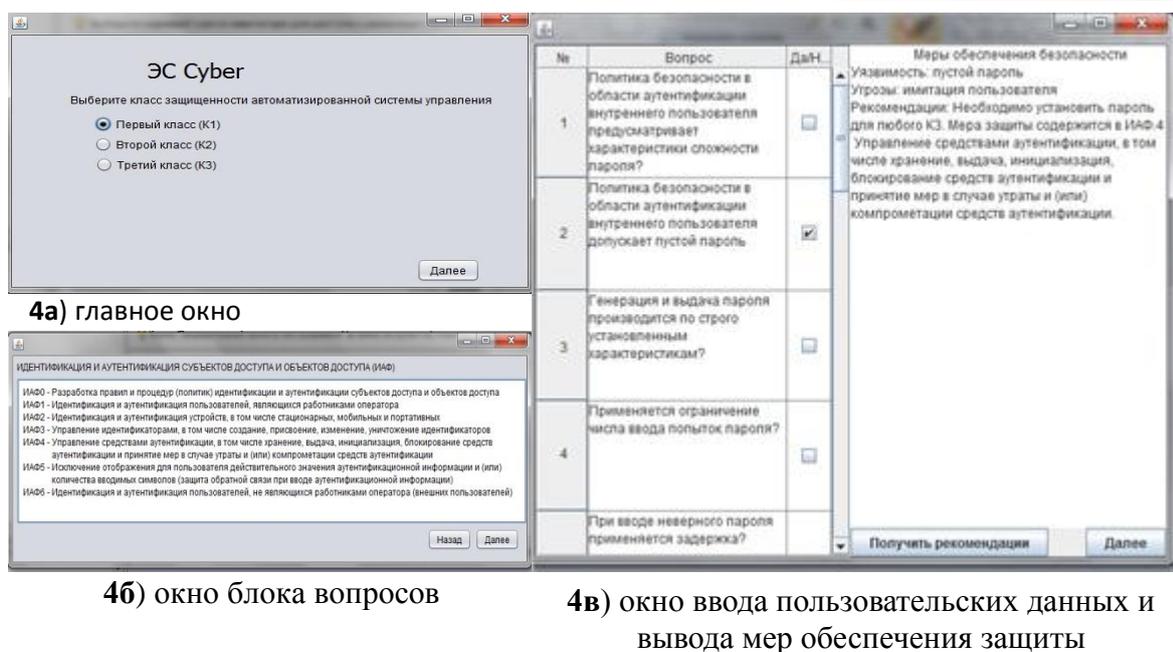


Рис. 4. Графический пользовательский интерфейс

Результаты, представленные в статье, получены при частичной финансовой поддержке гранта Программы Президиума РАН №229 и грантов РФФИ №15-07-01284, №15-07-04074 Бел_мол_а, № 16-07-00569, №16-00-474.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. База данных угроз безопасности информации //ФСТЭК [Электронный ресурс]. URL: <http://bdu.fstec.ru/threat/ubi.175> (дата обращения: 1.05.15).
2. Ворожцова Т.Н. Разработка онтологии кибербезопасности в энергетике / Information technology and security. Украина, Киев, Институт специальной связи и защиты информации НТУ Украины «КПИ», №1 (3) 2013. С. 19-25.
3. Грицай Г.В. Тиморин А.Г. Безопасность промышленных систем в цифрах [Электронный ресурс]: Статьи лаборатории Positive Technologies. 2012. URL: http://www.ptsecurity.ru/download/SCADA_analytics_russian.pdf (дата обращения: 15.03.2015).
4. Касперски К. Компьютерные вирусы изнутри и снаружи. СПб.: Питер, 2006. С. 526.
5. Массель А.Г. Кибератаки как угроза энергетической безопасности России / Information technology and security. Украина, Киев, Институт специальной связи и защиты информации НТУ Украины «КПИ», №1 (3) 2013. С. 49-56.
6. Массель А.Г. Методика анализа угроз и оценки риска нарушения информационно-технологической безопасности энергетических комплексов // XX Байкальской Всероссийской конференции: труды, т. III. Иркутск: ИСЭМ СО РАН, 2015. С. 186 - 195.
7. Массель Л.В. Использование современных информационных технологий в Smart Grid как угроза кибербезопасности энергетических систем России // Information technology and security. Украина, Киев, Институт специальной связи и защиты информации НТУ Украины «КПИ», №1 (3) 2013. С. 56-65.

8. Меры защиты информации в государственных информационных системах [Электронный ресурс]: методический документ от 11 фев. 2014 г. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс» (дата обращения: 23.04.15).
 9. Об утверждении Требований к обеспечению защиты информации в автоматизированных системах управления производственными и технологическими процессами на критически важных объектах, потенциально опасных объектах, а также объектах, представляющих повышенную опасность для жизни и здоровья людей и для окружающей природной среды [Электронный ресурс]: приказ ФСТЭК России № 31 от 14 марта 2014. URL: <http://fstec.ru/rss-lenta/110-tekhnicheskaya-zashchita-informatsii/dokumenty/prikazy/864-prikaz-fstek-rossii-ot-14-marta-2014-g-n-31> (дата обращения 26.02.2015)
 10. Олифер В. Г. Олифер Н.А. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы: Учебник для вузов. 4-е изд. СПб. Питер. 2010. 944 с.
 11. Руководство по передовой практике защиты важнейших объектов неядерной энергетической инфраструктуры от террористических актов в связи с угрозами, исходящими от киберпространства: руководство // Организация по безопасности и сотрудничеству в Европе (ОБСЕ). 2013. 96 с.
 12. Шнайер Б. Секреты и ложь. Безопасность данных в цифровом мире. СПб. Питер. 2003. 432 с.
 13. T-REC-X.1205 – ITU-T. Series x: data networks, open system. Communications and security 04.2008.
-

UDK 004.891: 004.056:620.9

DEVELOPMENT OF EXPERT SYSTEM FOR ANALYSIS OF CYBERSECURITY THREATS IN THE ENERGY SYSTEMS

Daria A. Gaskova

Postgraduate, e-mail: gaskovada@gmail.com

Aleksey G. Massel

PhD, Senior Researcher, e-mail: amassel@gmail.com

Melentiev Energy Systems Institute

Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences

130, Lermontov Str., 664033, Irkutsk, Russia,

Annotation. It's considered the possibility to automate methods of the analysis of threats, risk assessment violations of information and technological security of energy complexes using an expert system.

Keywords: cybersecurity, expert systems, energy systems

References

1. Baza dannyh ugroz bezopasnosti informacii [Database of information security threats]// FSTJeK. Available at: <http://bdu.fstec.ru/threat/ubi.175> 01.05.15 (in Russian).
2. Vorozhcova T.N. Razrabotka ontologii kiberbezopasnosti v jenergetike [The development of the cybersecurity ontology in the energy sector] // Information technology and security. Ukraina, Kiev, Institut special'noj svjazi i zashhity informacii NTU Ukrainy «KPI», №1 (3) 2013. S. 19-25. (in Russian).

3. Gricaj G.V., Timorin A.G. Bezopasnost' promyshlennyh sistem v cifrah [Safety of industrial system in numbers]. Available at: http://www.ptsecurity.ru/download/SCADA_analytics_russian.pdf 15.03.2015. (in Russian).
4. Kaspersky K. Kompyuternye virusy iznutri i snaruzhi [Computer viruses inside and out]. SPb. Piter, 2006. 526 s. (in Russian).
5. Massel' A.G. Kiberataki kak ugroza jenergeticheskoy bezopasnosti Rossii [Cyber attacks as a threat to Russia's energy security]// Information technology and security. – Ukraina, Kiev, Institut special'noj svjazi i zashhity informacii NTU Ukrainy «KPI». №1 (3). 2013. S. 49-56.
6. Massel' A.G. Metodika analiza ugroz i ocnki riska narusheniya informacionno-tehnologicheskoy bezopasnosti jenergeticheskikh kompleksov [Methods of the analysis of threats, risk assessment violations of information and technological security of energy complexes] // XX Bajkal'skaja Vserossijskaja konferencija: trudy, t. III. Irkutsk. ISEM SO RAN. 2015. S. 186 - 195. = XX Baikal All-Russia conference : proceedings, v. III. – Irkutsk: MESI SB RAS, 2015. P. 186 – 195 (in Russian).
7. Massel' L.V. Ispol'zovanie sovremennyh informacionnyh tehnologij v Smart Grid kak ugroza kiberbezopasnosti jenergeticheskikh sistem Rossii [The use of modern information technologies in the Smart Grid as a threat of cyber security to Russian energy systems] // Information technology and security. Ukraina, Kiev, Institut special'noj svjazi i zashhity informacii NTU Ukrainy «KPI». №1 (3) 2013. S. 56-65.
8. Mery zashhity informacii v gosudarstvennyh informacionnyh sistemah [Measures of information protection in state information systems]. Available at: metodicheskij dokument ot 11 fev. 2014 g. Dostup iz sprav.-pravovoj sistemy «Konsul'tantPljus» 23.04.15. (in Russian).
9. Ob utverzhdenii Trebovanij k obespecheniju zashhity informacii v avtomatizirovannyh sistemah upravlenija proizvodstvennymi i tehnologicheskimi processami na kriticheski vaznyh obektah, potencial'no opasnyh obektah, a takzhe obektah, predstavljajushhih povyshennuju opasnost' dlja zhizni i zdorov'ja ljudej i dlja okruzhajushhej prirodnoj sredy [Approval of the requirements to ensure the protection of information in automated control systems of production and technological processes on critical facilities, potentially hazardous objects as well as objects representing the increased danger to life and health and to the environment]. Available at: prikaz FSTJeK Rossii № 31 ot 14 marta 2014. URL: <http://fstec.ru/rss-lenta/110-tehnicheskaya-zashchita-informatsii/dokumenty/prikazy/864-prikaz-fstek-rossii-ot-14-marta-2014-g-n-31> 26.02.2015. (in Russian).
10. Olifer V. G. Olifer N.A. Komp'yuternye seti. Principy, tehnologii, protokoly: Uchebnik dlja vuzov [Computer networks. Principles, technologies, protocols: Textbook for universities]. 4-e izd. SPb.: Piter, 2010. 944 s. (in Russian).
11. Rukovodstvo po peredovoj praktike zashhity vazhnejshih ob#ektov nejadernoj jenergeticheskoy infrastruktury ot terroristicheskikh aktov v svjazi s ugrozami, ishodjashhimi ot kiberprostranstva: rukovodstvo // Organizacija po bezopasnosti i sotrudnichestvu v Evrope (OBSE) [Guide to best for practices protection of critical nuclear energy infrastructure from terrorist attacks because of threats from cyberspace: Manual / Organization for Security and Cooperation in Europe (OSCE)]. 2013. 96 s.
12. Schneier B. Sekrety i lozh: Bezopasnost dannyx v cifrovom mire [Secrets and Lies: Digital Security in a Networked World]. SPb. Piter. 2000. 432 s. (in Russian).
13. T-REC-X.1205 – ITU-T. Series x: data networks, open system. Communications and security 04.2008.

КОНЦЕПТУАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ ИНТЕГРАЦИИ АГЕНТНО-БАЗИРОВАННЫХ ПЛАТФОРМ

Скрипкин Сергей Константинович

К.т.н., научный сотрудник лаборатории «Информационные технологии в энергетике»

Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева СО РАН,
664130 г. Иркутск, ул. Лермонтова 130, e-mail: sks@isem.irk.ru

Аннотация. Существуют различные агентные платформы, каждая из которых обеспечивает свой арсенал возможностей, но их реализации недостает гибкости, чтобы позволить разработчикам адаптировать их к нуждам отдельных приложений. В данной работе исследуются варианты конструкции ядра промежуточного программного обеспечения, основанного на семиотических мета-агентах, которые могут использоваться для расширения функциональных возможностей интегрированных агентных платформ, необходимых для моделирования энергетических систем.

Ключевые слова: концептуальное моделирование, метамоделирование, агентно-базированная платформа, интеграция агентных платформ, энергетическая система.

Введение. Методология концептуального моделирования, примененная к предметной области исследования энергетических систем, способствует эволюции и оптимизации энергетических систем, развитию подходов конструирования их элементов и интеграции в большие индустриальные системы. Направленность современных подходов (например, SmartGrid –интеллектуальные энергетические системы) обеспечивает связи элементов прошлого, настоящего и будущего энергетических комплексов и устройств, выявляет основные факторы, определяющие смену этапов научно-технического развития в энергетике [4].

Метамоделирование есть разновидность процесса концептуального моделирования – процесс по созданию более глубоких формальных описаний предметных областей. Оно представляет собой способ организации хранения и распространения знаний. Основная цель метамоделирования – описать данные настолько глубоко, чтобы они были самодостаточными и допускали расширение и модификацию своей структуры.

Методология концептуального метамоделирования предполагает широкое использование метаязыков. Концептуальная модель – это содержательная модель, при формулировке которой используются теоретические концепты данной предметной области знания. Концептуальные метамодели обладают более развитыми когнитивными свойствами и обеспечивают возможность корректного представления альтернативных вариантов декомпозиции больших систем энергетики на многослойные «системы систем» и решаемых для них исследовательских задач.

Целью статьи является определение стратегии исследования современных и перспективных теоретических и инструментальных подходов для комплексного моделирования энергетических систем, в частности, применения семиотического подхода в

задачах интеграции агентно-базированных и агентно-ориентированных платформ моделирования.

Агентно-базированные платформы представляют один из способов построения распределенных систем, использующий уже готовый набор агентов. Агентно-ориентированная платформа в первом приближении может считаться синонимом агентно-базированной, но может включать развитые инструментальные средства для создания пользовательских агентов моделирования (расширяемая платформа). Оба варианта позволяют описать и предоставить доступ всех приложений к необходимым удаленным сервисам. Функциями платформы является распределение своих агентов, аудит их функционирования и управление ими [8].

1. Семиотические аспекты. В открытых средах для отражения динамики среды и ситуативности знаний агентов требуется переход к семиотическим системам [6]. Семиотическая система может пониматься как динамическая система, состояниями которой являются формальные системы. Соответственно, агент, функционирующий в открытой среде, должен иметь семиотическую базу знаний и уметь работать с фрагментами неоднородных семантических сетей. Для трансформируемых сред в структуру агента должны включаться средства, позволяющие прогнозировать возможное развитие процессов в среде в результате тех или иных действий агента.

Семиотическое направление в агентных технологиях основано на переходе от формальных знаковых систем (синтаксических) к другим знаковым аспектам (семантическим и прагматическим) и установлению отношений между базовыми структурами в семиотике (синтаксис, семантика и прагматика) и коммуникациями (см. рис 1). Здесь центральной проблемой является создание адекватной ситуационной модели внешнего мира агентов.

Семиотическая модель агента – это модель, использующая семиотическую базу знаний. Семиотический мета-агент – обобщенное описание агентов и их взаимодействия, использующее общий метаязык. Семиотическое описание включает синтаксис, семантику и прагматику метаязыка описания и коммуникации агентов [20, 22]. Метаязык знаковой системы – специальное описание (перечисление) знаков, используемых в системе, вместе с краткими их характеристиками и правилами обработки внутри системы (алгоритмами) [9].

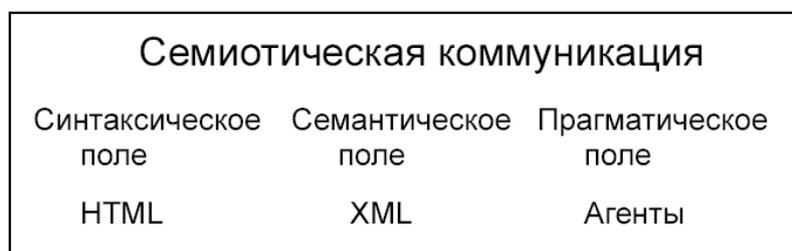


Рис. 1. Три составляющие семиотической паутины

Эволюционное направление развития семиотических моделей агентов характеризуется моделированием эволюционного процесса, связанного с идеями выживания, мутации и естественного отбор агентов. Его основная задача – моделировать процесс эволюции агентов по аналогии с эволюцией живых организмов и их интеллектов. Наиболее популярной разновидностью эволюционных моделей оказались генетические алгоритмы.

Различные группы исследователей по-разному определяют понятия агент, многоагентная система, агентно-ориентированная система, агентно-базированная система. Например, многоагентная система – это вычислительная программа, блоки решения задач (решатели) которой расположены в некоторой среде, и каждый из них способен к гибким, автономным и социально организованным действиям, направленным на предопределённое поведение или достижение общей цели [3, 6].

В настоящее время всё большее распространение получает семиотический подход с его интеграционными, синергетическими тенденциями, включая интеграцию различных точек зрения на искусственный интеллект и объединение различных моделей внутреннего представления внешней среды. Интеграция важнейших атрибутов интеллекта производится с целью получения нелинейных, эмерджентных эффектов благодаря взаимной компенсации недостатков и развитию преимуществ отдельных моделей (агентных платформ) в интегрированной структуре.

Выделим следующие направления исследований: нейрородные структуры социальных агентов и их объединений (агентств); агенты для решения интеллектуальных задач; системы, основанные на знаниях; интеллектуальное программирование; интеллектуальные системы; эволюционное моделирование (генетические алгоритмы); семиотическое моделирование. Рассмотрим основные типы агентов и их объединений.

2. Типы агентов и их объединения.

2.1. Интерфейсные агенты можно рассматривать как персональные ассистенты, которые помогают пользователю работать с различными программными средствами. Такие агенты наблюдают за действиями пользователя и пытаются предложить такие действия, которые должны упростить его работу. Они способны адаптироваться к индивидуальным особенностям и потребностям конкретного пользователя. Интерфейсные агенты способны к самообучению, что приводит к более эффективному выполнению ими своих функций. Для самообучения агенты используют:

- наблюдения за поведением пользователя;
- получение положительных или отрицательных оценок от пользователя;
- непосредственное получение инструкций от пользователя;
- консультации с другими агентами.

2.2. Internet-агенты являются самыми многочисленными представителями интеллектуальных агентов. Они возникли как средство обработки и транспортирования информационных ресурсов Internet. В отличие от интерфейсных агентов они способны не только создавать персонифицированный профиль, но и в соответствии с ним классифицировать информационные ресурсы. Internet-агентов можно разделить на две основные группы: статические и мобильные. Статические агенты обычно встроены в браузер. Например, такие агенты могут сортировать электронную почту, уведомлять пользователя о событиях и формировать сообщения, которые, по имеющимся у агента сведениям, могут его заинтересовать. Этот тип агента способен не только находить информацию, интересующую его пользователя, но и сообщать о ней другим агентам.

2.3. Intranet-агенты. Их работа во внутренних защищенных корпоративных сетях похожа на работу Internet-агентов, однако имеет свою специфику, связанную с высокими

требованиями по кибербезопасности. Характерные задачи, благодаря которым выделяют intranet-агентов:

- автоматизация бизнес-процессов предприятия;
- выполнение услуг, связанных с использованием информации из баз данных предприятия;
- высокая степень защищенности данных;
- наличие защищенного удаленного доступа партнеров.

2.4. Гетерогенные агенты интегрируют функции двух или более агентов, принадлежащих к разным типам. В отличие от классических систем искусственного интеллекта агенты не только предлагают решения проблемы, но и реально действуют. Для достижения своих целей агенты конструируют план действий, которые должны обеспечить выполнение поставленной перед ним задачи. Агента можно характеризовать в терминах алгебры поведения.

Сейчас сложились два разных, но взаимосвязанных подхода к определению агента. Согласно первому подходу агент определяется в основном своими действиями, а потому не может полностью характеризоваться по набору своих атрибутов. Во втором подходе агент определяется по его атрибутам. Агент – это активный объект, который воспринимает среду с помощью сенсоров и действует в ней с помощью эффекторов. Агенты функционируют в многомерном пространстве. Они состоят из нескольких слоев: коммуникации; координации; организации; определения; интерфейса пользователя.

2.5. Искусственный социальный агент – компьютерная модель (модели), которая имитирует свойства и отношения индивида в социальной и природной среде [1]. Из этого определения вытекает роль социальных агентов в современных технологиях как промежуточного звена между социальным субъектом и социальным объектом. Социальный агент может пониматься как "квазисубъект", способный в некотором смысле замещать другого субъекта, имеющий определенные обязательства перед ним и действующий по его поручению. Одновременно, такой агент – это активный объект (метаобъект), способный манипулировать другими объектами, формировать собственные планы действий, которые вызваны некоторыми потребностями и направлены на достижение целей [21]. Отсюда становятся понятными основные пути построения искусственных агентов и их базовые характеристики.

2.6. Агентство. Совокупность социальных агентов (агентство) представляет собой открытую метасистему, помещенную в некоторую среду, причем такая метасистема обладает собственным поведением, удовлетворяющим некоторым общим принципам (психологическим конструктам пользователя). Социальные агенты способны воспринимать данные и знания из внешней среды с ограниченным разрешением, обрабатывать их на основе собственных ресурсов, взаимодействовать с другими агентами и воздействовать на среду в течение некоторого времени, преследуя свои собственные цели.

При построении агентства минимальный набор базовых характеристик включает: а) активность, способность к организации и реализации плана действий; б) реактивность, способность воспринимать состояние среды и ее изменение; в) автономность, независимость от окружения или наличие некоторой "свободы воли", обуславливающей собственное поведение; г) коммуникабельность, вытекающую из необходимости решать свои задачи

совместно с другими агентами и обеспечиваемую развитыми протоколами коммуникации; д) целенаправленность, предполагающую наличие собственной мотивации [15].

2.7. Многоагентные системы. Основными свойствами интеллектуальной агентной системы, включающей программные решатели задач, являются ситуативность, автономность, гибкость и социальность. Многоагентные системы очень хорошо подходят для решения проблем, включающих большое количество методов решения или различных точек зрения. В этих областях многоагентные системы имеют преимущества распределённого и конкурентного решения проблем, в том числе за счёт реализации сложных схем взаимодействия на семиотических полях.

Интеграция агентных платформ [5, 7], обеспечивает более широкие функциональные возможности в рамках системы разнородных систем-компонентов: баз данных и знаний, систем информационно-аналитической поддержки инновационной и научно-образовательной деятельности, систем математического и ситуационного моделирования.

3. Предметные области использования агентно-ориентированных решений задач. Каждая предметная область может моделироваться как иерархия рабочих областей и процессов. Такими рабочими областями могут быть, например, этапы, общие семиотические поля и т.п. Эти рабочие области затем можно сгруппировать в производственные подсистемы [17,19]. Каждая из подсистем функционирует внутри некоторого производственного процесса. Впоследствии эти подсистемы можно объединить в агентную фабрику с общим семиотическим пространством [14].

3.1. Коммуникации. Телекоммуникационные системы являются большими распределёнными сетями, состоящими из взаимодействующих компонентов, которые требуют мониторинга и управления в реальном времени. Агентно-ориентированные системы используются для сетевого управления и менеджмента, передачи информации и обслуживания.

3.2. Информационный менеджмент. Агентные системы могут обеспечить интеллектуальный информационный менеджмент, особенно в Интернет. Критическими агентными задачами являются: а) фильтрация данных – получение из всей доступной информации лишь релевантной и б) сбор информации – задача накопления и определения приоритетов среди отобранных порций информации.

3.3. Электронная коммерция. Коммерция является областью, подходящей для агентных моделей. Например, современные программы могут принимать решения по многим покупкам и продажам на основании большого количества разнородной и распределённой информации.

Обобщенная схема взаимодействия между агентами различных типов и назначения при применении мета-агентов (ma1, ma2) [16] показана на рис. 2.

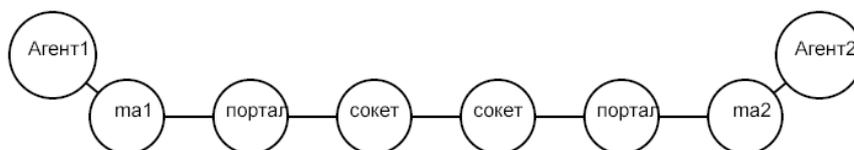


Рис. 2. Взаимодействие между агентами при применении мета-агентов

4. Агентные платформы. Агентная платформа – это промежуточный исполнительный уровень, который обычно находится между агентами и операционной системой [18]. Платформа может опираться не на саму операционную систему, а использовать уже существующую надстройку/платформу. Ничто не мешает разработать необходимую агентную платформу, которая будет опираться на уже существующую. Обычно агентная платформа:

- является средой, в которой функционируют «родные» агенты;
- предоставляет агентам базовые сервисы, необходимые для их существования;
- реализует всю низкоуровневую инфраструктуру;
- реализует определенные стандарты для обеспечения взаимодействия с другими платформами [11, 12, 23].

Концептуальная схема объединения агентов и мета-агентов в гетерогенное интегрированное агентство [16] показана на рис. 3.

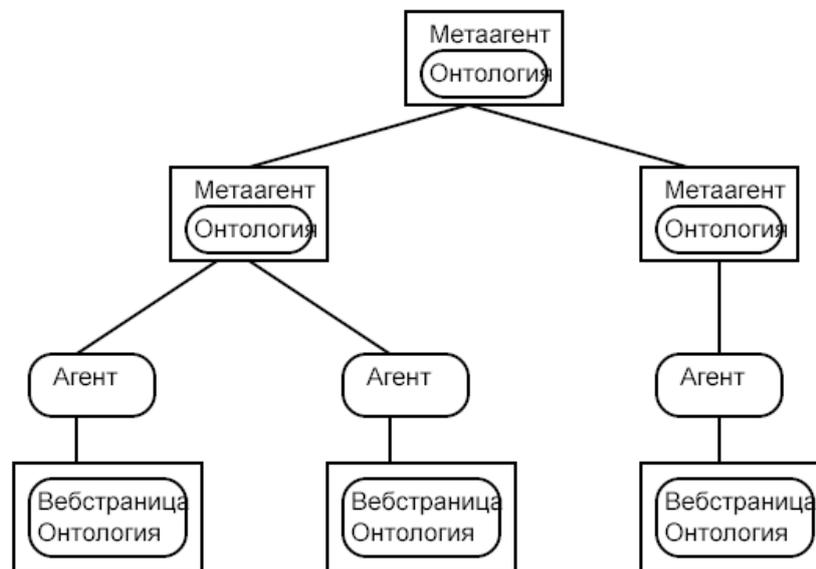


Рис. 3. Концепция объединения агентов и мета-агентов в интегрированное агентство.

В качестве исходных прототипов для экспериментов по интеграции агентно-базированных платформ использованы GAMA (GIS&Agent-based Modeling Arcitecture) с высокоуровневым языком управления агентами (GAML) и GIS [10, 12, 13]. На рис. 4 показан пример визуализации в GAMA.

Концептуальная модель агентной платформы EXE [11] представлена на рис. 5. Данная платформа интересна тем, что позволяет интегрировать наибольшее количество программных (браузеры, сервера и протоколы Интернет и Интранет, облачные технологии) и аппаратных средств (ПК, смартфоны, отдельные приборы), системы программирования (C++, javascript, java и унаследованное программное обеспечение).

Одним из наиболее интересных решений комбинированного моделирования является известная программа Anylogic российской компании XJ Technologies, которая позволяет достаточно успешно интегрировать агентное моделирование в системно-динамические модели, тем самым значительно повышая глубину проработки проблемы. AnyLogic поддерживает метод агентного моделирования (так же как системную динамику и

дискретно-событийное моделирование) и позволяет эффективно комбинировать этот метод с другими известными подходами [2].

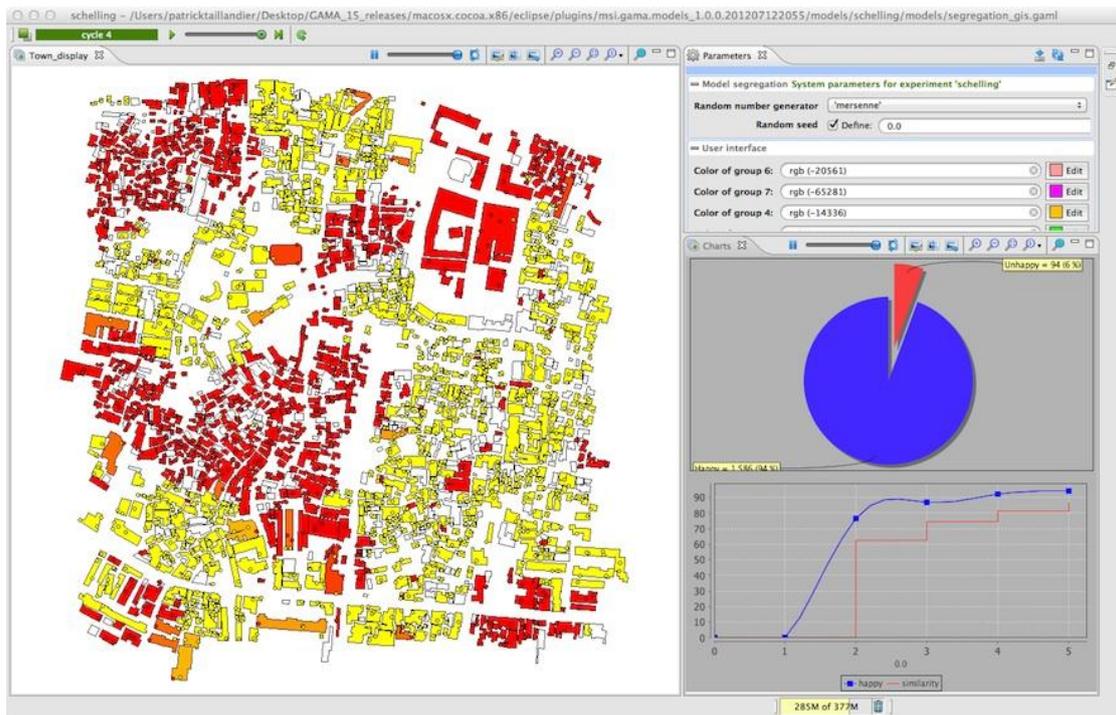


Рис. 4. Пример визуализации в GAMA (GIS & Agent-Based Modeling Architecture)

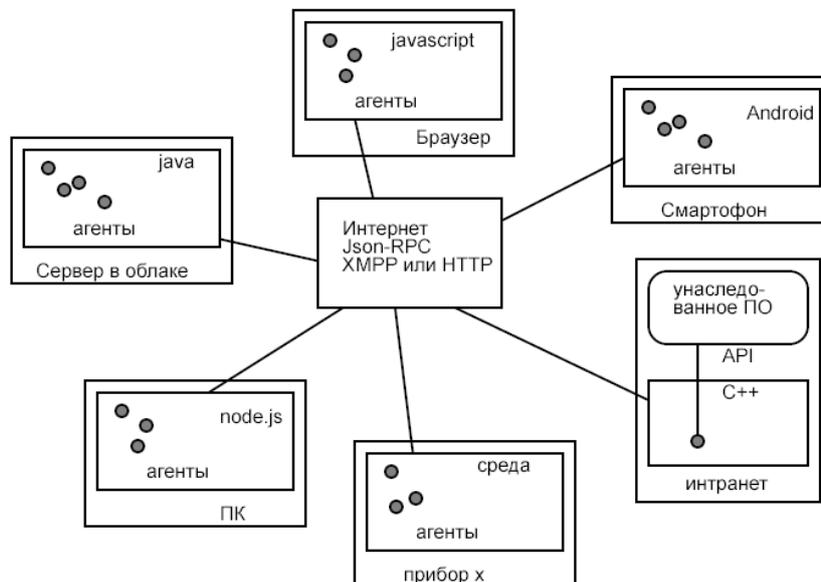


Рис. 5. Концептуальная модель агентной платформы EХЕ

Заключение. В зависимости от типа проблем, с которым сталкивается исследователь, может быть целесообразно применять либо агентный подход (моделирование «деревьев»), системно-динамический подход (моделирование «леса»), либо системную динамику (моделирование «мира»). Значительное развитие за последние годы программного обеспечения для имитационного моделирования позволяет успешно интегрировать его с программными продуктами различного назначения.

Работа выполняется при частичной финансовой поддержке грантов РФФИ № 16-07-00474 и гранта Программы Президиума РАН № 229 (2015-2017гг).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Давыдов А.А. О компьютерной теории социальных агентов // «СОЦИС». №2. 2006.
2. Карпов Ю.Г. Имитационное моделирование систем. Введение в моделирование с AnyLogic_5. СПб. БХВ-Петербург. 2006. 400 с.
3. Лещев В.А., Семенов А.Ф., Кеменов И.А., Конюхов И.А. Агентно-ориентированная технология проектирования // Программные продукты и системы. 2006. №1. С. 23-29.
4. Массель Л.В. Проблема построения интеллектуальных и программных компонентов SmartGrid и подход к ее решению на основе агентной технологии// XL Международная конференция "Информационные технологии в науке, образовании, телекоммуникации и бизнесе": труды. Украина. Крым. 2012. С.22-25.
5. Сухорослов О. В. Интеграция вычислительных приложений и распределенных ресурсов на базе облачной программной платформы // Программные системы: теория и приложения. Электрон.научн. журн. 2014. Т. 5. № 4(22). С. 171–182.
6. Тарасов В.Б. От многоагентных систем к интеллектуальным организациям. М. Эдиториал УРСС. 2002. 352 с.
7. Терехов А.Н., Кудинов А.М., Комаров С.Н. Подход к построению распределенных информационных систем для крупных образовательных структур и организаций // Всероссийская научно-методическая конференция «Телематика-2003»:труды. СПб. 2003.
8. AllanR. Survey of Agent Based Modelling and Simulation Tools / Computational Scienceand Engineering Department, Version 1.1 STFC Daresbury Laboratory, Daresbury, Warrington WA4 4AD [Электронный ресурс] / <http://www.grids.ac.uk/Complex/ABMS/>
9. An XML-Based File Format for Archival Storage of Analytical Instrument Data / URL: <http://www.gaml.org/Documentation/XML%20Analytical%20Archive%20Format.pdf>
10. Crooks A.T., Christian J.E. Castle The Integration of Agent-Based Modelling and Geographical Information for Geospatial Simulation / URL: <http://www.academia.edu/2664292/>
11. EVE - a web-based agent platform / URL: <http://eve.almende.com/>
12. GAMA - Agent-based, spatially explicit, modeling and simulation platform URL: <https://code.google.com/p/gama-platform>
13. García-Magariño I. Towards the integration of the agent-oriented modeling diversity with a powertype-based language / Computer Standards & Interfaces, Volume 36, Issue 6, November 2014, P. 941-952.
14. Håkansson A., Hartung R.L. An Infrastructure for Individualised and Intelligent Decision-making and Negotiation in Cyber-physical Systems. KES 2014. Pp. 822-831.
15. Håkansson A., Hartung R.L. Calculating optimal decision using Meta-level agents for Multi-Agents in Networks
16. Hartung R.L., A. Håkansson A. Using Meta-agents to Reason with Multiple Ontologies. KES-AMSTA 2008. Pp. 261-270.
17. Hopkinson K., Xiaoru W., Giovanini R., Thorp J. EPOCHS: a platform for agent-based electric power and communication simulation built from commercial off-the-shelf components/ Power Systems, IEEE Transactions on, Volume:21 Issue:2.

18. Lynch S.C. Using meta-agents to build MAS platforms and middleware // In Proceedings of the 3rd International Conference on Agents and Artificial Intelligence, (ICAART 2011). 2011. Rome. Italy. Pp. 385-388.
19. Mocci S., Natale N., Pilo F., Ruggeri S. Demand side integration in LV smart grids with multi-agent control system / Electric Power Systems Research / Volume 125. August 2015. Pp. 23–33.
20. Paschke A., Boley H. Rule Responder: Rule-based Agents for the Semantic-Pragmatic Web // International Journal on Artificial Intelligence Tools, 20(6). 2011. Pp.1043-1081.
21. Raia V., Robinson Scott A. Agent-based modeling of energy technology adoption: Empirical integration of social, behavioral, economic, and environmental factors. / Rai, Varun; Robinson, Scott A. In: Environmental Modelling and Software, Vol. 70, 01.08.2015, Pp. 163-177.
22. Reppenning A., Sullivan J. The Pragmatic Web: Agent-Based Multimodal Web Interaction with no Browser // In Proceedings of the 9th International Conference on Human-Computer Interaction (Sept.). Zurich, Switzerland, P.212–219.
23. Ricci A. Integrating Heterogeneous Agent Programming Platforms within Artifact-Based Environments // Proceedings of the 7th international joint conference on Autonomous agents and multiagent systems - (AAMAS 2008). Vol. 1. Pp. 225-232.

UDK 519.682.6: 620.9: 004.89

**CONCEPTUAL MODELING OF ENERGY SYSTEMS THROUGH
THE INTEGRATION OF AGENT-BASED PLATFORMS**

Skripkin Sergei K.

PhD, Laboratory "Information Technology in Energetics"

Melentiev Energy Systems Institute

Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences

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

Annotation. There are various agent-based platforms, each of which provides its own arsenal of features, but their implementation lacks the flexibility to allow developers to adapt them to the needs of individual applications. In this paper, we study variations in the design of the core middleware, based on a semiotic meta-agents that can be used to extend the functionality of an integrated agent-based platforms for simulation of energy systems.

Keywords: conceptual modeling, metamodeling, agent-based platform, integration of agent-based platforms, energy system.

References

1. Davydov A.A. O komp'yutacionnoj teorii social'nyh agentov [About computational theory of social agents] // «SOCIS» . №2. 2006 (in Russian)
2. Karpov Ju. G. Imitacionnoe modelirovanie sistem. Vvedenie v modelirovanie s AnyLogic 5 [Simulation of systems. Introduction to modeling with AnyLogic 5] // SPb. BHV-Peterburg. 2006. 400 p.(in Russian)

3. Leshhev V.A., Semenov A.F, Kemenov I.A., Konjuhov I.A. Agentno-orientirovannaja tehnologija proektirovanija [Agent-based design technology] // Programmnye produkty i sistemy.= Software products and systems. 2006. №1. Pp. 23-29 (in Russian).
4. Massel L.V. Problema postroenija intellektual'nyh i programmnyh komponentov Smart Grid I podhod k ee resheniju na osnove agentnoj tehnologii [The problem of constructing intelligent and software components of the Smart Grid and the approach to its solution based on agent technology] // XL Mezhdunarodnaja konferencija "Informacionnye tehnologii v nauke, obrazovanii, telekommunikacii ibiznese": Trudy = XL International Conference "Information Technologies in science, education, telecommunications and business": Proceedings. Ukraina. Krym. 2012. C.22-25 (in Russian)
5. Suhoroslov O.V. Integracija vychislitel'nyh prilozheniji raspredelennyh resursov na baze oblachnoj programmnoj platform [Integration of distributed computing applications and resources based on cloud software platform] // Programmnye sistemy: teorijai prilozhenija= Software Systems: Theory and Applications. Electron.scientific. Journal. Vol. 5. №:4.2014. Pp. 171–182(in Russian).
6. Tarasov V.B. Ot mnogoagentnyh sistem k intellektual'nym organizacijam [From multiagent systems to intellectual organizations] // M.: Editorial URSS. 2002. – 352 p. (in Russian).
7. Terehov A.N., Kudinov A.M., Komarov S.N. Podhod k postroenijuraspredelennyhinformacionnyhsistemdljakrupnyhobrazovatel'nyhstrukturiorganizacij [Approach to building distributed information systems for major educational institutions and organizations] // Vserossijskajanauchno-metodicheskajakonferencija «Telematika 2003»: trudy.=Scientific and TechnicalConference "Telematica-2003": Proceedings.SPb. 2003 (in Russian).
8. Allan R. Survey of Agent Based Modelling and Simulation Tools / Computational Science and Engineering Department, Version 1.1 STFC Daresbury Laboratory, Daresbury, Warrington WA4 4AD [Электронныйресурс] / <http://www.grids.ac.uk/Complex/ABMS/>
9. An XML-Based File Format for Archival Storage of Analytical Instrument Data / URL: <http://www.gaml.org/Documentation/XML%20Analytical%20Archive%20Format.pdf>
10. Crooks A.T., Christian J.E. Castle The Integration of Agent-Based Modelling and Geographical Information for Geospatial Simulation / URL: <http://www.academia.edu/2664292/>
11. EVE - a web-based agent platform / URL: <http://eve.almende.com/>
12. GAMA - Agent-based, spatially explicit, modeling and simulation platform URL: <https://code.google.com/p/gama-platform>
13. García-Magariño I. Towards the integration of the agent-oriented modeling diversity with a powertype-based language // Computer Standards & Interfaces. Vol. 36. Issue 6. November 2014. Pp. 941-952.
14. Håkansson A., Hartung R.L. An Infrastructure for Individualised and Intelligent Decision-making and Negotiation in Cyber-physical Systems. KES 2014: Pp. 822-831.
15. Håkansson A., Hartung R. L. Calculating optimal decision using Meta-level agents for Multi-Agents in Networks.
16. Hartung R.L., Håkansson A. Using Meta-agents to Reason with Multiple Ontologies. KES-AMSTA 2008: Pp. 261-270.

17. Hopkinson K., Xiaoru W., Giovanini R., Thorp J. EPOCHS: a platform for agent-based electric power and communication simulation built from commercial off-the-shelf components/ Power Systems, IEEE Transactions on, Volume:21 Issue:2.
18. Lynch S. C. Using meta-agents to build MAS platforms and middleware // 3rd International Conference on Agents and Artificial Intelligence (ICAART 2011): Proceedings. 2011. Rome. Italy. Pp. 385-388.
19. Mocci S., Natale N., Pilo F., Ruggeri S. Demand side integration in LV smart grids with multi-agent control system // Electric Power Systems Research. Volume 125. August 2015. Pp. 23–33.
20. Paschke A., Boley H. Rule Responder: Rule-based Agents for the Semantic-Pragmatic Web // International Journal on Artificial Intelligence Tools. 20(6). 2011. Pp.1043-1081.
21. Raia V., Robinson A. Scott A. Agent-based modeling of energy technology adoption: Empirical integration of social, behavioral, economic, and environmental factors // In: Environmental Modelling and Software. Vol. 70. 01.08.2015. Pp. 163-177.
22. Repenning A., Sullivan J. The Pragmatic Web: Agent-Based Multimodal Web Interaction with no Browser // 9th International Conference on Human-Computer Interaction: Proceedings. Zurich. Switzerland. Pp.212–219.
23. Ricci A. Integrating Heterogeneous Agent Programming Platforms within Artifact-Based Environments // 7th international joint conference on Autonomous agents and multiagent systems (AAMAS 2008): Proceedings. Vol. 1. Pp. 225-232.

Заявка на участие

Форма прилагается в дополнительном файле и на сайте конференции <http://imt.isem.irk.ru>

Ключевые даты

До 25 декабря	Ранняя регистрация на сайте и отправка тезисов
До 20 февраля	Поздняя регистрация на сайте и отправка тезисов
До 1 марта	Расылка приглашений (по мере поступления) и рассмотрения заявок)
Принем статей:	
До 15 января	2-й выпуск (издание – март 2016 г.)
До 25 марта	3-й выпуск (издание – июнь 2016 г.)
До 25 июня	4-й выпуск (издание – октябрь 2016)
До 25 сентября	1-й выпуск 2017 г. (издание – январь)
До 30 марта	Оплата участия в конференции
29 июня	Заезд и регистрация участников в Иркутске
29-30 июня	Школа-семинар научной молодежи (Иркутская сессия)
30 июня	Отъезд из Иркутска в Улан-Удэ
1 июля	Трансфер «Улан-Удэ – Энхалуук»
2-7 июля	Работа конференции и школы-семинара научной молодежи
8 июля	Трансфер «Энхалуук – Улан-Удэ»

Условия проведения конференции

Традиционная XXI Байкальская Всероссийская с международным участием конференция, включающая школу-семинар научной молодежи, проводится на Байкале, на турбазе «Энхалуук», в 170 км от г. Улан-Удэ, сайт турбазы <http://lenkhaluk.ru>

Инфраструктура. Турбаза находится в п. Новый Энхалуук. В поселке есть магазины, оплата наличными, карты не принимаются. Гарантированно работает только сотовая связь оператора МТС, есть слабый WiFi. Курсируют маршрутки Н. Энхалуук – Улан-Удэ. На турбазе работает баня (за отдельную плату), есть песчаный пляж, предоставляются дополнительные услуги и инвентарь по прейскуранту базы. Имеется возможность организации пешеходных и водных экскурсий. В 20 км от базы есть горячий источник.

Размещение в двухместных номерах в благоустроенных или неблагоустроенных корпусах и кемпингах, с централизованным трехразовым питанием (800 руб./сутки). Услуги проживания без питания турбаза не предоставляет. Стоимость проживания приведена в таблице.

Варианты размещения (проживание)	Стоимость 2-х местного проживания/сутки (руб.)	Стоимость одно-местного проживания/сутки (руб.)	Стоимость 3-х местного проживания/сутки (руб.)
Благоустроенные отдельно стоящие кемпинги	2700	5400	2500
Благоустроенный корпус, 2 этаж	2700	5400	2500
Благоустроенный корпус, 1 этаж	1500	4500	1500
Неблагоустроенные отдельно стоящие кемпинги (душ и туалет отдельно)	1500	–	1000
Неблагоустроенный корпус (душ и туалет отдельно)	1200	2400	–

Доставка участников. Инородным участникам, принимающим участие только в Байкальской сессии, рекомендуется заезд через г. Улан-Удэ 1 июля в первой половине дня. Регламент встречи и трансфера участникам конференции будет сообщен позже. Возвращение (выезд в Улан-Удэ) 8 июля (время в пути от Улан-Удэ до базы ориентировочно 3 часа). Участникам Иркутской сессии рекомендуется заезд через Улан-Удэ или Селенгинск, номер поезда, который будет встречать автобус оргкомитета, будет сообщен позже.

Финансовые условия участия в конференции
Органос за участие в конференции составляет 5000 руб. и включает расходы на организацию конференции, оплату трансфера «Улан-Удэ – Энхалуук», пакет участника, издание трудов. Для студентов и аспирантов (Байкальская сессия) – 2000 руб., для сопровождающих лиц – 2500 руб. Органос для участников только Иркутской сессии – 2000 руб., для аспирантов и студентов – 1000 руб. Оплата заочного участия (только публикация статьи) – 1000 руб.

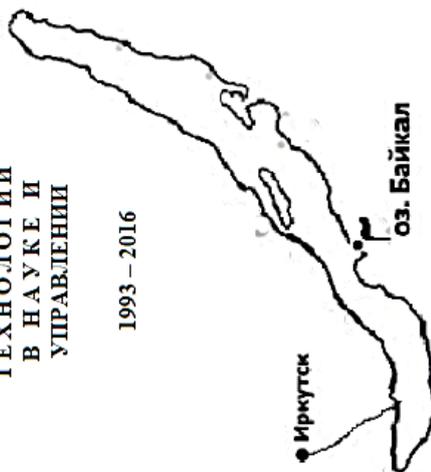
Все расходы оплачиваются общей суммой по безналичному расчету, проходящей по смете как органос (ст. 226), с оформлением договора. Для заключения договора надо сообщить свои реквизиты. Места на т/б Энхалуук бронируются только при наличии оплаты. При поздней оплате размещение на т/б Энхалуук не гарантируется, будет предложено размещение на соседних базах.

Иркутский научный центр
Сибирского отделения
Российской академии наук
Институт систем энергетики
им. Л.А. Мелентьева СО РАН
Институт динамики систем и
теории управления СО РАН
Иркутский государственный
технический университет
Иркутский государственный
университет путей сообщения

XXI Байкальская Всероссийская
конференция с международным участием
Школа-семинар научной молодежи

ИНФОРМАЦИОННЫЕ И
МАТЕМАТИЧЕСКИЕ
ТЕХНОЛОГИИ
В НАУКЕ И
УПРАВЛЕНИИ

1993 – 2016



Иркутская сессия
29-30 июня
Байкальская сессия
1 - 8 июля
2016

Программный комитет конференции

Председатель-координатор:

Масель Л.В., д.т.н., ИСЭМ СО РАН, Иркутск

Сопредседатели программного комитета:

Абламейко С.В., академик Бычков И.В., академик

НАН Беларуси, Минск, РАН, Иркутск,

Белорусский гос. ун-т ИДСТУ СО РАН

Воеводин В.В., чл.-корр. Воронин Н.И., чл.-корр.

РАН, Москва, НИВЦ МГУ РАН, Иркутск, ИСЭМ СО РАН

Донской В.И., академик Федотов А.М., чл.-корр.

Крымской АН, Россия, РАН, Новосибирск,

Самферполь, Таврический ИВТ СО РАН

ун-т им. В.И. Вернадского

Члены программного комитета:

Андрянов А.Н., д.ф.-м.н., Аршинский Л.В., д.т.н.,

Москва, ИПМ РАН Иркутск, ИрГУПС

Бухановский А.В., д.т.н., Берестнева О.Г., д.т.н.,

Санкт-Петербург, НИУ ИТМО Томск, ППУ

Вольфенгатен В.Э., д.т.н., Горнов А.Ю., д.т.н.,

Москва, МИФИ Иркутск, ИДСТУ СО РАН

Грибова В.В., д.т.н., Дуняев М.П., д.т.н.,

Владивосток, ИАЛУ ДВО РАН Иркутск, ИрГУ

Елсейев С.В., д.т.н., Казаков А.Л., д.ф.-м.н.,

Иркутск, ИрГУПС Иркутск, ИИЦ СО РАН

Москвичев В.В., д.т.н., Мохор В.В., д.т.н., Киев,

Красноярск, СКТБ «Наука» ИПМЭ им. Г.Е. Пухова

СО РАН НАН Украины

Карпенко А.П., д.ф.-м.н., Силыч В.А., д.т.н.,

Москва, МГТУ им. Баумана Томск, ППУ

Смирнов С.В., д.т.н., Хампсов О.В., д.ф.-м.н.,

Самара, ИПУСС РАН Иркутск, ИСЭМ СО РАН

Чубаров Л.Б., д.ф.-м.н., Юсупова Н.И., д.т.н.,

Новосибирск, ИВТ СО РАН Уфа, УГАТУ

Оргкомитет конференции

Председатель: Масель Л.В., д.т.н., ИСЭМ СО РАН

Зам. председатели: Бахвалов С.В., к.т.н., ИрГУ

Ученый секретарь конференции:

Макагонова Н.Н., к.т.н., ИСЭМ СО РАН

Ученый секретарь школы научной молодежи:

Масель А.Г., к.т.н., ИСЭМ СО РАН

Члены оргкомитета:

ИрГУТ

ИСЭМ СО РАН

Ворожцова Т.Н., к.т.н. Аршинский В.Л., к.т.н.

Иванов Р.А., к.т.н. Бахвалова З.А., к.т.н.

Курганская О.В., к.т.н. Колпайгородский А.Н., к.т.н.

Лемперт А.А., к.ф.-м.н., ИДСТУ СО РАН

Основные направления работы конференции:

1. Теоретические и методологические аспекты информационных и математических технологий.

2. Математическое моделирование в научных исследованиях, вычислительная математика, оптимизация.

3. Методы, технологии и инструментальные средства создания интеллектуальных энергетических систем.

4. Методы и системы искусственного интеллекта, интеллектуальные вычисления.

5. Ситуационное управление, системы интеллектуальной поддержки принятия решений в управлении, ситуационные центры.

6. Информационное и семантическое моделирование, семантические вычисления.

7. Корпоративные информационные, геоинформационные, интеллектуальные системы.

8. Параллельные, распределенные, агентные и облачные вычисления.

9. Кибербезопасность (защита информационных систем критически важных инфраструктур).

Принимаются к обсуждению диссертационные работы по тематике конференции.

Принимаются предложения по тематике Круглых столов. Авторы предложений могут быть организаторами и ведущими Круглых столов. Круглые столы организуются в виде кратких выступлений и дискуссий.

Представление докладов

Возможность сделать пленарный доклад предоставляется ведущим специалистам, профессорам и приглашенным докладчикам. Время доклада – 40-60 мин. Секционные доклады и сообщения – 15 мин. Стендовые доклады – представляются на стендах в распечатанном виде и комментируются авторами. Доклады и сообщения на школе-семинаре научной молодежи – 10-15 мин. Для демонстрации презентаций предоставляется мультимедиапроектор.

Возможность сделать пленарный доклад предоставляется ведущим специалистам, профессорам и приглашенным докладчикам. Время доклада – 40-60 мин. Секционные доклады и сообщения – 15 мин. Стендовые доклады – представляются на стендах в распечатанном виде и комментируются авторами. Доклады и сообщения на школе-семинаре научной молодежи – 10-15 мин. Для демонстрации презентаций предоставляется мультимедиапроектор.

Возможность сделать пленарный доклад предоставляется ведущим специалистам, профессорам и приглашенным докладчикам. Время доклада – 40-60 мин. Секционные доклады и сообщения – 15 мин. Стендовые доклады – представляются на стендах в распечатанном виде и комментируются авторами. Доклады и сообщения на школе-семинаре научной молодежи – 10-15 мин. Для демонстрации презентаций предоставляется мультимедиапроектор.

Возможность сделать пленарный доклад предоставляется ведущим специалистам, профессорам и приглашенным докладчикам. Время доклада – 40-60 мин. Секционные доклады и сообщения – 15 мин. Стендовые доклады – представляются на стендах в распечатанном виде и комментируются авторами. Доклады и сообщения на школе-семинаре научной молодежи – 10-15 мин. Для демонстрации презентаций предоставляется мультимедиапроектор.

Возможность сделать пленарный доклад предоставляется ведущим специалистам, профессорам и приглашенным докладчикам. Время доклада – 40-60 мин. Секционные доклады и сообщения – 15 мин. Стендовые доклады – представляются на стендах в распечатанном виде и комментируются авторами. Доклады и сообщения на школе-семинаре научной молодежи – 10-15 мин. Для демонстрации презентаций предоставляется мультимедиапроектор.

Возможность сделать пленарный доклад предоставляется ведущим специалистам, профессорам и приглашенным докладчикам. Время доклада – 40-60 мин. Секционные доклады и сообщения – 15 мин. Стендовые доклады – представляются на стендах в распечатанном виде и комментируются авторами. Доклады и сообщения на школе-семинаре научной молодежи – 10-15 мин. Для демонстрации презентаций предоставляется мультимедиапроектор.

Возможность сделать пленарный доклад предоставляется ведущим специалистам, профессорам и приглашенным докладчикам. Время доклада – 40-60 мин. Секционные доклады и сообщения – 15 мин. Стендовые доклады – представляются на стендах в распечатанном виде и комментируются авторами. Доклады и сообщения на школе-семинаре научной молодежи – 10-15 мин. Для демонстрации презентаций предоставляется мультимедиапроектор.

Возможность сделать пленарный доклад предоставляется ведущим специалистам, профессорам и приглашенным докладчикам. Время доклада – 40-60 мин. Секционные доклады и сообщения – 15 мин. Стендовые доклады – представляются на стендах в распечатанном виде и комментируются авторами. Доклады и сообщения на школе-семинаре научной молодежи – 10-15 мин. Для демонстрации презентаций предоставляется мультимедиапроектор.

Возможность сделать пленарный доклад предоставляется ведущим специалистам, профессорам и приглашенным докладчикам. Время доклада – 40-60 мин. Секционные доклады и сообщения – 15 мин. Стендовые доклады – представляются на стендах в распечатанном виде и комментируются авторами. Доклады и сообщения на школе-семинаре научной молодежи – 10-15 мин. Для демонстрации презентаций предоставляется мультимедиапроектор.

Возможность сделать пленарный доклад предоставляется ведущим специалистам, профессорам и приглашенным докладчикам. Время доклада – 40-60 мин. Секционные доклады и сообщения – 15 мин. Стендовые доклады – представляются на стендах в распечатанном виде и комментируются авторами. Доклады и сообщения на школе-семинаре научной молодежи – 10-15 мин. Для демонстрации презентаций предоставляется мультимедиапроектор.

Возможность сделать пленарный доклад предоставляется ведущим специалистам, профессорам и приглашенным докладчикам. Время доклада – 40-60 мин. Секционные доклады и сообщения – 15 мин. Стендовые доклады – представляются на стендах в распечатанном виде и комментируются авторами. Доклады и сообщения на школе-семинаре научной молодежи – 10-15 мин. Для демонстрации презентаций предоставляется мультимедиапроектор.

Возможность сделать пленарный доклад предоставляется ведущим специалистам, профессорам и приглашенным докладчикам. Время доклада – 40-60 мин. Секционные доклады и сообщения – 15 мин. Стендовые доклады – представляются на стендах в распечатанном виде и комментируются авторами. Доклады и сообщения на школе-семинаре научной молодежи – 10-15 мин. Для демонстрации презентаций предоставляется мультимедиапроектор.

Возможность сделать пленарный доклад предоставляется ведущим специалистам, профессорам и приглашенным докладчикам. Время доклада – 40-60 мин. Секционные доклады и сообщения – 15 мин. Стендовые доклады – представляются на стендах в распечатанном виде и комментируются авторами. Доклады и сообщения на школе-семинаре научной молодежи – 10-15 мин. Для демонстрации презентаций предоставляется мультимедиапроектор.

Возможность сделать пленарный доклад предоставляется ведущим специалистам, профессорам и приглашенным докладчикам. Время доклада – 40-60 мин. Секционные доклады и сообщения – 15 мин. Стендовые доклады – представляются на стендах в распечатанном виде и комментируются авторами. Доклады и сообщения на школе-семинаре научной молодежи – 10-15 мин. Для демонстрации презентаций предоставляется мультимедиапроектор.

Возможность сделать пленарный доклад предоставляется ведущим специалистам, профессорам и приглашенным докладчикам. Время доклада – 40-60 мин. Секционные доклады и сообщения – 15 мин. Стендовые доклады – представляются на стендах в распечатанном виде и комментируются авторами. Доклады и сообщения на школе-семинаре научной молодежи – 10-15 мин. Для демонстрации презентаций предоставляется мультимедиапроектор.

Возможность сделать пленарный доклад предоставляется ведущим специалистам, профессорам и приглашенным докладчикам. Время доклада – 40-60 мин. Секционные доклады и сообщения – 15 мин. Стендовые доклады – представляются на стендах в распечатанном виде и комментируются авторами. Доклады и сообщения на школе-семинаре научной молодежи – 10-15 мин. Для демонстрации презентаций предоставляется мультимедиапроектор.

Издание Трудов конференции

Начиная с 2016 г., изменяется статус Трудов конференции. Труды конференции будут издаваться как периодическое издание (научный журнал, которому присвоен международный индекс ISSN), 4 раза в год (январь, март, июль, октябрь).

Тематика периодического издания совпадает с тематикой конференции. Для публикации статьи необходимо подписать авторское соглашение во время регистрации на сайте (подтвердить согласие на публикацию статьи в журнале и размещение полного текста статьи в E-Library).

Статьи участников, приславших свои статьи к 15 января или 25 марта, будут опубликованы до начала конференции. Статьи участников конференции, присланные к 25 июня (или привезенные с собой на конференцию), будут опубликованы после конференции (в текущем году). Статьи, присланные к 25 сентября, будут опубликованы в следующем (2017) году.

Предусматриваются как очное, так и заочное участие в конференции (только публикация, с частичной оплатой орзвнуса), но при большом количестве статей предпочтение будет отдаваться очным участникам (статьи заочных участников могут быть перенесены в следующий выпуск).

С 2016 г. вводится более строгое рецензирование статей. Для аспирантских статей будет требоваться рекомендация (или соавторство) руководителя.

Оргкомитетом конференции заключен лицензионный договор с E-Library. Начиная с 2016 г., авторами будут заключаться авторские соглашения, полные тексты статей будут помещены в E-Library с индексацией в РИНЦ.

Требования к оформлению статей по сравнению с предыдущими годами изменены и приводятся в отдельном файле и на сайте конференции.

О Трудах конференции 2015 г. в E-Library помещены метаданные (автор, название статьи, аннотация, список литературы).

Том 1 - <http://elibrary.ru/item.asp?id=24185029>Том 2 - <http://elibrary.ru/item.asp?id=24206486>Том 3 - <http://elibrary.ru/item.asp?id=24207213>