

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

**Научный журнал**

**№ 1 (5)**



**ISSN 2413 – 0133**

**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  
Копайгородский А.Н., 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](mailto:massel@isem.irk.ru)

Раб. тел.: 8 (3952) 500-646 доп. 440

Макагонова Н.Н.,  
e-mail: [mak@isem.irk.ru](mailto:mak@isem.irk.ru)

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

---

Журнал включен в Российский индекс научного цитирования (РИНЦ). Номер контракта 202-04/2016

---

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

Подписано в печать 14.03.2017 г. Тираж 100 экз.

© Издательство ИСЭМ СО РАН

<b>ПРЕДИСЛОВИЕ РЕДАКТОРА</b>	<b>5</b>
<b>Математическое моделирование в научных исследованиях</b>	
<b>Булатов Ю.Н., Крюков А.В., Алексеенко Е.А.</b> Моделирование аварийных режимов в системах электроснабжения с установками распределенной генерации	<b>7</b>
<b>Колосок И.Н., Гурина Л.А.</b> Достоверизация данных синхронизированных векторных измерений при кибератаках на СМПР	<b>19</b>
<b>Симонов В.Н., Лошманов Л.П., Гольцев В.Ю.</b> Моделирование продольных колебаний упругой пластины с пленкой из «мягкого» материала	<b>30</b>
<b>Черкашин А.К., Бибаева А.Ю.</b> Количественные меры формирования и наблюдения красоты ландшафтов	<b>37</b>
<b>Методы и системы искусственного интеллекта</b>	
<b>Миронов К.В., Малахова А.И., Владимирова И.П.</b> Интеллектуальное прогнозирование траектории брошенного объекта при робототехническом захвате	<b>53</b>
<b>Скрипкин С.К.</b> Метатеоретические уровни научных исследований систем энергетики	<b>66</b>
<b>Ворожцова Т.Н.</b> Онтологии, моделирование ситуаций и ситуационное исчисление в ситуационном управлении	<b>77</b>
<b>Берестнева О.Г., Жаркова О.С., Маклакова Т.Г., Шухарев С.О.</b> Создание онтологий в медицине с использованием программы PROTEGE	<b>86</b>
<b>Программные системы</b>	
<b>Белоус В.В., Грошев С.В., Карпенко А.П.</b> Веб-ориентированная среда визуализации многомерного фронта Парето	<b>94</b>
<b>Попова О.М.</b> Развитие программно-вычислительного комплекса для решения задачи оптимизации структуры системообразующей сети электроэнергетических систем	<b>102</b>
<b>Горский С.А.</b> Применение инструментального комплекса ORLANDO для разработки пакетов распределенных программ	<b>112</b>
<b>Колосов А.Д.</b> Сервис для решения SAT-задач на основе гибридного подхода	<b>122</b>
<b>Сухоплюева В.С., Сотников М.Ю., Кузнецов Д.Ю.</b> Система поддержки пользователей в корпоративном портале ТПУ	<b>132</b>
<b>Информационное письмо о XXII Всероссийской Байкальской конференции «Информационные и математические технологии в науке и управлении»</b>	<b>140</b>
<b>Правила приема статей в журнал</b>	<b>142</b>

	<b>Content</b>
<b>EDITOR'S FOREWORD</b>	<b>5</b>
<b>Mathematical modeling in science research</b>	
<b>Bulatov Yu.N., Kryukov A.V., Alekseenko E.A.</b> Modeling emergency mode power supply system with the installation of distributed generation	<b>7</b>
<b>Kolosok I.N., Gurina L.A.</b> Data verification for synchronized phasor measurement in cyber attacks on WAMS	<b>19</b>
<b>Simonov V.N., Loshmanov L.P., Goltsev V.Y.</b> Modeling of longitudinal oscillations of elastic plates with the film of "soft" material	<b>30</b>
<b>Cherkashin A.K., Bibaeva A.Y.</b> Quantitative regularities of formation and observation of landscape beauty	<b>37</b>
<b>Methods and systems of artificial intelligence</b>	
<b>Mironov K.V., Malakhova A.I., Vladimirova I.P.</b> Intelligent forecasting of the thrown object's trajectory for robotic catching	<b>53</b>
<b>Skripkin S.K.</b> Metatheoretic level of scientific research of energy systems	<b>66</b>
<b>Vorozhtsova T.N.</b> Ontology, situation modeling and situation calculus in situation management	<b>77</b>
<b>Berestneva O.G., Zharkova O.S., Maklakova T.G., Shukharev S.O.</b> Creation of ontologies in medicine with use of the Protege program	<b>86</b>
<b>Software systems</b>	
<b>Belous V.V., Groshev S.V., Karpenko A.P.</b> Web-oriented environment for visualization of multidimensional Pareto front	<b>94</b>
<b>Popova O.M.</b> Development of software and computing systems for solving optimization problem of backbone network of electric power systems	<b>102</b>
<b>Gorsky S.A.</b> Using the ORLANDO toolkit to develop packages of distributed programs	<b>112</b>
<b>Koloso A.D.</b> Service for solving of SAT-problems based on a hybrid approach	<b>122</b>
<b>Sukhopluyeva V.S., Sotnikov M.Yu., Kuznetsov D.Yu.</b> Support systems users corporate portal TPU	<b>132</b>
<b>Information letter on the 22nd All-Russian Baikal Conference</b> «Information and Mathematical Technologies in Science and Management»	<b>140</b>
<b>Call for papers</b>	<b>142</b>

## ПРЕДИСЛОВИЕ РЕДАКТОРА

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

Начиная с 2016 г., Труды конференции, которые последние десять лет издавались в 2-х – 3-х томах к началу конференции, издаются четыре раза в год как периодическое издание, которому присвоен международный индекс ISSN. В 2016 г. вышли четыре выпуска журнала (четвертый – в двух частях). Все статьи представлены в E-library и проиндексированы в РИНЦ. Также можно ознакомиться с ними на сайте Института систем энергетики им. Л.А. Мелентьева СО РАН, в котором издается журнал: <http://isem.irk.ru/publications>.

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. 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.

Вашему вниманию предлагается первый выпуск 2017 г., который включает три раздела. Первый раздел, «Математическое моделирование в научных исследованиях», открывается статьей Булатова Ю.Н., Крюкова А.В., Алексеенко Е.А. (БрГУ, Братск; ИРГУПС, ИРНИТУ, Иркутск), в статье представлены результаты исследований аварийных режимов в системах электроснабжения железных дорог с установками распределенной генерации, вызванных короткими замыканиями (КЗ). Рассматривается процесс моделирования, даны рекомендации о дополнительных мерах для предотвращения КЗ. Следующая статья, Колосок И.Н. и Гуриной Л.А. (ИСЭМ СО РАН, Иркутск), посвящена достоверности данных синхронизированных векторных измерений при кибератаках на СМПП (систему мониторинга переходных режимов) В статье предложен подход к обработке и достоверности информационных потоков данных синхронизированных векторных измерений на основе вейвлет-анализа случайных процессов, позволяющий обнаруживать как систематические ошибки и погрешности, так и помехи, злонамеренно созданные в результате кибератак на системы сбора, обработки, передачи измерений и синхронизации времени. В статье Симонова В.Н., Лошманова Л.П., Гольцева В.Ю. (МИФИ, Москва) отмечается актуальность создания сенсоров, основой которых являются пленки из т.н. «мягких» материалов – полимеров, гелей и жидкостей. Оптимальное конструирование таких устройств невозможно без математического моделирования происходящих в них явлений и процессов. В статье рассматривается математическая модель низкочастотного кварцекристаллического сенсора концентрации паров и газов в различных средах. Модель разработана с применением методов классической теории колебаний, корректность модели иллюстрируется результатами экспериментальной проверки. Раздел завершается статьей Черкашина А.К., Бибаевой А.Ю. (Институт географии СО РАН, г. Иркутск), в которой математическими средствами исследуется свойство наблюдаемости, как количественной оценки условий эстетического восприятия участков ландшафтов с учетом их пространственной и временной изменчивости, которая позволяет по выходу системы судить о процессах, происходящих внутри неё.

Второй раздел, «Методы и системы искусственного интеллекта», открывается статьей Миронова К.В., Малаховой А.И., Владимирова И.П. (УГАТУ, Уфа). Рассматривается задача прогнозирования траектории брошенного объекта с целью обеспечить его захват

робототехническим манипулятором, возникающая в системах транспортировки объектов на основе их переброса. Авторы предлагают подход, включающий новые алгоритмы и методики, основанный на методе k-ближайших соседей и не требующий априорного знания аэродинамических характеристик объекта. Вычислительные эксперименты по прогнозированию реальных траекторий брошенных объектов показали высокую эффективность предложенных методов. Статья Скрипкина С.К. (ИСЭМ СО РАН, Иркутск) носит методологический, и даже философский характер. Автор, опираясь на теорию семиотики, предлагает ввести метатеоретические уровни научных исследований систем энергетики, что позволит перейти к междисциплинарной науке – метаэнергетике. В следующей статье – Ворожцовой Т.В. (ИСЭМ СО РАН, Иркутск) рассматриваются возможности использования онтологий и ситуационного исчисления в контексте ситуационного управления: для описания объектов энергетики, взаимосвязей между объектами с учетом их участия в ситуациях, моделирования ситуаций и формулирования набора правил, отражающих возможности изменения ситуаций для достижения заданных целей. Раздел завершается статьей Берестневой О.Г., Жарковой О.С., Маклаковой Т.Г., Шухарева С.О. (ТПУ, Томск), в которой рассматриваются вопросы создания онтологий в медицине с использованием программы PROTEGE.

Третий раздел, «Программные системы», открывается статьей Белоус В.В., Грошева С.В., Карпенко А.П. (МГТУ им. Баумана, Москва), в которой рассматриваются вопросы разработки веб-ориентированной среды для визуализации аппроксимации фронта Парето (П-аппроксимации). Рассматриваются существующие приложения для решения данной задачи, выполнено сравнительное исследование эффективности различных алгоритмов визуализации, показано удобство использования предлагаемого приложения. В статье Поповой О.М. (ИСЭМ СО РАН, Иркутск) рассмотрено развитие программно-вычислительного комплекса для решения задачи оптимизации структуры системообразующей сети электроэнергетических систем. Статья Горского С.А. (ИДСТУ СО РАН, Иркутск) посвящена вопросам применения авторского инструментального комплекса ORLANDO для разработки пакетов распределенных программ. В статье Колосова А.Д. (ИДСТУ СО РАН, Иркутск) представлен краткий обзор существующих SAT-решателей, распараллеленных с применением технологии Nvidia CUDA. Приводится описание собственного сервиса для автоматизации решения задач булевой выполнимости, представлены результаты экспериментов. Завершается раздел статьей Сухоплюевой В.С., Сотникова М.Ю., Кузнецова Д.Ю. (ТПУ, Томск), в которой обосновывается необходимость разработки собственной системы поддержки пользователей корпоративного портала ТПУ и предлагается описание архитектуры этой системы.

В приложении приводятся Информационное письмо о XXII Байкальской Всероссийской с международным участием конференции «Информационные и математические технологии в науке и управлении», которая проводится с 29 июня по 8 июля 2017 г. и Правила оформления статей в журнал

Этот выпуск выходит в преддверии весны. Зима была сложной, в Сибири она еще борется за свои права, но нас уже согревают первые лучи надежды и удачи! Мы хотим поделиться этим теплом с нашими авторами и читателями.

Ждем Вас на нашей конференции на Байкале в июле 2017-го!

Л.В. Массель

УДК 621.311, 621.331

## МОДЕЛИРОВАНИЕ АВАРИЙНЫХ РЕЖИМОВ В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ С УСТАНОВКАМИ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ГЕНЕРАЦИИ

**Булатов Юрий Николаевич**

К.т.н., доцент, ФГБОУ ВО «Братский государственный университет»,  
665709, Братск, ул. Макаренко, д. 40, e-mail: bulatovyura@yandex.ru

**Крюков Андрей Васильевич**

Д.т.н., профессор, ФГБОУ ВО «Иркутский государственный университет путей сообщения»,  
664074, Иркутск, ул. Чернышевского, д. 15;

ФГБОУ ВО «Иркутский национальный исследовательский технический университет»,  
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова 83, e-mail: and\_kryukov@mail.ru

**Алексеев Евгений Алексеевна**

Магистр техники и технологии, Восточно-Сибирская дирекция по энергообеспечению  
Трансэнерго ОАО РЖД, 664013, г. Иркутск, ул. Образцова, д. 20, e-mail: alev\_ia@mail.ru

**Аннотация.** Применение установок распределённой генерации (РГ), в том числе на основе возобновляемых энергоресурсов, позволяет стабилизировать уровни напряжения, уменьшать потери в сетях и освобождать пропускные способности связей. В системах электроснабжения железных дорог (СЭЖД) на основе РГ можно улучшить качество электроэнергии, повысить эффективность и бесперебойность обеспечения потребителей электроэнергией. Однако при наличии РГ возникает проблема, связанная с ростом токов короткого замыкания за счет появления дополнительных источников энергии. Для её решения необходима разработка методов моделирования аварийных режимов в СЭЖД, оснащённых установками распределённой генерации.

В статье представлены результаты исследований аварийных режимов в системах электроснабжения, вызванных короткими замыканиями. Моделировался отдельный район электроснабжения (РЭС) нетяговых потребителей, присоединенный к тяговой подстанции через вставку постоянного тока (ВПТ) и включающий следующие установки РГ: турбогенератор мини-теплоэлектроцентрали; гидрогенератор микро-ГЭС; ветрогенерирующую установку (ВГУ) на базе синхронной машины; ВГУ на основе машины постоянного тока и солнечную электростанцию.

Результаты моделирования позволили сделать следующие выводы: при использовании установок РГ увеличиваются токи короткого замыкания, что требует дополнительной проверки коммутационного оборудования и изменения уставок релейной защиты для обеспечения селективности; применение вставки постоянного тока позволяет значительно ограничить токи короткого замыкания, даже при наличии подпитки со стороны установок РГ.

**Ключевые слова:** системы электроснабжения железных дорог, установки распределённой генерации, аварийные режимы.

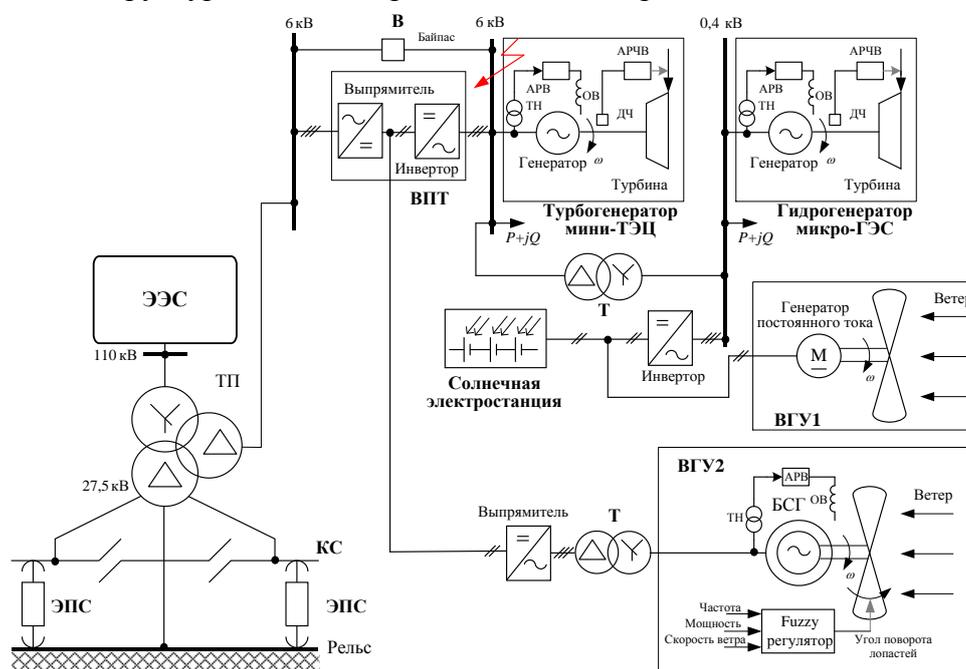
**Введение.** В современных условиях потребители электроэнергии (ЭЭ) могут создавать эффективные установки распределенной генерации (РГ), конкурирующие с централизованной выработкой ЭЭ [4 - 6, 8, 13, 15, 16]. Наряду с установками РГ индивидуального использования могут формироваться их объединения в микроэнергосистемы. Реализация технологий распределенной генерации связана с необходимостью адаптации к рыночным условиям, а также с ужесточением экологических нормативов, стимулирующих использование возобновляемых источников энергии.

На основе элементов силовой электроники возможно подключать установки РГ к электроэнергетической системе (ЭЭС) через вставки постоянного тока. Это позволяет обеспечить высокое качество электроэнергии и надежность электроснабжения, а также ограничить мощность короткого замыкания (КЗ) на шинах источников РГ [4, 6]. Кроме того, при объединении установок РГ в микроэнергосистемы (сетевые кластеры) открываются возможности для оптимизации режимов по критерию энергетической эффективности.

Однако появление дополнительных источников энергии может привести к росту токов короткого замыкания в сетях потребителей электроэнергии. Поэтому задача адекватного моделирования аварийных режимов в системах электроснабжения, вызванных короткими замыканиями, приобретает в условиях ввода установок РГ особую актуальность.

В статье представлены результаты моделирования аварийных режимов в сетевых кластерах, предназначенных для электроснабжения нетяговых потребителей железных дорог переменного тока.

**Методика моделирования.** Исследования проводились в системе MATLAB применительно к структурной схеме, представленной на рис. 1.



**Рис. 1.** Фрагмент системы электроснабжения, оснащенной установками РГ:

АРВ – автоматический регулятор возбуждения; АРЧВ – автоматический регулятор частоты вращения; БСГ – безредукторный синхронный генератор; В – выключатель; ВГУ – ветрогенерирующая установка; ВПТ – вставка постоянного тока; ДЧ – датчик частоты вращения; КС – контактная сеть; ОВ – обмотка возбуждения; Т – трансформатор; ТН – трансформатор напряжения; ТП – тяговая подстанция; ЭПС – электроподвижной состав

Моделировался отдельный район электроснабжения (РЭС) нетяговых потребителей с суммарной мощностью 2,6 МВ·А, присоединенный к тяговой подстанции через вставку постоянного тока (ВПТ) и включающий следующие установки РГ: турбогенератор мини-ТЭЦ с мощностью 3,125 МВ·А и напряжением 6 кВ; гидрогенератор микро-ГЭС с мощностью 0,25 МВ·А и напряжением 0,4 кВ; ветрогенерирующую установку (ВГУ) на базе синхронной машины с мощностью в 1 МВ·А; ВГУ на основе машины постоянного тока мощностью 200 кВт и солнечную электростанцию (СЭС) мощностью 107,5 кВт; при этом СЭС и ВГУ на основе машины постоянного тока работают через общий инвертор на шины 0,4 кВ, а ВГУ на базе синхронной машины подключена через трансформатор и выпрямитель к ВПТ. Основная нагрузка в РЭС сосредоточена на шинах 6 кВ. Установки РГ, работающие на возобновляемых источниках энергии, связаны через трансформатор с сетью 6 кВ.

Турбогенератор, приводимый во вращение паровой турбиной с промежуточным отбором пара, моделировался стандартным блоком библиотеки SymPowerSystems системы MATLAB – Synchronous Machine pu Fundamental. Структурная схема паровой турбины представлена на рис. 2. При моделировании использовались следующие параметры турбогенератора:  $X_d = 2,34$  о.е.,  $E_q = 1,25$  о.е.,  $U_g = 1$  о.е.,  $T_{je} = 8,669$  с,  $\delta = 46,9$  эл. град.

Для тиристорного возбудителя использовалась модель апериодического звена первого порядка с коэффициентом  $k_e$ , постоянной времени  $T_e$  и блоком ограничения напряжения [12]. При моделировании принимались следующие значения параметров:  $k_e = 1$ ;  $T_e = 0,025$  с.

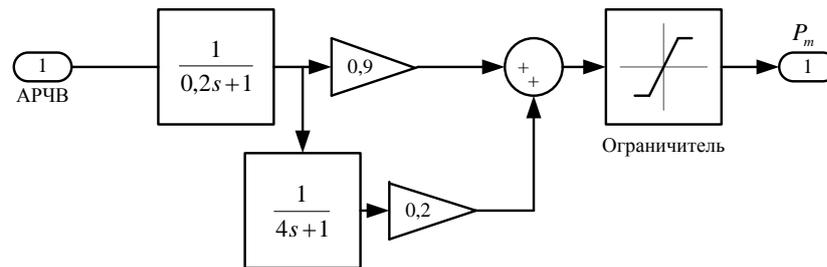


Рис. 2. Структурная схема модели паровой турбины с учётом промежуточного отбора пара

Генератор, приводимый во вращение гидротурбиной, моделировался стандартным блоком Synchronous Machine pu Standart. Структурная схема гидротурбины представлена на рис. 3а. Модель состоит из главного сервомотора, структурная схема которого показана на рис. 3б. Сервомотору, охваченному изодромной обратной связью, отвечает передаточная функция  $\frac{1}{T_c s + 1}$ , характерная для регуляторов гидротурбин. Постоянная времени сервомотора принималась равной 0,25 с. Изодромный регулятор моделировался следующей передаточной функцией:

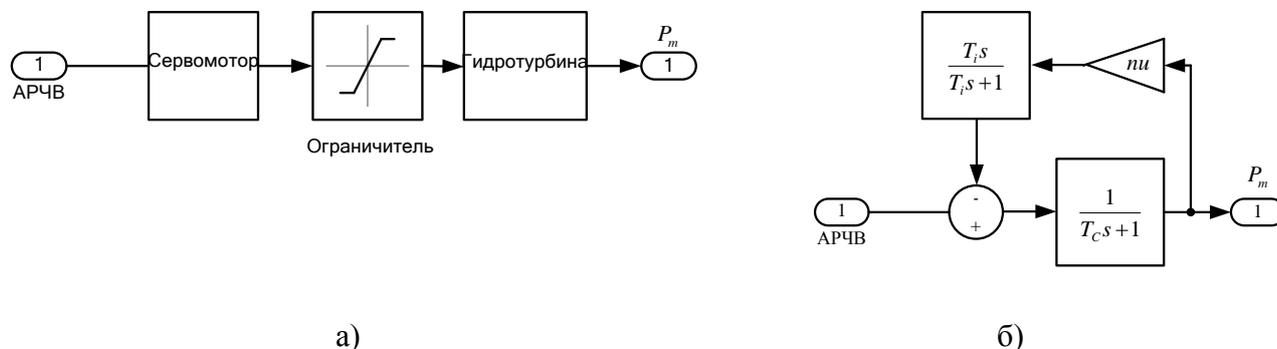
$$W(s) = \frac{ni \cdot T_i s}{T_i s + 1},$$

где  $ni$  – коэффициент усиления изодрома (при моделировании принимался равным 10 о.е.);  $T_i$  – постоянная времени изодрома; при моделировании принималась равной 0,1 с.

Гидравлическая турбина моделировалась передаточной функцией, учитывающей гидроудар [11]:

$$W_T(s) = \frac{1 - a_{уст} T_B s}{1 + 0,5 a_{уст} T_B s},$$

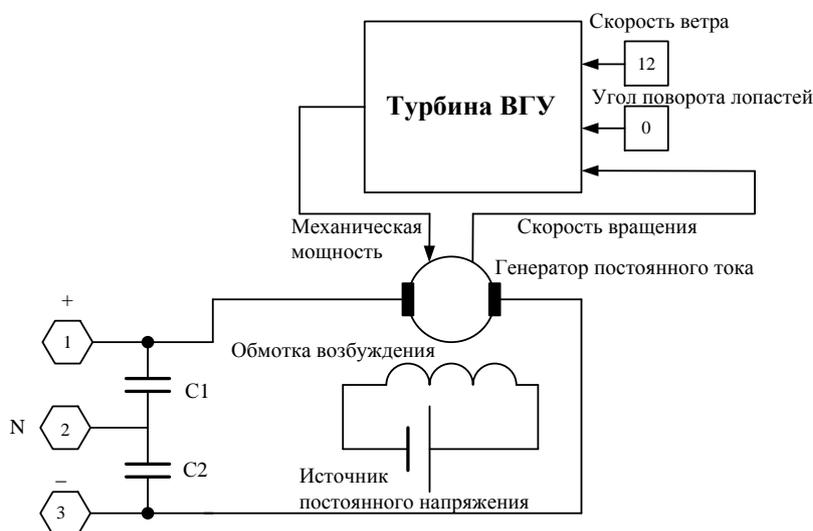
где  $T_B$  – постоянная времени гидротурбины (при моделировании принималась равной 0,344 с);  $a_{уст}$  – положение открытия направляющего аппарата (принимает значения в диапазоне 0...1).



**Рис. 3.** Структурная схема модели гидротурбины (а) и главного сервомотора (б) в MATLAB

При моделировании использовались следующие параметры гидрогенератора:  $X_d = 2,84$  о.е.,  $E_q = 1,1$  о.е.,  $U_g = 1$  о.е.,  $T_{je} = 3,779$  с,  $\delta = 37,5$  эл. град.

Блок, обозначенный на рис.1 как ВГУ1, моделировался с использованием стандартных элементов библиотеки SymPowerSystems системы MATLAB: ветротурбины (Winde turbine) и машины постоянного тока (DC Machine) с независимым возбуждением. Схема модели ВГУ в MATLAB представлена на рис. 4.



**Рис. 4.** Схема модели ВГУ

Модель солнечной электростанции реализована с использованием блока PV Array системы MATLAB, построенного на основе 100 параллельных и 10 последовательных солнечных фотоэлектрических модулей, соединённых между собой. Схема модели солнечной электростанции представлена на рис. 5а. Принципиальная электрическая схема отдельного модуля представлена на рис. 5б.

Вставка постоянного тока, обеспечивающая связь установки РГ с системой тягового электроснабжения, моделировалась с помощью стандартных блоков библиотеки силовой электроники пакета SymPowerSystems. ВПТ позволяет повысить качество электроэнергии, придаёт электроснабжению потребителей характер гарантированного питания [4, 6], а также, как показано ниже, обеспечивает ограничение токов короткого замыкания.

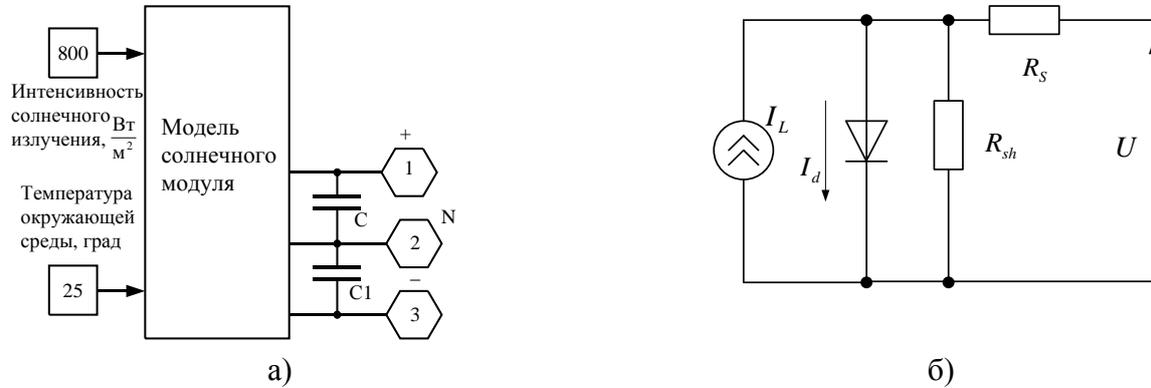


Рис. 5. Схема модели солнечной электростанции (а) и принципиальная электрическая схема фотоэлектрического модуля (б)

Схемы исследуемой модели СЭЖД с установками РГ, реализованными в среде MATLAB, представлены на рис. 6 - 10.

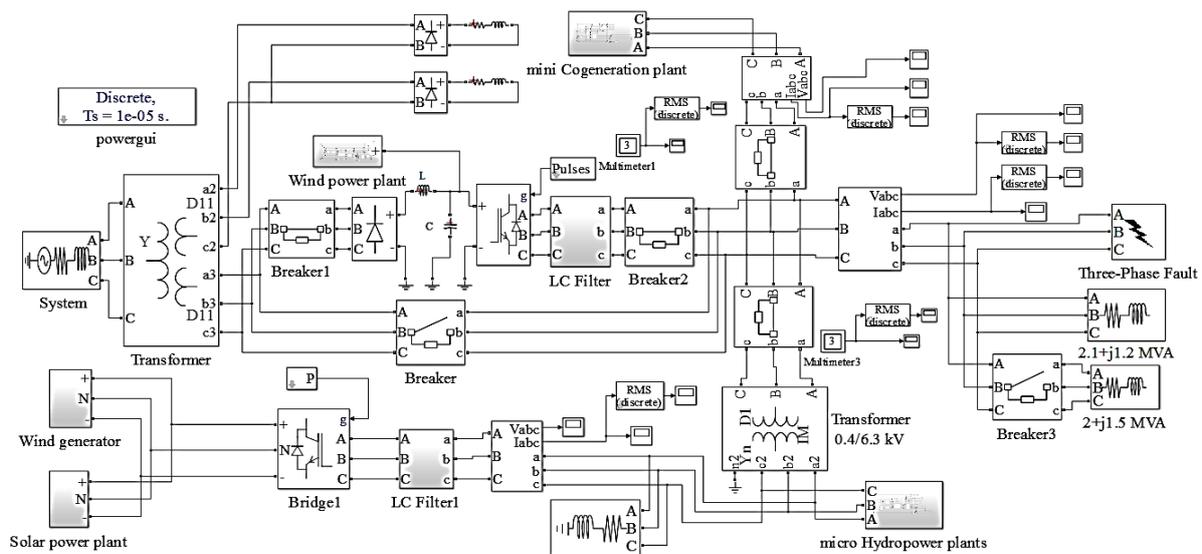


Рис. 6. Схема исследуемой модели в MATLAB

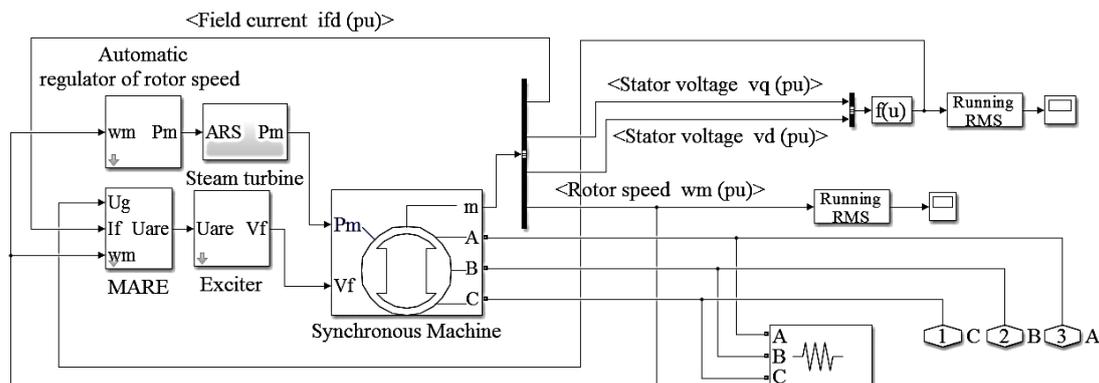


Рис. 7. Схема мини-ТЭЦ в MATLAB

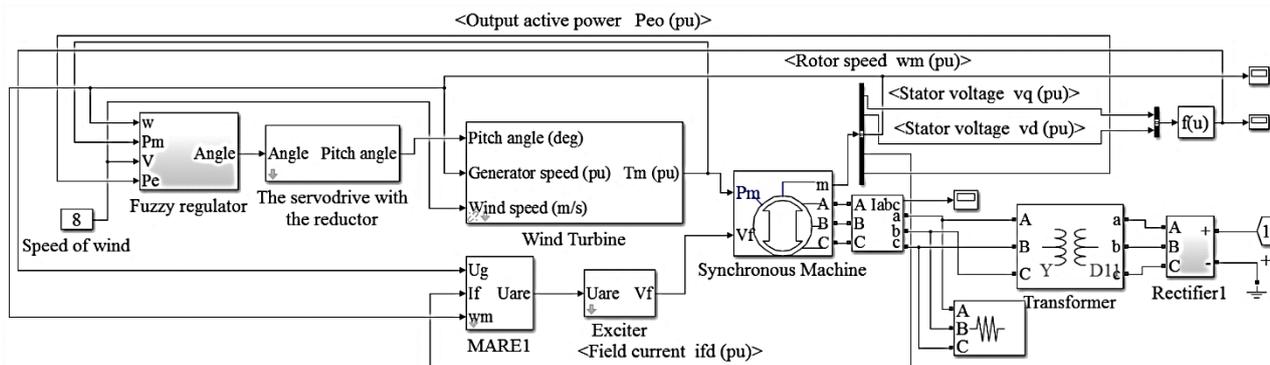


Рис. 8. Схема модели ВГУ на основе синхронной машины в MATLAB

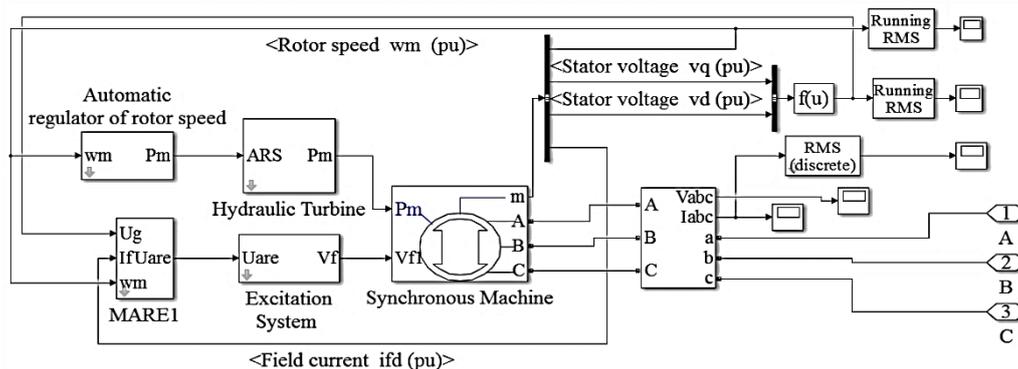


Рис. 9. Схема микро-ГЭС в MATLAB

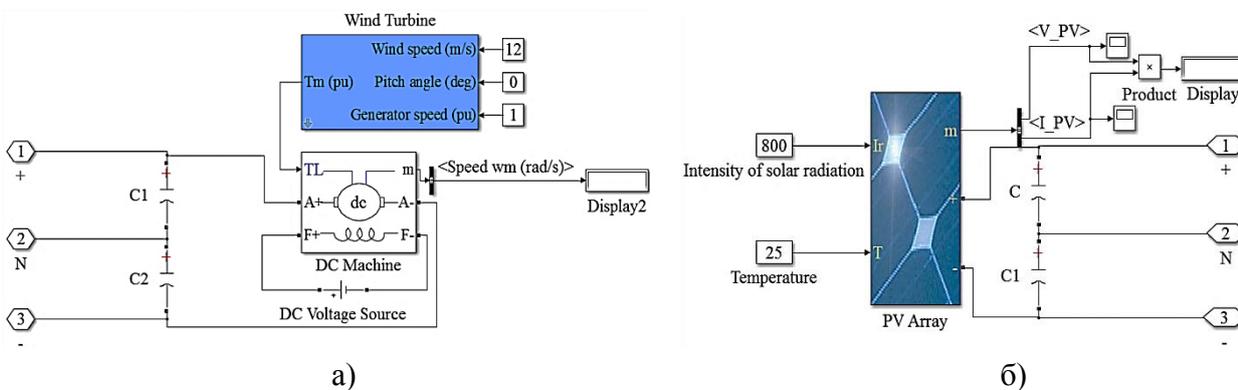


Рис. 10. Схема модели ветрогенератора (а) и солнечной электростанции (б) в MATLAB

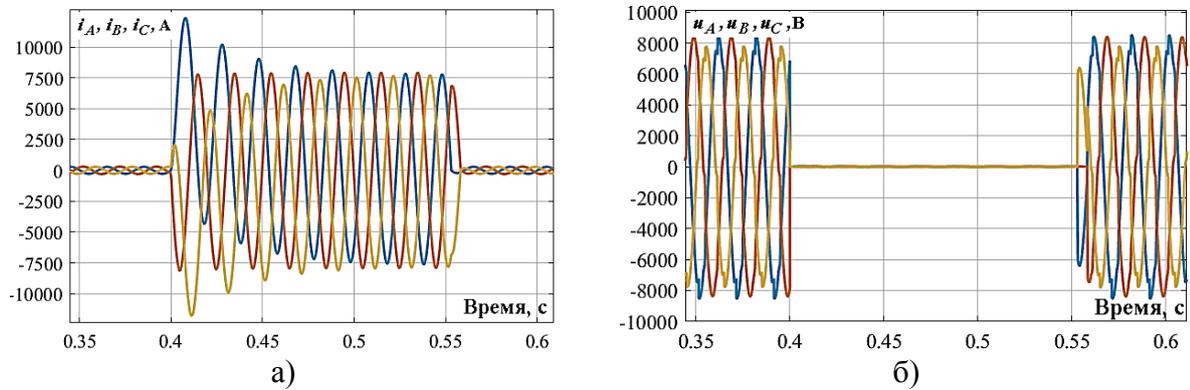
Описание используемых при моделировании автоматических регуляторов возбуждения (АРВ) и частоты вращения (АРЧВ) генераторов мини-ТЭЦ и микро-ГЭС, а также нечёткого (fuzzy) регулятора мощности ВГУ на основе синхронной машины приведены в работах [3 - 7]. При моделировании оптимизация настроек регуляторов не выполнялась, а использовалась технология прогностических алгоритмов [2, 9, 10, 14].

**Результаты моделирования.** При моделировании рассматривались режимы трехфазного КЗ на шинах 6 кВ главного распределительного пункта РЭС в следующих вариантах работы установок РГ (см. рис. 1):

1. Установки РГ и ВПТ отключены, включен байпас.
2. Включены ВПТ и все установки РГ, кроме ВГУ2.
3. Включены ВПТ и все установки РГ.

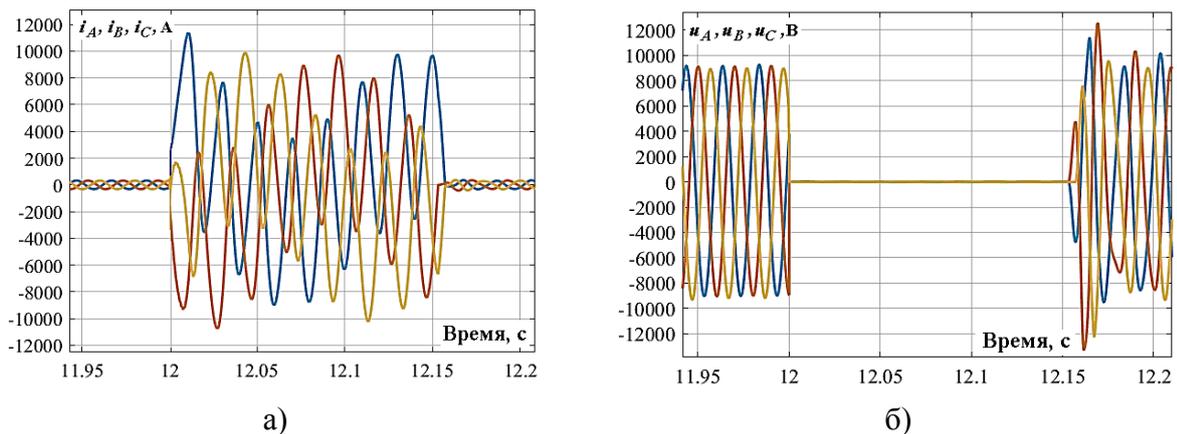
Генераторы мини-ТЭЦ и микро-ГЭС были оснащены прогностическими АРВ и АРЧВ [2]. Для ВГУ2 использовался нечеткий регулятор [3, 5].

Результаты моделирования аварийного режима (АР) для режима 1 представлены на рис. 11.

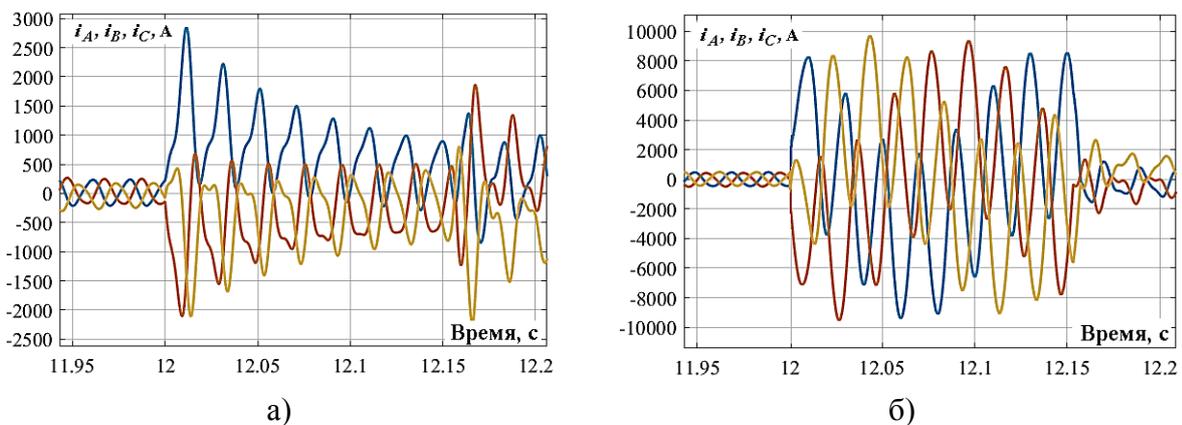


**Рис. 11.** Осциллограммы токов (а) и напряжений (б) на шинах нетягового потребителя при трёхфазном КЗ

Результаты моделирования АР для режима 2 представлены на рис. 12, 13.

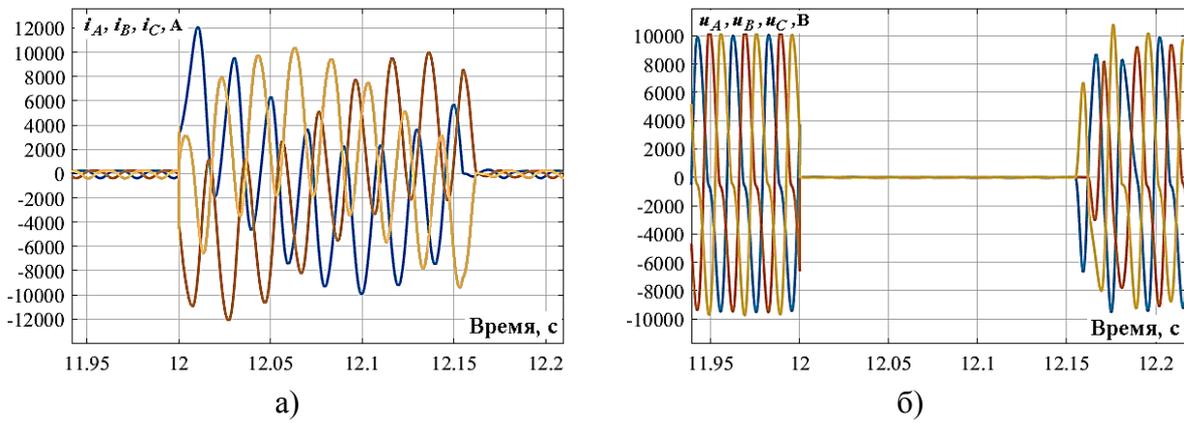


**Рис. 12.** Осциллограммы токов (а) и напряжений (б) на шинах нетягового потребителя при трёхфазном КЗ

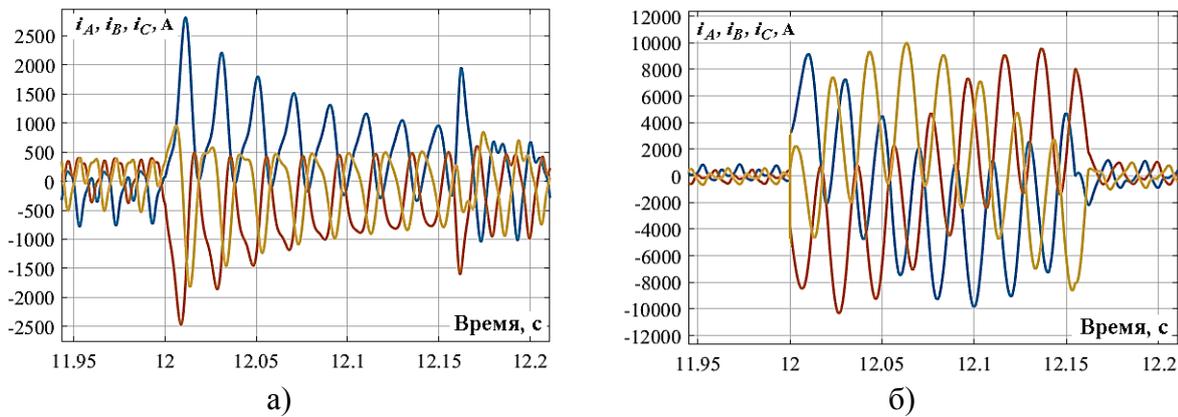


**Рис. 13.** Осциллограммы токов при трёхфазном КЗ:  
а) от мини-ТЭЦ; б) от ТП (ВПТ)

Результаты моделирования АР для режима 3 представлены на рис. 14, 15.



**Рис. 14.** Осциллограммы токов (а) и напряжений (б) на шинах нетягового потребителя при трёхфазном КЗ

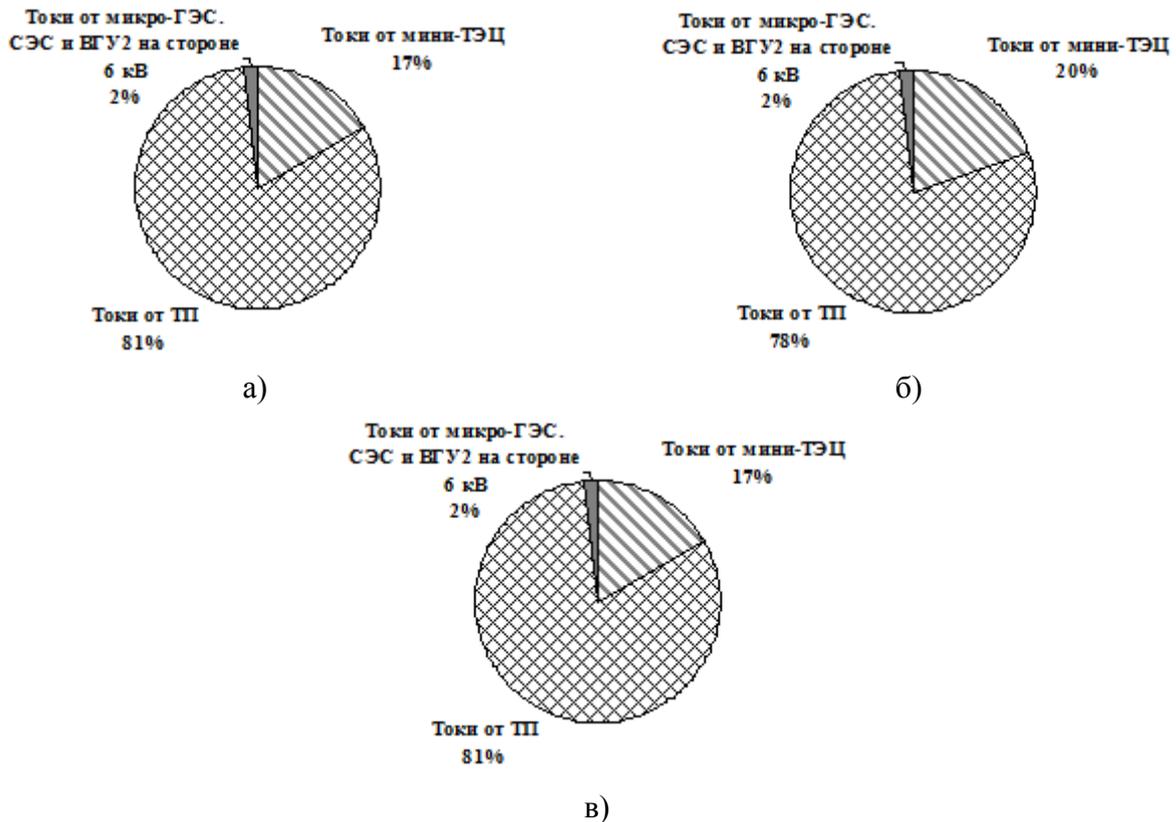


**Рис. 15.** Осциллограммы токов при трёхфазном КЗ: а) от мини-ТЭЦ; б) от ТП (ВПТ)

Сводные результаты моделирования представлены в табл. 1 и проиллюстрированы на рис. 14.

Таблица 1. Сводная таблица для токов трёхфазного короткого замыкания

Режим работы системы	Направления токов	Ударный ток, кА			Периодический ток в начальный момент времени (действующее значение), кА		
		$i_A$	$i_B$	$i_C$	$I_A$	$I_B$	$I_C$
1.	Токи в месте КЗ	12,39	7,77	11,81	7,35	5,58	6,98
2.	Токи в месте КЗ	11,39	9,30	6,88	7,21	6,61	5,81
	Токи от мини-ТЭЦ	2,85	2,10	2,11	1,58	1,18	1,03
	Токи от ТП (ВПТ)	8,29	7,14	4,41	5,56	5,22	4,52
3.	Токи от микро-ГЭС, СЭС и ВГУ1 на стороне 6 кВ	0,34	0,32	0,29	0,19	0,16	0,15
	Токи в месте КЗ	12,13	10,98	7,98	7,95	6,95	5,46
	Токи от мини-ТЭЦ	2,81	2,46	1,82	1,51	1,38	0,96
	Токи от ТП (ВПТ)	9,19	8,51	7,45	6,05	5,50	4,70
	Токи от микро-ГЭС, СЭС и ВГУ1 на стороне 6 кВ	0,26	0,29	0,15	0,15	0,14	0,09



**Рис. 14.** Соотношения между токами КЗ, посылаемыми разными источниками:  
а – фаза А; б – фаза В; в – фаза С

Анализируя полученные результаты, можно сделать следующие выводы:

1. При использовании установок распределённой генерации увеличиваются токи короткого замыкания, что требует дополнительной проверки коммутационного оборудования и модификации уставок релейной защиты для обеспечения селективности.

2. Применение вставки постоянного тока позволяет заметно (в рассмотренном примере в среднем 35 %) ограничить токи короткого замыкания, посылаемые от ЭЭС. Таким образом, использование группы выпрямитель-инвертор является действенной мерой, позволяющей на треть уменьшить токи КЗ от основного источника.

3. Наибольшая доля токов КЗ (в рассмотренном примере примерно 80 %) поступает к месту КЗ от электроэнергетической системы.

**Заключение.** На основе средств пакета SimPowerSystem системы MatLab разработана динамическая модель сетевого кластера, предназначенного для электроснабжения нетяговых потребителей железнодорожного транспорта. В его состав входит вставка постоянного тока и установки распределенной генерации, часть из которых построены с использованием нетрадиционных источников энергии. Результаты моделирования показали возможность практического использования разработанной модели для решения задач моделирования аварийных режимов в системах электроснабжения железных дорог.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Булатов Ю.Н., Крюков А.В., Нгуен Ван Хуан. Определение параметров прогностических регуляторов для установок распределенной генерации систем электроснабжения железных дорог // Системы. Методы. Технологии. № 2(30). 2016. С. 84-91.

2. Булатов Ю.Н., Крюков А.В., Нгуен Ван Хуан. Прогностические регуляторы для установок распределенной генерации // Системы. Методы. Технологии. № 1(29). 2016. С. 63-69.
3. Булатов Ю.Н., Крюков А.В., Чан Зюй Хынг. Нечеткие регуляторы для ветрогенерирующих установок // Известия вузов. Проблемы энергетики. № 7-8. 2014. С. 60-69.
4. Булатов Ю.Н., Крюков А.В., Чан Зюй Хынг. Применение сетевых кластеров (microgrid) в системах электроснабжения железных дорог. Братск: БрГУ, 2016. 178 с.
5. Булатов Ю.Н., Крюков А.В., Чан Зюй Хынг. Интеллектуальные регуляторы для установок распределенной генерации // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2015. № 2(46). С. 83-95.
6. Булатов Ю.Н., Крюков А.В., Чан Зюй Хынг. Сетевые кластеры в системах электроснабжения железных дорог. Иркутск: ИрГУПС, 2015. 205 с.
7. Игнатъев И.В., Булатов Ю.Н. Модели и методы настройки систем регулирования возбуждения генераторов на основе экспериментальных данных. Братск: Изд-во БрГУ, 2016. 278 с.
8. Крюков А.В., Чан Зюй Хынг. Влияние установок распределенной генерации на качество электроэнергии в системах электроснабжения железных дорог // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. № 4(36). 2012. С. 162-167.
9. Пикина Г.А. Принцип управления по прогнозу и возможность настройки систем регулирования одним параметром // Новое в российской электроэнергетике. 2014. №3. С. 5-13.
10. Пикина Г.А., Кузнецов М.С. Прогностические типовые алгоритмы регулирования // Теплоэнергетика. 2011. №4. С.61-66.
11. Стернинсон Л.Д. Переходные процессы при регулировании частоты и мощности в энергосистемах. М.: «Энергия», 1975. 216 с.
12. Anderson P.M., Fouad A.A. Power System Control and Stability. Second Edition. IEEE Press. 2003. 688 p.
13. Buchholz B.M., Styczynski Z. Smart Grids – Fundamentals and Technologies in Electricity Networks. Springer Heidelberg New York Dordrecht London. 2014. 396 p.
14. Durgaryan I.S., Pashchenko F.F., Pikina G.A., Pashchenko A.F. Information method of consistent identification of objects // Proceedings of the 2013 IEEE 8th Conference on Industrial Electronics and Applications. ICIEA 2013. Pp. 1325-1330.
15. Magdi S. Mahmoud, Fouad M. AL-Sunni Control and Optimization of Distributed Generation Systems. Cham: Springer International Publishing : Imprint: Springer. 2015. 578 p.
16. Rugthaicharoencheep N., Auchariyamet S. Technical and Economic Impacts of Distributed Generation on Distribution System // International Journal of Electrical, Computer, Energetic, Electronic and Communication Engineering Vol:6. No:4. 2012. Pp. 385-389.

UDK 621.311, 621.331

## MODELING EMERGENCY MODE POWER SUPPLY SYSTEM WITH THE INSTALLATION OF DISTRIBUTED GENERATION

**Yury N. Bulatov**

PhD, Associate professor, Bratsk State University  
40, Makarenko St., 665709, Bratsk, e-mail: bulatovyura@yandex.ru

**Andrey V. Kryukov**

Dr., Professor, Irkutsk State Transport University 15, Chernyshevsky St., 664074, Irkutsk, Russia,  
Irkutsk national research technical university, 83, Lermontov St. 83, 664074, Irkutsk, Russia,  
e-mail: and\_kryukov@mail.ru

**Evgeny A. Alekseenko**

The master of the equipment and technology, the East Siberian directorate on power supply of  
Transpower JSC Russian Railway, 664013, Irkutsk, Obraztsov St., 20, e-mail: alev\_ia@mail.ru

**Abstract.** The use of distributed generation (DG) plants, including renewable energy, allows to stabilize voltage levels, reduce losses in networks and to release bandwidth connections. In railroad power supply systems (RPSS) based on DG plants to improve power quality, increase efficiency and continuity of supply to consumers of electricity. However, if the DG is a problem associated with the growth of short-circuit currents due to the appearance of additional energy sources. To solve it requires the development of methods for modeling emergency modes in RPSS and equipped with distributed generation.

The article presents the research results of emergency modes in power systems, caused by short circuits. Modeled by a separate power supply area (PSA) not traction consumers connected to the traction substation by inserting direct current (IDC) and comprising the RG plants: turbogenerator mini combined heat and power; hydrogenerator micro-hydro; wind turbine on the basis of the synchronous machine; wind turbine on the basis of machines DC and solar power.

Simulation results led to the following conclusions: using DG plants increased short-circuit currents, which requires additional verification of switching equipment and change the settings of relay protection for selectivity; DC link can significantly limit the use of short-circuit currents, even in the presence of plants by feeding DG; a two-phase short circuit there is a significant distortion of the sinusoidal curves of currents leaking from the DG sources.

**Keywords:** railroad power supply systems, distributed generation plants, emergency operation.

### References

1. Bulatov Yu.N., Kryukov A.V., Nguyen Van Huan. Opredelenie parametrov prognosticheskikh regulyatorov dlya ustanovok raspredelennoj generacii sistem ehlektrosnabzheniya zheleznih dorog [Determination of parameters of forecasting controllers for distributed generation plants of railway power supply systems] // Systems. Methods. Technologies. No. 2(30). 2016. Pp. 84-91. (in Russian).

2. Bulatov Yu.N., Kryukov A.V., Nguyen Van Huan. Prognosticheskie regulatory dlya ustanovok raspredelennoj generacii [Prognostic regulators for installations of the distributed generation] // Systems. Methods. Technologies. No. 1(29). 2016. Pp. 63-69. (in Russian).
3. Bulatov Yu.N., Kryukov A.V., Tran Duy Hung. Nechetkie regulatory dlya vetrogeneriruyuschih ustanovok [Fuzzy regulators for wind generators] // News of higher education institutions. Power problems. No. 7-8. 2014. Pp. 60-69. (in Russian).
4. Bulatov Yu.N., Kryukov A.V., Tran Duy Hung. Primenenie setevykh klasterov (microgrid) v sistemah `elektrosnabzheniya zheleznih dorog [Network clusters (microgrid) in systems of power supply of the railroads]. Bratsk. 2016. 178 p. (in Russian).
5. Bulatov Yu.N., Kryukov A.V., Tran Duy Hung. Intellektual'nye regulatory dlya ustanovok raspredelennoj generacii [Intelligent regulators for installations of the distributed generation] // Modern technologies. Systems analysis. Simulation. 2015. No. 2(46). Pp. 83-95. (in Russian).
6. Bulatov Yu.N., Kryukov A.V., Tran Duy Hung. Setevye klastery v sistemah `elektrosnabzheniya zheleznih dorog [Network clusters in systems of electrical power supply of the railroads]. Irkutsk. 2015. 205 p. (in Russian).
7. Ignatiev I.V., Bulatov Yu.N. Modeli i metody nastrojki sistem regulirovaniya vozbuzhdeniya generatorov na osnove `eksperimental'nyh dannyh [Models and methods of setting generator excitation control systems on the basis of experimental data]. Bratsk. 2016. 278 p. (in Russian).
8. Kryukov A.V., Tran Duy Hung. Vliyanie ustanovok raspredelennoj generacii na kachestvo `elektro`energii v sistemah `elektrosnabzheniya zheleznih dorog [Influence of installations of the distributed generation on quality of the electric power in systems of electrical power supply of the railroads] // Modern technologies. Systems analysis. Simulation. No. 4(36). 2012. Pp. 162-167. (in Russian).
9. Pikina G.A. Princip upravleniya po prognozu i vozmozhnost' nastrojki sistem regulirovaniya odnim parametrom [Principle of control according to the forecast and a possibility of setup of systems of regulation by one parameter] // New in the Russian power industry. 2014. No. 3. Pp. 5-13. (in Russian).
10. Pikina G.A., Kuznecov M.S. Prognosticheskie tipovye algoritmy regulirovaniya [Application of the linear prognostic algorithms of regulation] // Teploenergetika = Heat power engineering. 2011. №4. Pp. 61-66. (in Russian).
11. Sterninson L.D. Perehodnye processy pri regulirovanii chastoty i moschnosti v `energосistemah [Transient phenomena in case of regulation of frequency and power in power supply systems]. M.: "Energy". 1975. 216 p. (in Russian).
12. Anderson P.M., Fouad A.A. Power System Control and Stability. Second Edition. IEEE Press. 2003. 688 p.
13. Buchholz B.M., Styczynski Z. Smart Grids – Fundamentals and Technologies in Electricity Networks. Springer Heidelberg New York Dordrecht London. 2014. 396 p.
14. Buchholz B.M., Styczynski Z. Smart Grids – Fundamentals and Technologies in Electricity Networks. Springer Heidelberg New York Dordrecht London. 2014. 396 p.
15. Magdi S. Mahmoud, Fouad M. AL-Sunni Control and Optimization of Distributed Generation Systems. Cham: Springer International Publishing. Imprint. Springer. 2015. 578 p.
16. Rugthaicharoencheep N., Auchariyamet S. Technical and Economic Impacts of Distributed Generation on Distribution System // International Journal of Electrical, Computer, Energetic, Electronic and Communication Engineering Vol.6. No.4. 2012. Pp. 385-389.

УДК 621.311 : 004.056

## **ДОСТОВЕРИЗАЦИЯ ДАННЫХ СИНХРОНИЗИРОВАННЫХ ВЕКТОРНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ПРИ КИБЕРАТАКАХ НА СМПР**

**Колосок Ирина Николаевна**

Д.т.н., ведущий научный сотрудник лаборатории «Управление функционированием электроэнергетических систем», e-mail: [kolosok@isem.irk.ru](mailto:kolosok@isem.irk.ru)

**Гурина Людмила Александровна**

К.т.н., доцент, научный сотрудник лаборатории «Управление функционированием электроэнергетических систем», e-mail: [gurina@isem.irk.ru](mailto:gurina@isem.irk.ru)

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

664130 г. Иркутск, ул. Лермонтова 130

**Аннотация.** В статье предложен подход к обработке и достоверизации информационных потоков данных синхронизированных векторных измерений на основе вейвлет-анализа случайных процессов, позволяющий обнаруживать как систематические ошибки и погрешности, так и помехи, злонамеренно созданные в результате кибератак на системы сбора, обработки, передачи измерений и синхронизации времени.

Для этого была рассмотрена структура системы мониторинга переходных режимов, выявлены уязвимые «места» и проанализированы возможные кибератаки. Были смоделированы атаки внедрения ложных данных в информационные потоки синхронизированных векторных измерений, проанализированы вероятностные характеристики искаженных и не подверженных вредоносному воздействию потоков данных, а также проведена достоверизация данных синхронизированных векторных измерений на основе теории вейвлетов.

**Ключевые слова:** система мониторинга переходных режимов, синхронизированные векторные измерения, информационные потоки, достоверность, кибератаки.

**Введение.** В настоящее время развитие электроэнергетики России идет в направлении интеллектуализации ЭЭС, что обуславливает внедрение системы мониторинга переходных режимов (СМПР). При этом вопросы эффективного, надежного функционирования электроэнергетических систем (ЭЭС) не только актуальны, но и усугубляются с появлением новых угроз, связанных с проблемами кибербезопасности. В этой связи, следует отметить повышенную уязвимость информационно-коммуникационной инфраструктуры ЭЭС, частью которой является СМПР. Отсюда становятся важными усовершенствование существующего и разработка нового математического аппарата, обеспечивающего задачи управления и мониторинга ЭЭС информацией требуемого качества при внутренних (например, возникновение низкочастотных колебаний) и внешних (например, кибератаки) воздействиях различной природы.

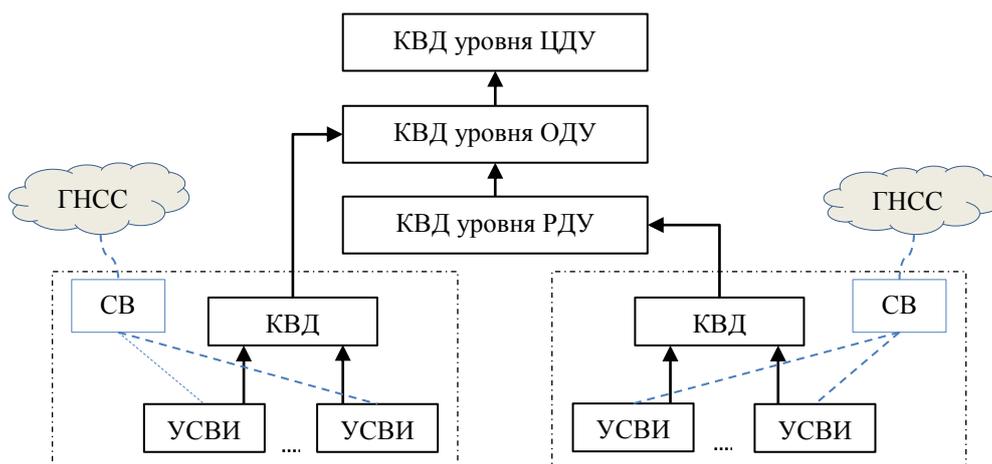
В работе предложен подход к обработке и достоверизации информационных потоков данных синхронизированных векторных измерений (СВИ) на основе вейвлет-анализа

случайных процессов, позволяющий обнаруживать как систематические ошибки и погрешности, так и помехи [4], злонамеренно созданные в результате кибератак на системы сбора, обработки, передачи измерений и синхронизации времени.

Для этого была рассмотрена структура СМПР, выявлены уязвимые «места» и проанализированы возможные кибератаки. Были смоделированы атаки внедрения ложных данных в информационные потоки СВИ, получены и проанализированы вероятностные характеристики искаженных и не подверженных вредоносному воздействию потоков данных, а также проведена достоверизация данных СВИ на основе теории вейвлетов.

## 1. Кибербезопасность СМПР.

**1.1. Структура СМПР.** СМПР представляет собой совокупность регистраторов СВИ, концентраторов векторных данных (КВД), каналов передачи информации между регистраторами, концентраторами данных и диспетчерскими центрами ОАО «СО ЕЭС», а также средств обработки полученной информации. Синхронизация измерений СМПР осуществляется при помощи глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС) GPS/ГЛОНАСС. Прием сигналов от ГНСС ведется сервером времени (СВ), предназначенным для формирования сигналов точного времени и дальнейшей синхронизации устройств СВИ (УСВИ). Обобщенная иерархическая структура СМПР представлена на рис. 1.



**Рис. 1.** Иерархическая структура СМПР

Устройства СВИ измеряют модули и фазы узловых напряжений и токов в линиях, инцидентных этим узлам. КВД осуществляет сбор, фильтрацию, обработку и ретрансляцию данных. Кроме этого, КВД может модифицировать, архивировать и объединять эти данные.

В [2] описаны следующие функциональные компоненты концептуальной модели СМПР: подсистема синхронизации времени, измерительная подсистема, подсистема передачи данных, подсистема обработки данных, которые будут рассмотрены в следующем подразделе для выявления мест, уязвимых к кибератакам.

**1.2. Возможные кибератаки на СМПР.** Анализ кибератак [7-10] показал наиболее возможные из них на СМПР.

**Разведывательные атаки** позволяют злоумышленнику определить слабые места и потенциальные цели в архитектуре СМПР. В подсистеме измерения и обработки данных целью этих атак может быть определение IP-адресов подключенных УСВИ и КВД. Такая

информация может быть использована для проведения будущих атак на СМПП. В подсистеме передачи данных могут производиться сканирование сети, протоколов передачи сети, анализ сетевого трафика.

**Атаки внедрения ложных данных** направлены на нарушение целостности, доступности и достоверности данных или же работоспособности системы. Такие атаки могут быть реализованы внедрением ложных данных в УСВИ, КВД или в команды. Они могут быть направлены против одного или нескольких УСВИ, а также против КВД, который принимает потоки синхронизированных данных от нескольких УСВИ и формирует единый поток вывода. Это делает КВД идеальной мишенью для вторжения, чтобы затем манипулировать большим количеством синхронизированных измерений.

**Атаки отказа в обслуживании (DoS).** Отказ в обслуживании может прекратить передачу измерений УСВИ в управляющие центры, передачу управляющих воздействий или и то, и другое. DoS атака может сгенерировать избыточные данные, что переполнит трафик и приведет к исчерпанию ресурсов важнейшей коммуникационной линии или маршрутизатора. В этом случае измерения могут испытывать длительную коммуникационную задержку или даже сбрасываться маршрутизатором. Кроме этого, при осуществлении атаки отказа в обслуживании может прекратиться работа УСВИ, КВД и супер-КВД. Для системы СМПП – это потеря наблюдаемости системы.

Ряд кибератак может быть направлен на подсистему синхронизации времени:

- **Спуфинг-атаки.** Спуфинг-атаки направлены на системы синхронизации ГНСС, с помощью которых злоумышленник синтезирует и передает подделанные GPS-сигналы.

- **Атаки повторного производства.** Атакующий записывает подлинные сигналы GPS и ретранслирует их с задержкой времени в качестве искаженных сигналов, т.е. происходит искажение информации прямой ретрансляции.

- **Создание помех.** Атакующим передается сигнал помехи высокой мощности в полосе частот GPS для того, чтобы вблизи GPS прекратить прием и слежение сигналов GPS. В [3] отмечена низкая помехоустойчивость систем синхронизации ГНСС к помехам, которые можно принять за реальные сигналы.

При их реализации наиболее уязвимой становится надежность подсистемы синхронизации времени, что чревато потерей синхронизации, принудительным отклонением фазы измерения. Как показано в [3], аппаратура ГЛОНАСС является крайне чувствительной к воздействию помех, при этом возможно смещение системного времени в устройствах УСВИ, что приведет к некорректным действиям персонала и даже отключению отдельных элементов или аварийному делению сети.

**2. Вейвлет-анализ данных СВИ для проверки их достоверности.** При наличии недостоверных данных, появившихся в результате кибератак, измерения параметров режима  $\bar{y}$  предлагается описывать следующей моделью

$$\bar{y}(t) = y(t) + \xi_y(t) + a(t), \quad (1)$$

где  $y(t)$  - поток истинных значений измеряемых параметров;  $\xi_y(t)$  - вектор шума измерений, имеющий нормальное распределение  $\xi_y \rightarrow (0, \sigma_y^2)$  с нулевым математическим ожиданием и дисперсией  $\sigma_y^2$ , характеризующей точность измерений;  $a(t)$  - кибератака.

Для обработки данных СВИ предлагается использовать вейвлет-преобразования, возможности которого позволяют выявлять различия в характеристиках измерений на различных частотах и анализировать свойства сигналов в различных точках на всем временном интервале благодаря таким важным свойствам вейвлетов, как подвижное частотно-временное окно и локальности.

Вейвлет-анализ информационных потоков состоит из прямого вейвлет-преобразования (ПВП) и обратного вейвлет-преобразования (ОВП). ПВП состоит в разложении сигнала на аппроксимирующие коэффициенты  $A = \{A_k\}$ , представляющие собой сглаженный процесс, и детализирующие коэффициенты  $D = \{D_k\}$ , описывающие колебания, с последующим их уточнением итерационным методом, как во временной, так и в частотной областях. Причем шумовая составляющая отражается в детализирующих коэффициентах. ОВП реконструирует сигнал на основе аппроксимирующих и детализирующих коэффициентов. Каждому вейвлету соответствуют четыре фильтра:

- низкочастотный фильтр разложения (НЧФР) для получения сглаженной составляющей;
- высокочастотный фильтр разложения (ВЧФР) для получения  $D = \{D_k\}$ ;
- низкочастотный фильтр восстановления (НЧФВ);
- высокочастотный фильтр восстановления (ВЧФВ).

В основе вейвлет-преобразования лежит использование двух непрерывных и интегрируемых функций:

- вейвлет-функции  $\psi(t)$ , причем  $\int_{-\infty}^{+\infty} \psi(t) dt = 0$ ;
- масштабирующей функции  $\varphi(t)$  с единичным значением интеграла  $\int_{-\infty}^{+\infty} \varphi(t) dt$ .

Функция  $\psi(t)$  определяет детали процесса и порождает детализирующие коэффициенты, а функция  $\varphi(t)$  определяет аппроксимацию процесса и порождает ее коэффициенты. Первая функция создается на основе той или иной базисной функции  $\psi_0(t)$ , определяющей тип вейвлета и обеспечивающей выполнение двух основных операций:

- смещение по оси времени  $t - \psi_0(t - d)$ ,  $d \in R$ ;
- масштабирование -  $c^{-1/2} \psi_0\left(\frac{t}{c}\right)$ ,  $c > 0$ .

Параметр  $c$  задает ширину этого пакета, а  $d$  - его положение.

Отсюда функция  $\psi(t)$  описывается как

$$\psi(t) = \psi(c, d, t) = c^{-1/2} \psi_0\left(\frac{t-d}{c}\right).$$

Прямое непрерывное вейвлет-преобразование процесса изменения параметра  $y(t)$  задается путем вычисления вейвлет-коэффициентов, определяемых интегральным значением произведения процесса на вейвлет-функцию заданного вида

$$F(c, d) = \int_R y(t) c^{-1/2} \psi\left(\frac{t-d}{c}\right) dt.$$

Для восстановления полной формы процесса используют функцию  $\varphi(t)$  [1].

Следующим этапом анализа процессов изменения параметров режима, является обратное непрерывное вейвлет-преобразование, заключающееся в восстановлении функции  $y(t)$  по коэффициентам разложения.

В условиях различной степени недостоверности информации применение вейвлетов для ее достоверизации становится важным инструментом для удаления шумов и грубых ошибок [5, 6]. Для этого можно применить пороговую обработку, при которой значения детализирующих коэффициентов, меньших некоторого заданного уровня, обращаются в нуль. В данном случае оценивается спектральный состав случайного шума, выбирается тип пороговой обработки и критерий расчета самого порога, который при наименьшем смещении восстановленного процесса обеспечивает наибольшее значение отношения процесс/шум. При этом детализирующие вейвлет-коэффициенты могут вести себя как система фильтров высоких частот, а аппроксимирующие коэффициенты как система фильтров низких частот.

Проверка достоверности данных СВИ при помощи вейвлет-анализа производится по схеме, представленной на рис. 2.

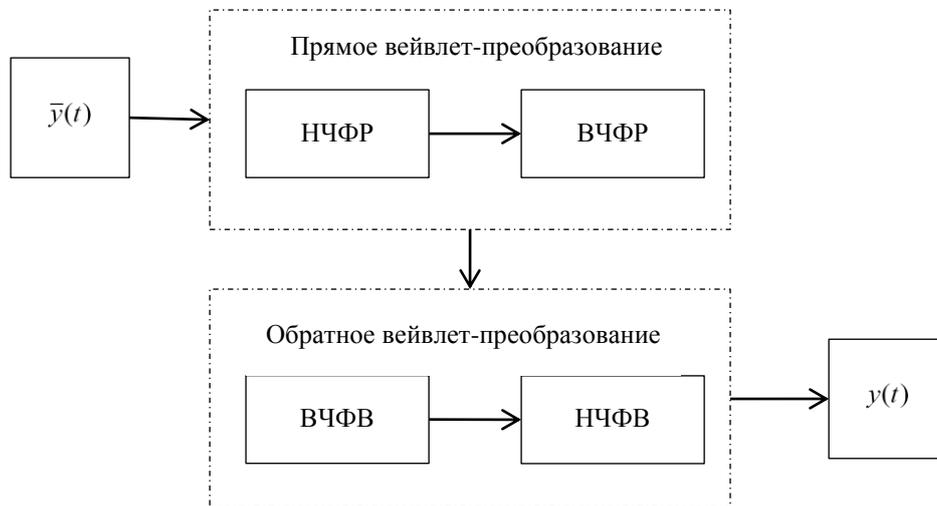


Рис. 2. Алгоритм достоверизации данных СВИ с помощью вейвлет-анализа

**3. Идентификация кибератак на данные СМПР.** В качестве примера кибератаки на СМПР нами рассмотрены кибератаки внедрения ложных данных [7]. Вектор атаки  $a$  в (1) может иметь любой характер (скрытая, открытая, целевая, одномерная и т.д.) и содержание (дополнительный шум или помехи  $\xi_a$ , дополнительные ошибки  $b = (0, b_2, 0, b_3, \dots, 0, \dots, b_i, \dots, b_m)$ ,  $m \leq n$ , созданные в подсистемах измерения, обработки или передачи данных). Поэтому наряду с традиционными методами достоверизации измерений предлагается использовать вейвлет-анализ.

Применение вейвлет-анализа информационных потоков при идентификации кибератак на данные СВИ было реализовано в пакете Matlab. Для моделирования кибератаки на данные СВИ и ее идентификации была рассмотрена трехузловая схема участка электрической сети (рис. 3). На основе вейвлет-преобразований был проведен анализ измерений модуля напряжения и тока фазы  $A$  для каждого узла (число измерений каждого параметра режима  $n = 30000$  с интервалом дискретизации  $\Delta t = 20$  мс) согласно алгоритму

достоверизации, описанному в предыдущем разделе. Выявлено, что измерения не содержат грубых ошибок.

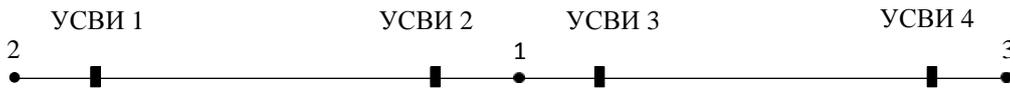


Рис. 3. Фрагмент схемы электрической сети

Далее была взята выборка измерений модуля напряжений в узле 1 ( $n=3000$  с интервалом дискретизации  $\Delta t=20$  мс, рис. 4.а) и сгенерированы следующие атаки внедрения ложных данных в эти измерения:

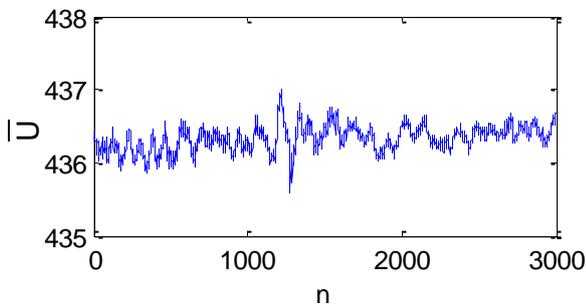
КА1 – дополнительный шум  $a(t) = \xi_{КА1}(t) \rightarrow N(0, \sigma_a^2)$ ,  $\sigma_a^2 > \sigma_y^2$ . При этом (1) представляется как

$$\bar{y}_{КА1} = y(t) + \xi_y(t) + \xi_{КА1}(t). \quad (2)$$

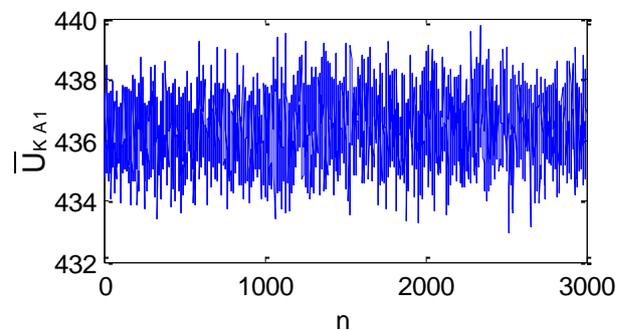
КА2 – дополнительные ошибки  $a(t) = b_{КА2}$ . Соответственно, (1) имеет вид

$$\bar{y}_{КА2} = y(t) + \xi_y(t) + b_{КА2}(t). \quad (3)$$

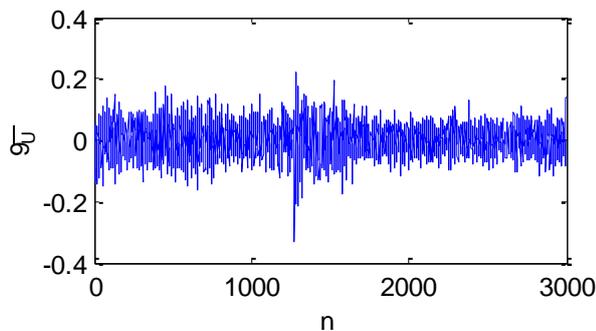
При достоверизации потоков данных проведены вейвлет-анализ потока измерений напряжения  $\bar{U}_{КА1}$  (рис. 4.б), фильтрация реализаций измерений от шумов  $\xi_{\bar{U}} = \xi_y$  и  $\xi_{a1} = \xi_{\bar{U}} + \xi_{КА1}$  (ПВП, рис. 4.в, 4.г) и их восстановление (ОВП, рис 4.д, 4.е).



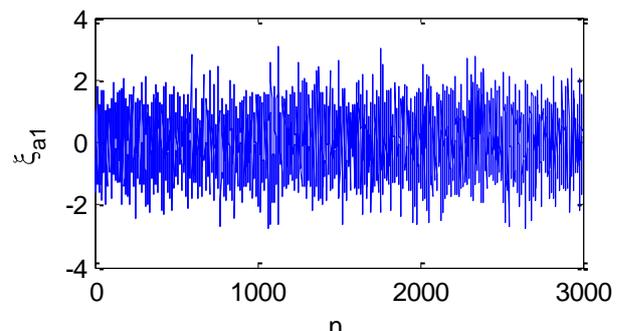
а) измерение напряжения  $\bar{U}$ , кВ



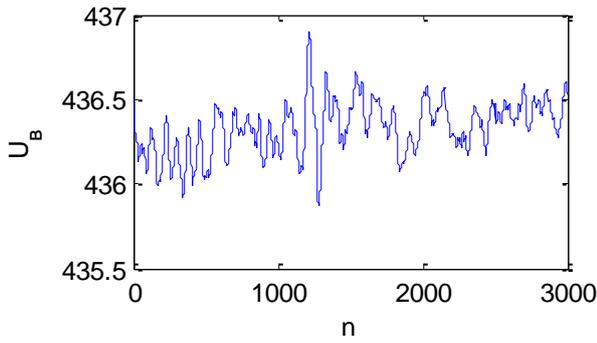
б) измерение напряжения  $\bar{U}_{КА1}$ , кВ



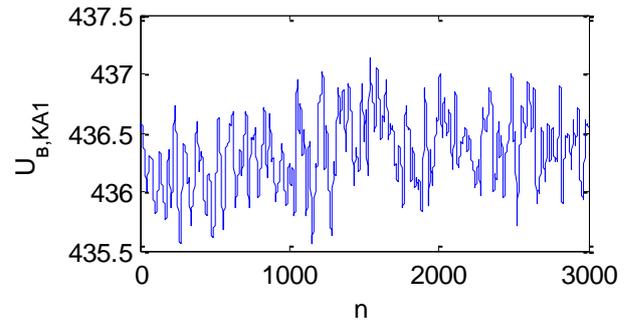
в) шум измерения,  $\xi_{\bar{U}}$



г) шум измерения при КА1,  $\xi_{a1}$



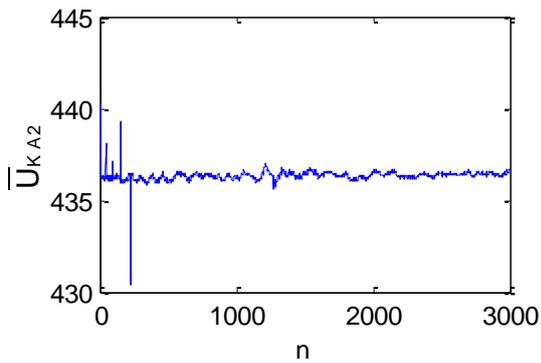
д) восстановленное напряжение  $U_B$ , кВ



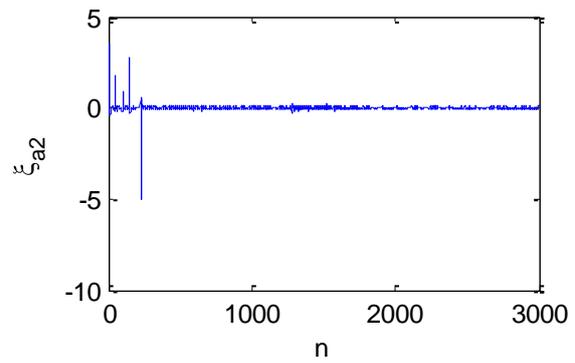
е) восстановленное напряжение  $U_{B,KA1}$ , кВ

**Рис. 4.** Кибератака внедрения ложных данных KA1

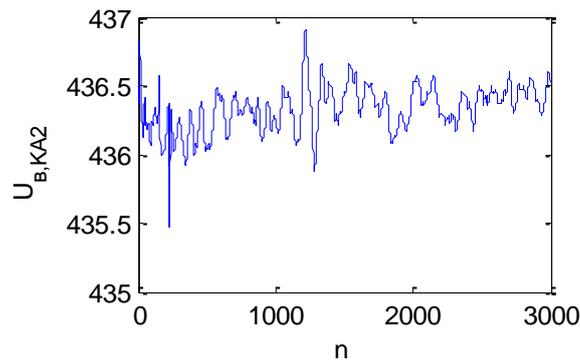
Затем, был исследован поток измерений напряжения  $\bar{U}_{KA2}$ , полученный в результате кибератаки KA2 (рис. 5.а). Применение вейвлет-анализа позволило выделить составляющую  $\xi_{a2} = \xi_{\bar{U}} + b_{KA2}$  (рис. 5.б), отфильтровать ложные данные (ПВП) и восстановить поток измерений напряжения  $U_{B,KA2}$ .



а) измерение напряжения  $\bar{U}_{KA2}$ , кВ



б) шум измерения при KA2,  $\xi_{a2}$



в) восстановленное напряжение  $U_{B,KA2}$ , кВ

**Рис. 5.** Кибератака внедрения ложных данных KA2

Анализ интегральных характеристик полученных потоков измерений (табл. 1) показывает целесообразность применения предложенного подхода для обнаружения и устранения ложных данных в измерениях, вызванных кибератаками.

**Таблица 1.** Сравнительный анализ интегральных характеристик исходных данных и при кибератаках, полученных в результате достоверизации СВИ

	$U_{\sigma}$ , кВ	$U_{\sigma, KA1}$ , кВ	$\xi_{\bar{U}}$	$\xi_{a1}$	$\bar{U}_{KA2}$ , кВ	$U_{\sigma, KA2}$ , кВ
Математическое ожидание, $m$	436,3	436,3	$1,841 \cdot 10^{-13}$	$1,795 \cdot 10^{-13}$	436,3	436,3
Среднее квадратическое отклонение, $\sigma$	0,1593	0,3058	0,04919	0,9056	0,2234	0,1622
Минимальное значение, $\min$	435,9	435,6	-0,3335	-2,75	430,4	435,5
Максимальное значение, $\max$	436,9	437,1	0,2226	3,06	440,3	436,9

**Заключение.** В статье рассмотрена структура СМПР, функциональное предназначение ее компонент для выявления уязвимостей при различных кибератаках. Показаны возможности применения вейвлет-анализа данных СВИ при реализации кибератак, влияющих на достоверность информационных потоков. Представленные результаты моделирования кибератак внедрения ложных данных и обработки реальных измерений УСВИ подтвердили эффективность применения предложенного алгоритма достоверизации режимной информации, применение которого может быть полезным при решении задач управления и мониторинга ЭЭС.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дьяконов В.П. Вейвлеты. От теории к практике. Изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: СОЛОН-Пресс. 2004.
2. Иванов Ю.В., Черепов А.С., Дубинин Д.М. Системный анализ архитектуры построения и свойств компонентов системы мониторинга переходных режимов // Тр. 5 Международной научно-практической конференции «Современные направления развития систем релейной защиты и автоматики энергосистем» (1-5 июня 2015, Сочи).
3. Нудельман Г.С., Оганесян А.А. О защите систем синхронизации, использующих сигналы ГЛОНАСС/GPS от воздействия интеллектуальных помех // Тр. XXII конференции «Релейная защита и автоматика энергосистем» (27-29 мая 2014, Москва). С. 427-431.
4. Савина Н.В., Гурина Л.А. Вейвлет-технологии и нечеткое моделирование в интеллектуальных электрических сетях // Тр. шестой всерос. научно – технической конференции с международным участием «Энергетика: управление, качество и эффективность использования энергоресурсов» (25-27 мая 2011, Благовещенск). Т.1. С. 79-83.
5. Савина Н.В., Гурина Л.А., Мясоедов Ю.В. Возможности вейвлет-анализа при диспетчерском и технологическом управлении энергообъектами // Доклады всероссийской конференции «Энергетика России в XXI веке: развитие, функционирование, управление» (12-15 сентября Иркутск, 2005). С. 635-642.

6. Савина Н.В., Гурина Л.А. Особенности моделирования режимных параметров энергосистем при низком качестве информационных потоков // Тр. четвертой всерос. науч.-техн. конф. с международным участием «Энергетика: управление, качество и эффективность использования энергоресурсов» (5-7 октября 2005, Благовещенск). С. 43-48.
  7. Yao Liu, Peng Ning, Michael K. Reiter False Data Injection Attacks against State Estimation in Electric Power Grids // CCS'09 Proceedings (9-13 November 2009, Chicago, Illinois, USA). P. 21-32.
  8. Kebina Manandhar, Xiaojun Cao, Yao Liu Detection of Faults and Attacks Including False Data Injection Attacks in Smart Grid Using Kalman Filter // IEEE Transactions of Control of Network Systems. Vol. 1, No 4, December 2014. Pp. 370-379.
  9. Liang Heng, Jonathan J. Makela, Alejandro D. Domínguez-García, Rakesh B. Bobba, William H. Sanders, and Grace Xingxin Gao Reliable GPS-Based Timing for Power Systems: A Multi-Layered Multi-Receiver Architecture // 2014 Power and Energy Conference at Illinois (PECI) Proceedings. Pp. 1-7.
  10. Mohd Rihan, Mukhtar Ahmad, M. Salim Beg Vulnerability Analysis of Wide Area Measurement System in the Smart Grid // Smart Grid and Renewable Energy [Online] (Sep. 2013). Pp. 1-7. Available: <http://www.scirp.org/journal/sigre>.
  11. T.H. Morris, P. Shengyi, U. Adhikari Cyber Security Recommendations for Wide Area Monitoring, Protection and Control Systems // IEEE Power and Energy Society General Meeting Proceedings (22-26 July 2012). Pp. 1-6.
- 

**UDK 621.311 : 004.056**

**DATA VERIFICATION FOR SYNCHRONIZED PHASOR MEASUREMENT  
IN CYBER ATTACKS ON WAMS**

**Irina N. Kolosok**

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

e-mail: [kolosok@isem.irk.ru](mailto:kolosok@isem.irk.ru)

**Liudmila A. Gurina**

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

e-mail: [gurina@isem.irk.ru](mailto:gurina@isem.irk.ru)

Melentiev Energy Systems Institute

Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences

130, Lermontov Str., 664033, Irkutsk, Russia

**Abstract.** This paper proposes an approach to processing and verification of PMU data streams. The approach combines a wavelet analysis and a theory of random processes, and makes it possible to detect both systematic errors and bad data, and malicious noise disturbances caused by cyberattacks on the systems for collection, processing, and transfer of measurements, and the time synchronization systems.

To this end, we considered a WAMS structure, revealed vulnerable “points”, and analyzed potential cyberattacks. Also, false data injections into the phasor measurement streams were simulated and probabilistic characteristics of corrupted data streams and those not affected by the malicious attacks were analyzed, and phasor measurement data were validated on the basis of the wavelet transform.

**Key words:** WAMS, synchronized phasor measurement, information flows, validity, cyberattacks.

### References

1. Diakonov V.P. *Vejvlety. Ot teorii k praktike. Izd. 2-e, pererab. i dop.* [Wavelets. From theory to practice] M.: SOLON-Press, 2004. 400 p. (in Russian).
2. Ivanov Ju.V., Cherepov A.S., Dubinin D.M. *Sistemnyj analiz arhitektury postroenija i svojstv komponentov sistemy monitoringa perehodnyh rezhimov* [System analysis of the architecture of construction and properties of components of the Wide Area Measurement System] // Tr. 5 Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii “Sovremennye napravlenija razvitija sistem relejnoj zashhity i avtomatiki jenergosistem» (1-5 ijunja 2015, Sochi). = 5<sup>th</sup> International Scientific and Technical Conference “Actual Trends in Development of Power System relay Protection and Automation”: Proceedings. (1-5 June 2015, Sochi). (in Russian).
3. Nudel'man G.S., Ogenesjan A.A. *O zashhite sistem sinhronizacii, ispol'zujushhijh signaly GLONASS/GPS ot vozdejstvija intellektual'nyh pomeh* [On the protection of synchronization systems using GLONASS / GPS signals from the effects of intellectual disturbance] // Tr. HHII konferencii “Relejnaja zashhita i avtomatika jenergosistem” (27-29 maja 2014, Moskva). = The 22<sup>nd</sup> Conference “Relay Protection and Automation for Electric Power Systems”: Proceedings. (27-29 May 2014, Moscow). Pp. 427-431. (in Russian).
4. Savina N.V., Gurina L.A. *Vejvlet-tehnologii i nechetkoe modelirovanie v intellektual'nyh jelektricheskijh setjah* [Wavelet technologies and fuzzy modeling in Smart Grid] // Tr. shestoj vseros. nauchno – tehničeskoj konferencii s mezhdunarodnym uchastiem «Jenergetika: upravlenie, kachestvo i jeffektivnost' ispol'zovanija jenergoresursov» (25-27 maja 2011, Blagoveshhensk). = 6<sup>th</sup> all-Russian scientific and technical conference with international participation “Energy: control, quality and efficiency of energy resources use”: Proceedings. (25-27 May 2011, Blagoveshhensk). Vol. 1. Pp. 79-83. (in Russian).
5. Savina N.V., Gurina L.A., Mjasoedov Ju.V. *Vozmozhnosti vejvlet-analiza pri dispetcherskom i tehnologičeskom upravlenii jenergoobiekтами* [Wavelet analysis capabilities for dispatching and technological control of power facilities] // Doklady vsersijskoj konferencii «Jenergetika Rossii v XXI veke: razvitie, funkcionirovanie, upravlenie» (12-15 sentjabrja Irkutsk, 2005). = Energy of Russia in the 21st century: Development, operation, control: Proceedings. (12-15 September 2005, Irkutsk). Pp. 635-642. (in Russian).
6. Savina N.V., Gurina L.A. *Osobennosti modelirovanija rezhimnyh parametrov jenergosistem pri nizkom kachestve informacionnyh potokov* [Features of modeling of regime parameters of power systems at low quality of information flows] // Tr. četvertoj vseros. nauch.-tehn. konf. s mezhdunarodnym uchastiem «Jenergetika: upravlenie, kachestvo i jeffektivnost' ispol'zovanija jenergoresursov» (5-7 oktjabrja 2005, Blagoveshhensk). = 4<sup>th</sup> all-Russian scientific and technical conference with international participation “Energy: control, quality

- and efficiency of energy resources use”: Proceedings. (5-7 October 2005, Blagoveshchensk). Pp. 43-48. (in Russian).
7. Yao Liu, Peng Ning, Michael K. Reiter False Data Injection Attacks against State Estimation in Electric Power Grids // CCS'09 Proceedings (9-13 November 2009, Chicago, Illinois, USA). Pp. 21-32.
  8. Kebina Manandhar, Xiaojun Cao, Yao Liu Detection of Faults and Attacks Including False Data Injection Attacks in Smart Grid Using Kalman Filter // IEEE Transactions of Control of Network Systems. Vol. 1, No 4, December 2014. Pp. 370-379.
  9. Liang Heng, Jonathan J. Makela, Alejandro D. Domínguez-García, Rakesh B. Bobba, William H. Sanders, and Grace Xingxin Gao Reliable GPS-Based Timing for Power Systems: A Multi-Layered Multi-Receiver Architecture // 2014 Power and Energy Conference at Illinois (PECI) Proceedings. Pp. 1-7.
  10. Mohd Rihan, Mukhtar Ahmad, M. Salim Beg Vulnerability Analysis of Wide Area Measurement System in the Smart Grid // Smart Grid and Renewable Energy [Online] (Sep. 2013). Pp. 1-7. Available: <http://www.scirp.org/journal/sigre>.
  11. T.H. Morris, P. Shengyi, U. Adhikari Cyber Security Recommendations for Wide Area Monitoring, Protection and Control Systems // IEEE Power and Energy Society General Meeting Proceedings (22-26 July 2012). Pp. 1-6.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОДОЛЬНЫХ КОЛЕБАНИЙ УПРУГОЙ ПЛАСТИНЫ С ПЛЕНКОЙ ИЗ «МЯГКОГО» МАТЕРИАЛА

**Симонов Валерий Николаевич**

к.т.н., доцент, e-mail: [simonov.valer@yandex.ru](mailto:simonov.valer@yandex.ru)

**Лошманов Леонид Павлович**

к.т.н., доцент

**Гольцев Владимир Юрьевич**

к.т.н., доцент

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» (государственный, Министерство образования и науки Российской Федерации), кафедра «Физики прочности», 115409, г. Москва, Каширское ш., 31

**Аннотация.** В связи с бурным развитием нанотехнологии в биохимии и биомедицине весьма актуально создание сенсорной техники для этих отраслей. Оптимальное конструирование таких устройств невозможно без математического моделирования происходящих в них явлений и процессов. В данной работе приводится вывод математической модели низкочастотного кварцевкristаллического сенсора концентрации паров и газов в различных средах. Основой таких сенсоров являются пленки из т.н. «мягких» материалов – полимеров, гелей и жидкостей. Модель разработана с применением методов классической теории колебаний. Получены аналитические выражения, связывающие резонансную частоту и добротность колебательной системы «упругая пластина - вязкоупругая пленка» с геометрическими размерами и комплексными модулями упругости пластины и пленки. Корректность модели иллюстрируется результатами экспериментальной проверки.

**Ключевые слова:** кристаллический кварц, резонатор, мягкие пленки, вязкоупругие пленки, QCM, QCN, QCM-D.

**Введение.** Одной из интересных современных технологий в области измерения параметров тонких и сверхтонких пленок является технология кварцевкristаллического микро- и нановзвешивания (QCM, QCN), поскольку она позволяет отслеживать сверхмалые изменения массы пленки, например, при химической или биохимической реакции. Кроме того, эта технология позволяет контролировать механические свойства контактирующего с кварцевым резонатором материала, не только твердого и упругого, но вязкого, вязкоупругого и даже жидкого (QCM-D) [2 - 4].

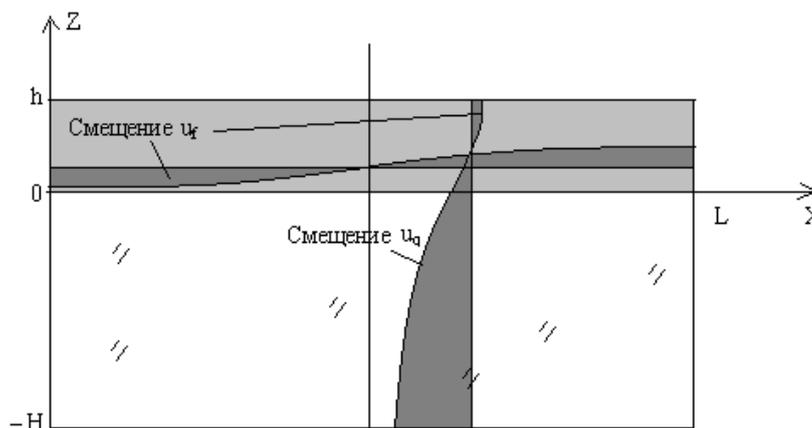
QCM и QCM-D приборы используют кварцевые резонаторы толщинно-сдвиговых мод колебаний (TSM), имеющих, как правило, частоту выше 5 МГц. При этом в биологических, органических и полимерных пленках, организуемых на поверхности таких резонаторов, на таких частотах могут возникать резонансы, что обусловлено низкой величиной модуля упругости перечисленных материалов. В результате зависимости параметров резонатора от массы и механических свойств пленки становятся немонотонными, что приводит к сильному искажению информации. Для работы с пленками, имеющими низкие значения модулей

упругости необходимо снижать рабочую частоту резонатора, что в случае использования TSM резонаторов невозможно в силу различных физических и технических причин. Это обстоятельство ограничивает применение кварцевых микровесов.

В работе [1] описано устройство для исследования многокомпонентных жидкостей с использованием кварцевого резонатора в виде пластины (бруска), совершающего продольные по длине колебания. На одну из больших граней пластины в область, свободную от электродов, наносится пленка исследуемого жидкого раствора. Регистрация динамики импеданса резонатора позволила авторам получить количественные различия между исследуемой и «эталонной» жидкостями в процессе их высыхания. Однако какая-либо информация, позволяющая определить физико-механические свойства материала пленки такого резонатора в этой статье, как и других статьях этих авторов, не содержится.

Частота упомянутого резонатора продольных колебаний лежит в диапазоне (50 – 100) кГц. Это значит, что его использование может позволить работу с пленками, имеющими модуль упругости на порядок ниже, чем в случае TSM резонаторов. Для этого необходимо иметь математическую теорию подобного сенсора. Однако такой теории пока не существовало. Данная работа имеет целью устранить этот пробел.

**1. Теория.** Вид резонатора с пленкой из вязко-упругого материала в разрезе и распределение смещений в теле бруска и пленки схематично изображены на рис. 1.



**Рис. 1.** Связанные колебания растяжения-сжатия вдоль оси X и сдвига по толщине вдоль оси Z

Рассмотрим колебания такой системы. Под действием переменного электрического поля брусок кварцевого резонатора совершает колебания растяжения-сжатия вдоль оси X. В отсутствие пленки колебательное смещение в пластине  $u_q$  не зависит от координаты Z и постоянно вдоль толщины бруска. При наличии пленки колебание проникает в неё, что из-за различий в акустических свойствах приводит к неоднородному распределению колебаний вдоль Z как в пленке, так и в пластине. Примем следующие допущения. Функции смещения в пластине и пленке зависят только от координат  $x, z$  и от времени  $t$ . Материал бруска резонатора – кристаллический кварц – имеет идеально упругие свойства, а материал пленки обладает вязкоупругими свойствами. Тогда колебательные смещения в пленке  $u_f(x, z, t)$  и вне пленки  $u_q(x, z, t)$  описываются схожими уравнениями:

$$c_{11} \frac{\partial^2 u_q}{\partial x^2} + c_{55} \frac{\partial^2 u_q}{\partial z^2} = \rho \frac{\partial^2 u_q}{\partial t^2} \quad (1)$$

$$E \frac{\partial^2 u_f}{\partial x^2} + G \frac{\partial^2 u_f}{\partial z^2} = \rho' \frac{\partial^2 u_f}{\partial t^2} \quad (2)$$

где  $c_{11}$ ,  $c_{55}$  – модули упругости кристаллического кварца,  $\rho$  и  $\rho'$  – соответственно плотности кварца и пленки,  $G = G' + jG''$  – комплексный модуль сдвига пленки.

Используя принцип разделения переменных и находя решение в виде линейных комбинаций тригонометрических функций, представим смещения в следующем виде:

$$u_q(x, z, t) = (A_q \sin k_x x + B_q \cos k_x x + C_q \sin k_z z + D_q \cos k_z z) \exp(j\omega t) \quad (3)$$

$$u_f(x, z, t) = (A_f \sin \gamma_x x + B_f \cos \gamma_x x + C_f \sin \gamma_z z + D_f \cos \gamma_z z) \exp(j\omega t) \quad (4)$$

где  $A_q, B_q, C_q, D_q, A_f, B_f, C_f, D_f$  – коэффициенты,  $k_x$  и  $k_z$  – постоянные распространения колебаний в пластине,  $\gamma_x$  и  $\gamma_z$  – постоянные распространения колебаний в пленке,  $\omega$  – циклическая частота.

Подставляя (3) в (1), а (4) в (2), после дифференцирования получаем дисперсионные уравнения:

$$c_{11}k_x^2 + c_{55}k_z^2 = \rho\omega^2 \quad (5)$$

$$E\gamma_x^2 + G\gamma_z^2 = \rho'\omega^2 \quad (6)$$

Граничные условия имеют вид:

На свободных краях бруска и пленки напряжения растяжения-сжатия равны нулю:

$$c_{11} \frac{\partial u_q}{\partial x} = 0, \text{ при } x = 0 \text{ и } x = L, \quad (7)$$

$$E \frac{\partial u_f}{\partial x} = 0 \text{ при } x = 0 \text{ и } x = L \quad (8)$$

На свободных поверхностях пластины и пленки сдвиговые напряжения равны нулю:

$$c_{55} \frac{\partial u_q}{\partial z} = 0, \text{ при } z = 0 \text{ и } z = -H \quad (8)$$

$$G \frac{\partial u_f}{\partial z} = 0 \text{ при } z = h \quad (9)$$

На поверхности раздела сред смещения и напряжения равны (возможным «проскальзыванием» смещения на границе пренебрегаем):

$$u_q = u_f \text{ при } z = 0 \quad (10)$$

$$c_{55} \frac{\partial u_q}{\partial z} = G \frac{\partial u_f}{\partial z} \text{ при } z = 0 \quad (11)$$

Подставляя (3), (4) в граничные условия (7)-(11) и приравняв к нулю определитель полученной однородной системы линейных уравнений, получаем уравнение, упростив которое, находим постоянные распространения  $k_x, \gamma_x$  и уравнение связи между постоянными распространения  $k_z$  и  $\gamma_z$ :

$$k_x = \gamma_x = \pi n/L, \text{ где } n \text{ – номер гармоники резонатора} \quad (12)$$

$$c_{55}k_z \operatorname{tg} k_z H = -G\gamma_z \operatorname{tg}(\gamma_z h) \quad (13)$$

Поделив уравнение (5) на  $\rho$ , уравнение (6) на  $\rho'$  и подставляя в эти уравнения  $k_x$  и  $\gamma_x$  из (12), после преобразований получаем:

$$\omega_{qn}^2 + \frac{c_{55}k_z^2}{\rho} = \omega^2 \quad (14)$$

$$\omega_{fn}^2 + \frac{G\gamma_z^2}{\rho'} = \omega^2, \quad (15)$$

где  $\omega_{qn} = \pi(c_{11} / \rho)^{1/2} n/L$  – циклическая частота  $n$ -ой гармоники колебаний растяжения-сжатия стержня без пленки,  $\omega_{fn} = \pi(E / \rho')^{1/2} n/L$  – циклическая частота  $n$ -ой гармоники

колебаний растяжения-сжатия гипотетического стержня из материала пленки длиной  $L$ , не связанной механически с кварцевой пластиной.

Обе частоты  $\omega_{qn}$  и  $\omega_{fn}$  могут быть вычислены, поскольку зависят от констант материалов и размеров бруска с пленкой.

В результате мы получили систему из трех уравнений (13) - (16) относительно трех неизвестных: двух постоянных распространения  $k_z, \gamma_z$  и частоты  $\omega$ .

Эти уравнения можно упростить, если учесть, что длина кварцевого бруска на два порядка превышает его толщину, поэтому частота колебаний растяжения-сжатия  $\omega_{qn}$  во много раз меньше частоты первой гармоники сдвиговых колебаний по толщине бруска и  $k_z H \ll 1$ . Тогда  $tg k_z H \approx k_z H$  и из (13) получаем

$$k_z^2 = -G\gamma_{zn}tg(\gamma_z h)/c_{55}H \quad (16)$$

Теперь, подставив  $k_z^2$  из (16) в (14), поделив (14) и (15) на  $\omega_{qn}^2$ , после преобразований с учетом того, что  $\omega^2/\omega_{qn}^2 - 1 = (\omega/\omega_{qn} - 1)(\omega/\omega_{qn} + 1) \approx 2(\omega/\omega_{qn} - 1) = 2\delta f_n$ , где  $\delta f_n = (\omega - \omega_{qn})/\omega_{qn} = (f - f_n)/f_n$  - относительное изменение комплексной частоты, получаем:

$$\delta f_n = 0,5 K - R tg(\gamma_z h)/\gamma_z h, \quad (17)$$

где  $R = \frac{\rho' h}{\rho H}$  - массонагрузка,  $K = \frac{Eh}{c_{11}H}$  - эластонагрузка,

$$\gamma_z = \omega_{qn} \sqrt{\rho'(1 - K/R)/G}, \quad (18)$$

Здесь и далее в общем случае  $\delta f$  является комплексной величиной:

$$\delta f_n = \Delta f_n + j\Gamma_n/2, \quad (19)$$

где  $\Delta f_n = (f - f_{0n})/f_{0n}$ , - относительное изменение собственно частоты  $f$  колебаний резонатора с пленкой по сравнению с частотой  $f_{0n}$  резонатора без пленки,  $\Gamma_n$  - диссипативные потери колебательной энергии в системе, обусловленные потерями в пленке.

В первом приближении можно полагать  $\Gamma_n = 1/Q_n - 1/Q_{0n}$ , где  $Q_n$  и  $Q_{0n}$  - соответственно добротности резонатора с пленкой и без пленки на  $n$ -ой гармонике.

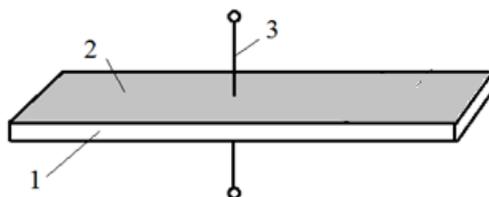
Выражение (17) схоже с аналогичными формулами из теории QCM-D, описывающими толщинно-сдвиговые колебания резонаторов в вязко - упругих средах [2,3]. Различие же заключается в том, что, наряду с влиянием массонагрузки  $R$  появляется противоположное по знаку влияние эластонагрузки  $K$ . Таким образом, несмотря на то, что резонатор совершает колебания растяжения-сжатия, характеризующиеся модулем продольной упругости, модуль сдвига пленки  $G$  играет существенную роль в характере изменения частоты и добротности резонатора. Для таких материалов пленки, как органические, полимерные, гели и жидкости модули упругости на несколько порядков ниже модулей упругости кварца ( $K/R \ll 1$ ), и формула (17) упрощается

$$\delta f_n = \frac{0,5Rtg(\gamma_z h)}{\gamma_z h}, \quad (20)$$

$$\text{где } \gamma_h = \omega_{qn} \sqrt{\frac{\rho'}{G}}, \quad (21)$$

отличаясь от аналогичной формулы для толщинно-сдвиговых колебаний, приведенной в [2, 3], коэффициентом 0,5. Следовательно, весь теоретический аппарат, использованный в технологии QCM-D, может быть использован в экспериментальных работах с кварцевыми микровесами на основе резонатора продольных колебаний.

**2. Эксперименты.** В качестве чувствительных элементов в данной работе, использовались кварцевые резонаторы частотой 1-ой гармоники 60 кГц, изготовленные предприятием ООО «СКТБ ЭлПА», г. Углич Ярославской области. Внешний вид резонаторов приведен на рис. 2.

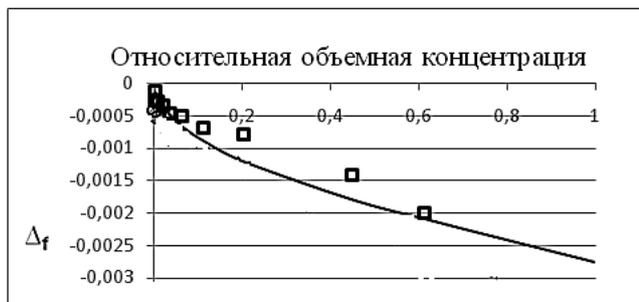


**Рис. 2.** Внешний вид резонатора. 1 – кварцевая пластина  $\text{хус}/1^\circ 30'$  среза размером 48,0 x 4,5 x 1,2 mm, 2 – электроды, 3 – электрические выводы

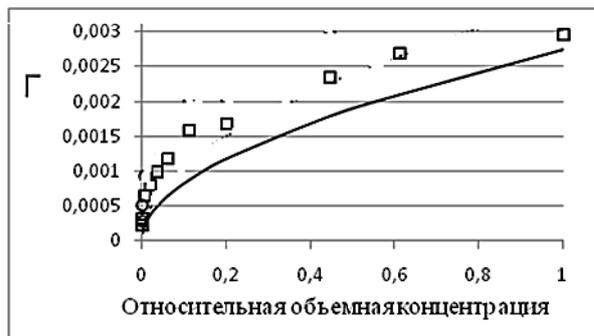
Для измерения параметров резонаторов был использован модуль возбуждения колебаний и измерения параметров пьезорезонатора КН1240 фирмы Kolinker Industrial Equipments (Южная Корея).

В качестве исследуемых пленок использовались пленки глицерина, наносившиеся шприцем. При этом с точностью  $10^{-5}$  г контролировался вес резонатора с пленкой. По весу, известной плотности и поперечным размерам пленки вычислялась ее толщина. Величина вязкости раствора определялась по известным табличным данным.

На рис.3 и 4 приведены зависимости частоты и потерь от вязкости раствора глицерина в воде. Вязкость в эксперименте изменялась путем изменения концентрации глицерина в растворе.



**Рис. 3.** Теоретическая и экспериментальная зависимости изменения частоты первой гармоники от вязкости пленки раствора глицерина в воде: сплошная линия (теория), квадраты (эксперимент)



**Рис. 4.** Теоретическая и экспериментальная зависимости изменения акустических потерь первой гармоники от вязкости пленки раствора глицерина в воде: сплошная линия (теория), квадраты (эксперимент)

Некоторые несоответствия между экспериментальными и расчетными значениями объясняются тем, что геометрическая форма жидких пленок не совпадает с идеализированной в модели (рис. 1). Кроме того, масса жидких пленок вследствие их большой толщины (1 – 2 мм) в экспериментах была сравнима с массой резонатора, и нанесение их на один из краев резонатора смещал центр масс, и крепление резонатора уже приходилось не на узел колебаний, что приводило к дополнительной утечке колебательной

энергии. Это особенно хорошо заметно на зависимостях изменения акустических потерь: на рис. 4 - потери в эксперименте заметно выше расчетных.

**Заключение.** Полученные в экспериментах результаты показали достаточное для инженерной практики совпадение с теоретическими расчетами. Разработанная модель позволяет проводить расчеты конструкции химических и биохимических сенсоров и прогнозировать их основные метрологические параметры: такие, как коэффициент преобразования и форму рабочей характеристики.

Работа выполнена в рамках проекта №16-07-00097-а, поддерживаемого Российским Фондом фундаментальных исследований.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Т.А. Яхно, А.Г. Санин, С.В. Васса, F. Falcione, О.А. Санина, В.В. Казаков, В.Г. Яхно. Новая технология исследования многокомпонентных жидкостей с использованием кварцевого резонатора. Теоретическое обоснование и приложения // Журнал технической физики. 2009. том 79. вып. 10. С. 22-29.
2. Lucklum, R., Behling, C., Cernosek, R.W., Martin, S.J., 1997. Determination of complex shear modulus with thickness shear mode resonators. J. Phys. D Appl. Phys., 30, Pp. 346–356.
3. Lucklum, R., Behling, C., Hauptmann, P., 1999. Role of mass accumulation and viscoelastic film properties for the response of acoustic-wave-based chemical sensors. Anal. Chem. 71, 2488–2496.
4. Hauptmann, P., Lucklum, R., Hartmann, J., Auge, J., Adler, B., 1993. Using the quartz microbalance principle for sensing mass changes and damping properties. Sens. Actuators A 37–38, 309–316.

---

УДК 51-74

### MODELING OF LONGITUDINAL OSCILLATIONS OF ELASTIC PLATES WITH THE FILM OF "SOFT" MATERIAL

**Valery N. Simonov**

Ph.D., Associate Professor, e-mail: [simonov.valer@yandex.ru](mailto:simonov.valer@yandex.ru)

**Leonid P. Loshmanov**

Ph.D., Associate Professor

**Vladimir Y. Goltsev**

Ph.D., Associate Professor

National Research Nuclear University "Moscow Engineering Physics Institute" (the state, the Russian Federation Ministry of Education and Science), Department of "Physics of Strength", 115409, Moscow, Kashirskoyesh, 31,

**Abstract.** Due to the rapid development of nanotechnology, biochemistry and biomedicine is very important the creation of sensor technology for these industries. Optimal design of such devices is impossible without mathematical modeling taking place in these phenomena and processes. This paper presents a mathematical model of

the low-frequency output of the QCM sensor of the concentration of vapors and gases in different environments. The basis of such sensors are so-called "soft" materials films - polymers, gels and liquids. The model was developed using the methods of the classical theory of vibrations. The analytical expressions relating the resonant frequency and the quality factor of the oscillating system "elastic plate - viscoelastic film" with the geometric dimensions and the complex modulus of elasticity of the plate and the film. The correctness of the model is illustrated by the results of experimental verification.

**Keywords:** quartz crystal resonator, soft film, viscoelastic film, QCM, QCN, QCM-D.

### References

1. Yakhno, T.A., Sanin, A.G., Vacca, C.V., Falcione, F., Sanina, O.A., Kazakov, V.V. and Yakhno, V.G. (2009) Novaya tekhnologiya issledovaniya mnogokomponentnykh zhidkostey s ispol'zovaniyem kvartseвого резонатора. Teoreticheskoye obosnovaniye i prilozheniya [A New Technology for Studying Multicomponent Liquids Using a Quartz Crystal Resonator: Theoretical Justification and Applications] // *Tekhnicheskaya Fizika = Technical Physics*, 54, 1423-1430. Available at: <http://dx.doi.org/10.1134/S1063784209100041>.
2. Lucklum, R., Behling, C., Cernosek, R.W., Martin, S.J., 1997. Determination of complex shear modulus with thickness shear mode resonators. *J. Phys. D Appl. Phys.* 30, Pp. 346–356.
3. Lucklum, R., Behling, C., Hauptmann, P., 1999. Role of mass accumulation and viscoelastic film properties for the response of acoustic-wave-based chemical sensors. *Anal. Chem.* 71, Pp. 2488–2496.
4. Hauptmann, P., Lucklum, R., Hartmann, J., Auge, J., Adler, B., 1993. Using the quartz microbalance principle for sensing mass changes and damping properties. *Sens. Actuators A* 37–38, 309–316.

## КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ МЕРЫ ФОРМИРОВАНИЯ И НАБЛЮДЕНИЯ КРАСОТЫ ЛАНДШАФТОВ

**Черкашин Александр Константинович**

Д.г.н., профессор, зав. лабораторией «Теоретическая география»,  
Институт географии им. В.Б. Сочавы СО РАН,  
664033 г. Иркутск, ул. Улан-Баторская, 1, e-mail: [cherk@mail.icc.ru](mailto:cherk@mail.icc.ru)

**Бибаева Анна Юрьевна**

К.г.н., м.н.с. лаборатории «Теоретическая география»  
Институт географии им. В.Б. Сочавы СО РАН,  
664033 г. Иркутск, ул. Улан-Баторская, 1, e-mail: [pav\\_a86@mail.ru](mailto:pav_a86@mail.ru)

**Аннотация.** Математическими средствами исследуется свойство наблюдаемости как количественной оценки условий эстетического восприятия участков ландшафтов с учетом их пространственной и временной изменчивости, которая позволяет по выходу системы судить о процессах, происходящих внутри неё. Для анализа пространственных и временных рядов географических данных с целью определения целостности и связности структуры пейзажей используются определители Вронского и Казорати, служащие индикаторами проявления эстетической ценности. Проводится аналогия определителя Вронского с функцией надежности, эффективностью использования ресурсов и интенсивностью отказов функционирования.

**Ключевые слова:** наблюдаемость, органичность, эстетическое качество, единый физико-географический процесс, определитель Вронского

**Введение.** Математика содержит большое количество невостребованных знаний, применение которых в различных областях науки позволило бы решить многие исследовательские проблемы, дать объяснение имеющимся фактам даже в тех сферах, где применение формальных методов не предполагалось. В этом проявляется инновационная сущность математики, реализующаяся в математических технологиях анализа и синтеза данных и знаний. Одной из возможных направлений приложения формализованных средств преобразования информации является эстетика природных и художественных образов, в частности, выраженных в законе золотого сечения, связанного, как известно, с рядами Фибоначчи. Существуют другие задачи наблюдения красоты и необходимы новые модели и методы исследования композиционного строя, связности элементов изображений и внутренней гармонии образов различного происхождения, включая образы географических объектов в их вертикальной и горизонтальной проекции.

Так, природные ландшафты среди многих полезных качеств обладают важным фундаментальным свойством, видимым и воспринимаемым без специальных исследований – красотой. Феномен красоты природы давно и подробно изучается в философской эстетике [22], где осознается проблемная глубина этой темы. Кант полагал, что мир открывает нам «неизмеримое поприще многообразия, порядка, целесообразности и красоты» [10, с. 538]. Гегель отмечал: «Никто не объединил в одно целое и никогда не рассматривал различные

царства природы с точки зрения красоты. Мы чувствуем, что наши представления о красоте природы слишком неопределенны, что в этой области мы лишены критерия...» [5, с. 9]. Эти идеи можно рассматривать как постановку особой задачи исследований проявления законов красоты в природе, тем более что они созвучны с географическими проблемами познания многообразия, порядка и единства через формирование системы знаний и критериев оценки. Научные исследования явлений прекрасного и поиск методов количественного определения эстетической ценности объектов природы и искусства проводятся достаточно давно [23 - 26], но до настоящего времени эта тема остается актуальной и важной.

Основные принципы эстетического ландшафтоведения, на наш взгляд, представлены В.С. Соловьевым [17]. Развивая мысли своих предшественников, он обосновывает объективную реальность красоты – результат преобразования материи через воплощение в ней сверхматериального начала – идеи положительного всеединства, т. е. органичного единства целого при сохранении индивидуальности составляющих его частей. По его мнению, красота объективно существует в природе, независимо от человека. Важно эту красоту выделить и оценить, определить уровни проявления прекрасного в каждом объекте природы и проследить изменение степени красоты во времени на фоне изменения географической среды и преобразующей деятельности человека. Целью настоящего исследования является поиск рациональных приемов количественного анализа эстетических свойств ландшафтов, в частности, математических моделей, пригодных для их описания.

**1. Основные понятия, модели и методы исследования.** Для современной географии характерен эмпирический подход, основанный на приборном измерении многообразия ландшафтных характеристик и статистическом выявлении их связей. Возникают проблемы наблюдения и наблюдаемости красоты для количественной оценки эстетического качества участков ландшафтов с учетом их пространственной и временной изменчивости. В процессе наблюдения обычно учитываются: объект наблюдения (пейзаж), реципиент (наблюдатель или прибор), место наблюдения (пейзажный подступ, перспектива, угол обзора, кулисы), условия наблюдения (время суток, погода, сезон года, влияние катастрофических факторов и климатических изменений). Качество каждой из этих составляющих влияет на результат, но особое значение приобретают условия наблюдения, которые воздействуют на остальные компоненты – состояние ландшафта и видимость объекта, так что в плохих условиях уровень эстетической оценки понижается по разным причинам.

Свойство наблюдаемости математически формализовано в теории автоматического управления в терминах операторов (матриц) преобразования векторов состояния систем [19]: наблюдаемость позволяет по выходу системы судить о процессах, происходящих внутри неё. Изменение состояния объекта с обратными связями между его характеристиками  $y = \{y_i\}$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ ) описывается системой линейных дифференциальных уравнений:

$$a) \frac{dy}{dt} = A(t)(y - y_0) + \frac{dy_0}{dt}, \quad б) z(t) = B(t)(y - y_0), \quad (1)$$

где  $z = \{z_j\}$  – вектор (набор) выходных показателей системы;  $y_0 = \{y_{0i}\}$  – вектор возмущающих воздействий среды и управления;  $A$  – матрица коэффициентов взаимодействия между характеристиками состояния системы;  $B$  – матрица оценки состояний. Все показатели и коэффициенты матриц в общем случае являются функциями времени  $t$  или пространственных координат  $x$ . Расчет элементов матриц на практике

проводится методами регрессионного анализа пространственных и временных рядов данных  $y$  и  $z$ , например, характеристик линий планов пейзажных изображений [21]. В итоге, в пейзажной структуре (состоянии системы) через взаимовлияния фиксируется вся предыстория процессов в выражении результирующих форм. Выходные показатели  $z_j$  интегрально отображают состояние системы, и в их число включается эстетическая оценка. Величина интегральных показателей  $z_j$  определяется особенностями взаимодействия и изменения состояний  $y = \{y_i\}$  согласно (1а) и вариацией среды  $y_0(t) = \{y_{0i}\}$ . Наблюдаемость по Калману зависит от свойств матриц взаимодействия  $A(t)$  и оценки  $B(t)$  [19], элементы которых во многом определяются условиями наблюдения.

Например, в течение суток изменяется высота солнца над горизонтом и степень освещенности ландшафта. С точки зрения эстетического восприятия в ландшафте основной функцией освещения является выявление общего пространства, объемов, фактуры и цвета элементов пейзажа [8], поэтому свет в пейзаже выполняет системообразующую функцию. В разное время суток и по сезонам года для каждого пейзажа существует временной промежуток, когда солнечные лучи падают под углом к земной поверхности, обуславливающим максимальную эстетическую привлекательность пейзажа, и формируется гармоничное единство объемов, фактуры, пространства, цвета и контраста.

Важной особенностью ландшафтов бореальной зоны является изменчивость их облика по сезонам года. Ландшафт представляет все сезонные состояния – фенологические фазы и сезонные образы пейзажей. В период цветения различных видов растений появляются яркие цветовые аспекты, выделяющиеся на зеленом фоне. По сезонам меняется восприятие ландшафтов, связанное со сменой цветовой гаммы и композиции ландшафтных подстилающих поверхностей. Согласно теории цветового восприятия [7], в естественном пейзаже преобладает один цвет (фон), оказывающей наиболее сильное влияние на эстетическое восприятие. В качестве фонового цвета в теплый период года выступает зеленый, а в холодный – белый. Субъективное эстетическое восприятие зависит от характеристик пейзажа: 1) цвета, 2) формы и фактуры, 3) звукового фона, 4) погодных условий, 5) запахов. Они, взаимодействуя друг с другом, при восприятии формируют единую систему – эстетический образ ландшафта.

Важную роль в формировании эстетически значимых ландшафтов играют долговременные эволюционные изменения, в частности, связанные с потеплением климата. Ландшафты и их покомпонентный состав в этот период находятся в переходном состоянии, отдельные элементы ландшафтов оказываются чувствительны к изменениям и уязвимы, что вызывает разрушение прежней и формирование новой структуры геосистем, адекватной создавшейся климатической обстановке, с инвазией новых видов растений и животных [16]. Это ведет к частичному опустыниванию земель (аридизации) и снижению их привлекательности на время, необходимое для формирования новых геокомплексов.

Современный ландшафтный облик территорий есть результат проявления множества природных процессов, как эндогенных, так и экзогенных, основой которых является энергетический компонент. Эти процессы всегда сопровождаются передачей информации, воспринимаемой человеком [12]. В пейзажной структуре отражаются результаты протекания различных процессов. Согласно А.А. Григорьеву [6] внешний вид, облик всей географической оболочки и ее отдельных частей создается физико-географическими процессами, которые формируют единый физико-географический процесс, выраженный в

обмене веществом, энергией и информацией между природными комплексами и их компонентами. Ненарушенность, наличие единства, взаимозависимости физико-географических процессов разного пространственного и временного масштаба в геосистемах, в конечном счете, определяют эстетическую привлекательность пейзажей. Красота пейзажей формируется в виде парагенетических комплексов в результате согласованных и направленных ландшафтообразующих процессов, обеспечивающих подобие (функциональную связность) разноудаленных частей ландшафта. Красота природы возникает вследствие своеобразного отбора типов связей физико-географических явлений. Результаты действия этих процессов проявляются через видимые объекты и элементы пейзажной структуры.

**2. Качественная и количественная оценка.** Гегель [5, с. 146] выделил три качественных уровня проявления красоты абстрактной формы природы: 1) правильность, 2) закономерность, 3) гармония. Правильность выражает идею формального тождества как повторение одной линии или фигуры. С правильностью связана симметрия, которая дополнительно требует отличий повторяющихся форм в величине, положении, форме, цвете и т.д.

Закономерность рассматривается как целостность существенных различий, выраженная в единстве противоположностей, их взаимосвязи, в одновременном совмещении существенно различающихся сторон, в их функциональном подобию. В рамках представления о закономерности реализуется принцип существования единого физико-географического процесса, функционально связывающего изменения в различных компонентах геосистем. Предполагается, что все процессы описываются дифференциальными уравнениями общего типа, отражающими направленные и флуктуирующие потоки элементов [21]. Компонентные характеристики оказываются функционально связанными  $y_1 = f_{12}(y_2)$ . Преобразование Лежандра  $y_1 = a_{12}y_2 + F_{12}(a_{12})$  этой связи при  $F_{12}(a_{12}) = -a_{12}y_{02} + y_{01}$  приводит к пропорциональной зависимости  $y_1 - y_{10} = a_{12}(y_2 - y_{20})$ , где  $y_{10}, y_{20}$  - средовые значения (начало координат) соответствующих геосистемных характеристик. Эта зависимость не является линейной, поскольку  $a_{12}$  - переменная величина, поэтому связи обобщенно линейны. В итоге на уровне формирования закономерностей линейный тип связей заменяется на нелинейные и вводится симметрия подобия более общего типа, чем симметрия правильных форм.

Наличие парных связей характеристик геосистем позволяет говорить о всеобщей связи всех геосистемных компонентов, которую желательно оценить интегральным показателем взаимодействия, проявляющимся на уровне гармонии природы. Гармония выражает соразмерность частей и целого, обозначает слияние различных компонентов объекта в единое органичное целое. По Гегелю [5] «Гармония представляет собой соотношение качественных различий, взятых в их совокупности и вытекающих из сущности самой вещи» (с. 149). В многомерном преобразовании Лежандра

$$y_j = f_j(y) = \sum_{i=1}^n a_{ij} y_i + F_j(a), \quad a_{ij} = \frac{\partial y_j}{\partial y_i}, \quad y_j \in y = \{y_i\}, j = 1, 2, \dots, n$$

функция преобразования  $F_j(a)$ , зависящая от коэффициентов чувствительности  $a = \{a_{ij}\}$ , выполняет роль своеобразной сущности, определенной в пространстве  $a$  двойственных

относительно  $y$  переменных, по выражению которой  $F_j(a)$  можно восстановить зависимость  $y_j = f_j(y)$ . Если эта функция линейна, то в центрированных по  $y_0 = \{y_{i0}\}$  переменных  $y = \{y_i\}$  ( $y_i - y_{i0} \rightarrow y_i$ ) будет  $F_j(a) = 0$  и выполняется уравнение Эйлера  $y_j = \sum_{i=1}^n \frac{\partial y_j}{\partial y_i} y_i$  для однородных функций первого порядка  $y_i = y_i \Phi_{ij}(y)$ , симметричных по взаимной замене переменных  $y = \{y_i\}$ . Все это выражает свойства органичного строения системы, в частности, функциональную связность процессов и явлений. В итоге получается, что нулевая «сущность»  $F_j(a) = 0$  есть критерий оптимального проявления закономерностей, но не гармонии организации, предполагающей наличие некоторой суперсимметрии, что связывает разное подобие  $y_j = y_i \Phi_{ij} \leftrightarrow y_l = y_k \Phi_{kl}$  - отражает связи связей.

В качестве такого интегрального показателя связности предлагается использовать определитель Вронского (ОВ), зависящий от величин  $y = \{y_i\}$  и их производных по времени (скоростей, ускорений) или по пространству (градиентов).

Такой определитель  $W$  для трех наблюдаемых переменных, изменяющихся по параметру  $t$ , выглядит следующим образом [1]:

$$W = \begin{vmatrix} y_1 & y_2 & y_3 \\ y_1' & y_2' & y_3' \\ y_1'' & y_2'' & y_3'' \end{vmatrix} = y_1 y_2' y_3'' + y_2 y_3' y_1'' + y_3 y_1' y_2'' - y_3 y_2' y_1'' - y_2 y_1' y_3'' - y_1 y_3' y_2'' \quad (2)$$

Если переменные  $y = \{y_i\}$  на интервале  $t \in T$  линейно зависимы, значение  $W = 0$ . В противном случае они линейно независимы, т.е. их связь определяется более сложной закономерностью. Это позволяет разделять правильные и закономерные связи по Гегелю с помощью определителя  $W$ .

Другой вариант ОВ формируется подобно (2), только вторая строка определителя содержит частные производные от  $y_i(x)$  по  $x_1$ , третья - по  $x_2$  и т.д. из набора независимых переменных  $x = \{x_j\}$ , число которых ( $m$ ) на единицу меньше числа характеристик  $y_i$  системы [13]. Для учета ухудшения условий наблюдения вводится поправочный коэффициент  $\alpha(x) < 1$ , зависящий от разных параметров геосистемы, например, удаленности пейзажных планов:  $y(x) \rightarrow \alpha(x)y(x)$ . Примером зависимости  $\alpha(x)$  может служить следствие закона Бугера-Ламберта-Бера ослабления света в поглощающей среде:  $\alpha(x) = I(x)/I_0 = \exp(-kl)$ , где  $I_0$  - интенсивность входящего потока;  $I(x)$  - интенсивность наблюдаемого потока;  $l \in x$  - расстояние до объекта наблюдения;  $k$  - показатель поглощения света, который зависит, в частности, от влажности или задымленности воздуха. Для ОВ разного вида справедлив признак однородности  $W(\alpha y) = \alpha^m W(y)$ , где  $m$  - размер определителя. Для разных переменных  $y_i$  поправки  $\alpha_i$  могут различаться, поэтому  $\alpha^m$  заменяется на произведение  $\alpha_i$ . В силу этого свойства ОВ сильно зависит от метрической размерности  $\alpha_i$  переменных  $y_i$ . Удобней использовать относительные величины, приняв, например,  $\alpha = 1/y_1$ . Для ОВ функций нескольких переменных [13] справедливо соотношение  $J(\gamma) = W / y_1^m$ , где  $J(\gamma)$  - определитель Якоби для относительных переменных  $\gamma_i = y_i / y_1$ . Равенство  $J(\gamma) = 0$  позволяет говорить о существовании функциональных связей этих переменных:  $\gamma_i = \Psi_i(\gamma)$ .

Отсюда все наблюдаемые характеристики оказываются функционально связанными  $y_i = y_j \Psi_{ij}(\gamma)$ ,  $\Psi_{ij}(\gamma) = \Psi_i(\gamma) / \Psi_j(\gamma)$  в форме обобщенной линейной зависимости.

В географических исследованиях удобней использовать ОВ для векторных функций и скалярных функций пространственных и временных параметров. В условиях осложненной наблюдаемости пейзажей, когда  $\alpha_i=0$ , выпадают отдельные характеристики  $y_i \equiv 0$ , что влечет за собой  $W \equiv 0$ , поэтому для анализа в новых условиях определитель (2) должен содержать меньше наблюдаемых переменных.

Функция  $W(y)$  в виде (2) является полилинейной формой, т.е. описывается уравнением, линейным отдельно по  $y = \{y_i\}$  и по ее производным  $y^{[n]} = \{y_i^{[n]}\}$  разного порядка  $n$ . Одно из представлений  $W(y)$  - уравнение Эйлера:

$$W = y_1(y_2'y_3'' - y_3'y_2'') + y_2(y_3'y_1'' - y_1'y_3'') + y_3(y_1'y_2'' - y_2'y_1'') = \frac{\partial W}{\partial y_1} y_1 + \frac{\partial W}{\partial y_2} y_2 + \frac{\partial W}{\partial y_3} y_3, \quad (3)$$

Следовательно,  $W(y)$  – это однородная функция состояния для саморазвивающихся (органичных) систем [20]. Интенсивные характеристики  $R(y) = \frac{\partial W}{\partial y_i}$  складываются из

произведений производных разного порядка (частных ОВ). Общее решение уравнения (3)  $W = y_i S_i(y)$  связывает наблюдаемые характеристики геосистемы с  $W$ , а через него с другими характеристиками  $y_i = y_j \left[ \frac{S_j(y)}{S_i(y)} \right]$ . При  $W = C = \text{const}$  система развивается под действием внешних сил  $C$ , а при  $C=0$  – система не развивается, соответствует проявлению простейшей формы красоты.

Таким образом, величина  $W(y)$  выражает некоторую сущность (обобщенный потенциал), формирующую связи в системе. Такой потенциал можно также выразить через производные наблюдаемых переменных, например, производные одной переменной:

$$W = y_1(y_2'y_3'' - y_3'y_2'') + y_1'(y_3'y_2'' - y_2'y_3'') + y_1''(y_2'y_3' - y_3'y_2') = \varphi_{12}y_1'' + \varphi_{11}y_1' + \varphi_{10}y_1. \quad (4)$$

Это неоднородное дифференциальное уравнение описывает изменение переменной  $y_1(t)$  на фоне изменения других характеристик геосистемы под влиянием среды  $W$ . Здесь  $W$  соответствует некоторому управляющему воздействию, регламентирующему связи характеристик:

$$W = \varphi_{12}y_{10}'' + \varphi_{11}y_{10}' + \varphi_{10}y_{10},$$

где  $y_{10}(t)$  – средовая поправка переменной  $y_1(t) \leftrightarrow y_1(t) - y_{10}(t)$  с учетом которой можно принять  $W=0$ , когда

$$\varphi_{12}y_1'' + \varphi_{11}y_1' + \varphi_{10}y_1 = 0. \quad (5)$$

Все приведенные аналогии подчеркивают сущностный смысл ОВ, из которого выводятся разные соотношения связи и изменения характеристик систем.

По формуле Лиувилля-Остроградского определитель Вронского для функций-решений уравнения (5) и подобных ему линейных дифференциальных уравнений более высокого порядка равен

$$W = W_0 \exp\left(-\int_0^t p_1(\xi) d\xi\right), \quad (6)$$

где  $W_0$  – константа, а  $p_1 = \varphi_{11} / \varphi_{12}$ . Для системы дифференциальных уравнений вида (1а)  $p_1 = -\text{tr}A(t)$  – след матрицы взаимодействия  $A(t)$  (сумма значений ее диагональных

элементов). Поскольку диагональные коэффициенты описывают процесс саморегулирования, значение  $trA(t) > 0$  соответствует признаку положительной связи развития, значение  $trA(t) < 0$  – отрицательной связи стабилизации.

В подобной трактовке покомпонентные системные характеристики могут рассматриваться как разные независимые решения линейного дифференциального уравнения соответствующего порядка с переменными коэффициентами; для этих решений  $W \neq 0$ . В силу изменения коэффициентов со временем или в пространстве будут меняться вид решения и значения  $W(t)$ . Локальные приращения согласно (6) рассчитываются по уравнениям

$$dW = -p_1 W dt, \quad p_1 = -\frac{dW}{dtW}. \quad (7)$$

Наличие устойчивых связей характеристик частично определяется величиной  $p_1 = -trA > 0$ .

Вид уравнения (6) напоминает известное выражение для соотношения надежности процессов [15]:

$$P^*(t) = \exp\left(-\int_0^t p(\xi) d\xi\right), \quad 0 \leq P^*(t) \leq 1, \quad p(t) \geq 0, \quad \frac{dP^*(t)}{dt} \leq 0, \quad (8)$$

где  $p(t)$  – интенсивность отказа элементами системы выполнять свою функцию. Интенсивность  $p(t)$  регулируется влиянием внешней и внутренней среды и лежит в основе расчета надежности и эффективности. Безразмерная величина

$\Lambda(t) = -\ln P^*(t) = \int_0^t p(\xi) d\xi > 0$  определяет долю или полноту использования или потери

ресурса. Это вероятность недостижения состояния  $t$ . Последнее выражение похоже на формулировку закона Вебера-Фехнера, связывающего силу ощущения  $B$  с интенсивностью раздражителя  $S$ :  $B(t) = k \ln S(t) / S_0$ , где  $S(0) = S_0$  – константа, пороговое значение  $S$ ;  $k$  – константа, зависящая от свойств субъекта ощущения и типа раздражителя. Этот закон – один из шести эстетических законов Фехнера (закон порога, повышения, единства в многообразии, отсутствия противоречий, ясности и ассоциации) [11].

Величина  $B \sim \Lambda_0(t) = 1 - \Lambda(t)$  характеризует полноту ощущения, где  $\Lambda_0(t)$  отражает резерв, долю неистраченных ресурсов:  $\Lambda_0(t) = \int_t^{t_k} p(\xi) d\xi$ . Для линейных схем, когда

$W(t) = W_0 P^*(t) = 0$ , интенсивность отказа  $p(t)$  будет велика и мера ощущения  $\Lambda_0(t) \rightarrow 0$ .

Наилучшие характеристики имеет безотказная система  $p(t) = 0$ , когда  $\Lambda_0(t) = 1$ . Вычисление

$\Lambda_0(t)$  основано на расчете  $\Lambda(t)$  на основе трансформированных значений

$P^*(t) = [W(t) / W_{\max}]^b, W_{\max} = \max|W|$ :

$$\Lambda(t) = -\ln P^*(t) = -b \ln(W / W_{\max}), \quad b = 1 / \ln(W_{\max} / W_{\min}). \quad (9)$$

Эти преобразования дают возможность спроецировать  $W$  в интервал  $\Lambda_0(t) \in [0, 1]$  для сравнения фрагментов серии данных разных периодов и мест  $t$ .

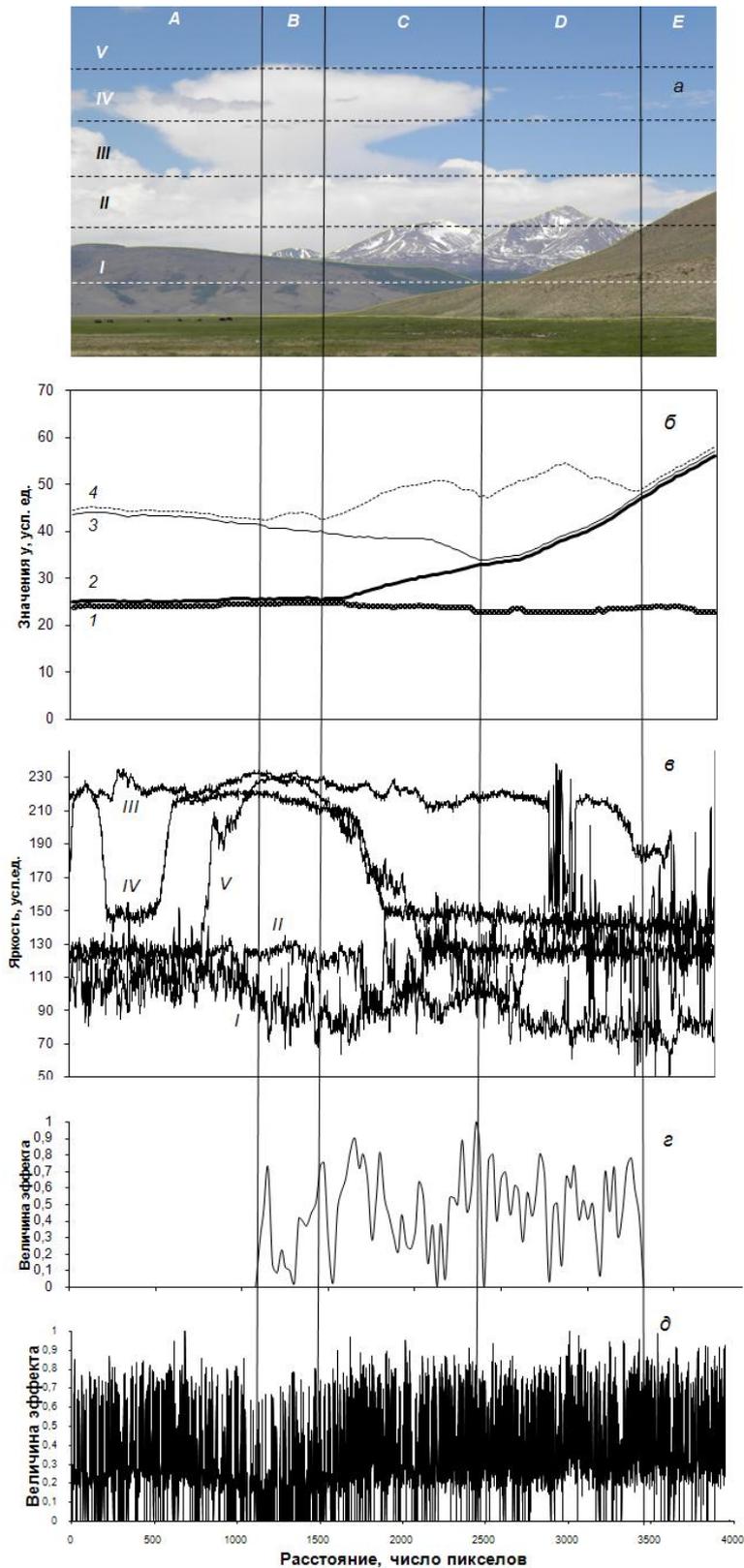
Можно проследить также аналогию между формулой (6) и законом Бугера-Ламберта-Бера в виде  $\alpha(l) = \exp(-kl)$ , где  $-\ln \alpha = kl = \int_0^l p(\xi) d\xi = \Lambda(t)$ , т.е. ухудшение условий наблюдения затрудняет восприятие объектов. Это, с одной стороны, обосновывает правильность выбора величины  $\Lambda_0(t) = 1 - \Lambda(t)$  в качестве индикатора привлекательности, а с другой, - позволяет рассчитывать поправочный коэффициент условий через ОВ:  $\alpha(t) \sim W(t)$ .

Величина  $P^*(t)$  определяет надежность и эффективность процессов и явлений, поэтому значения  $\Lambda_0(t)$  также могут считаться показателями эффективности:  $\Lambda_0(t) = 1 - \Lambda(t) = 1 + \ln P^*(t) = 1 + b \ln(W/W_{\max})$ . Величина  $W_{\max}$  определяет масштаб явления, которое разворачивается во времени или в пространстве. В отличие от интенсивности отказов  $p(t)$  коэффициент  $p_1(t)$  в соотношении (6) знакопеременный, что связывается с периодами упрощения сложных закономерностей до линейных связей. По этой причине для выделения  $p_1(t)$  удобней использовать дифференциальные соотношения (7), в которых не участвует  $W_{\max}$ . Чем достоверней проявляются эти соотношения, тем более упорядочены характеристики системы в едином процессе. Величины  $p_1(t)$  и  $\Lambda_0(t)$  несут информацию о величине связи так, что большее значение  $p_1(t)$  в области ее изменчивости говорит о меньшей локальной надежности (эффективности) процесса или явления.

**3. Объекты исследования.** Наибольший интерес с эстетической и географической точек зрения представляют геосистемы контактных зон – мест пересечения нескольких граничных поверхностей компонентов. В зонах контактов повышается контрастность и активность процессов и их разнообразие [4]. По этой причине прибрежные геосистемы являются зонами повышенной интенсивности вещественного, энергетического и информационного потоков, обуславливающих эстетический эффект. Еще большую привлекательность придает им смежные горные и водные массивы. Именно такими активными контактными зонами являются исследуемые территории побережий оз. Байкал и оз. Хубсугул [2, 3].

В данном случае область исследования расположена в северо-восточной части прибрежной зоны оз. Хубсугул, в окрестностях пос. Ханх на территории Национального парка «Хубсугульский» в Монголии. Район представлен среднегорным эрозионно-денудационным слаборасчлененным рельефом с массивными вершинами и пологими склонами, включая участки предгорных ледниковых равнин и аллювиально-деллювиальных выровненных участков долин. По особенностям строения рельефа в пределах описываемой территории выделяют два района – горный лесной и равнинный степной, граница между которыми условно проходит у подножия гор.

В июне 2009 г. здесь проведены полевые работы, включающие заверку космических снимков с комплексными ландшафтными описаниями 30 участков, а также эстетическую оценку и фотографирование пейзажей (600 видовых снимков) с последующей подготовкой карт разного содержания [3]. Маршрутные исследования дополняют описания, наглядно прослеживая взаимосвязи отдельных элементов рельефа и растительности и показывая взаимное расположение морфологических частей ландшафта (фаций, урочищ) и их границы.



**Рис. 1.** Пейзажный снимок с дифференциацией по уровням (I – V) и секторам (A - E) (а), его характеристики линий (контуров) планов (б) и яркости пикселей по уровням геоизображения (в) и результаты анализа этих характеристик по ожидаемой величине эффекта от связи контуров (г) и показателей яркости (д) (пояснения в тексте)

Для характеристики атмосферных (метеорологических) процессов использовались данные фоновой станции Монды [9], расположенной в горах Восточных Саян (51.6 ° с.ш., 101 ° в.д.) на высоте 2010 м над уровнем моря на расстоянии 17 километров от оз. Хубсугул. На станции проводятся автоматические измерения с фиксацией на компьютере концентраций озона и угарного газа, замеряется атмосферное давление, температура и влажности воздуха, скорости и направления ветра.

Для количественной оценки эстетического эффекта в показателях единства процессов и явлений в геосистемах и влияния условий наблюдения на этот эффект использовались характеристики разных геоизображений (растровых фотографий) и данные инструментальных наблюдений. Пространственные и временные серии данных обрабатывались с использованием описанных соотношений, а также методом главных компонент (МГК) [18], позволяющим получить серию независимых показателей, линейно связанных с наблюдаемыми характеристиками по типу уравнений (16). В качестве исходного изображения выбран снимок прибрежной зоны оз. Хубсугул с видом со стороны озера на Восточный Саян (рис. 1а). Снимались линии рельефа разноудаленных планов, которые для непрерывности продолжались по линиям более близких планов пейзажа (рис. 1б). По значениям линий рассчитывался ОВ и проводились его преобразования.

Расчеты осуществлялись численными методами для таблицы дискретных значений, когда ОВ соответствует определителю Казорати. Этот определитель представляет собой фрагмент цифрового снимка или матрицы исходных данных размером  $m \times m$  (сравните (2)):

$$W = \begin{vmatrix} y_{11} & y_{21} & y_{31} \\ y_{12} & y_{22} & y_{32} \\ y_{13} & y_{23} & y_{33} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} y_{11} & y_{12} & y_{13} \\ y_{21} & y_{22} & y_{23} \\ y_{31} & y_{32} & y_{33} \end{vmatrix}.$$

Получается, что на снимках с помощью определителя Казорати исследуется связность фрагментов рядов пространственных данных и по вертикали и по горизонтали одновременно.

Исходное фронтальное геоизображение (рис. 1а) подразделено по уровням ( $I - V$ ) и секторам ( $A - E$ ). Вертикальные границы секторов проходят через узловые точки линий планов (1 – 4, рис. 1б). Нижние горизонтальные границы уровней соответствуют линиям, вдоль которых снимались значения яркости пикселей (рис. 1в). Определители рассчитываются по фрагментам  $7 \times 7$  таблицы сравниваемых рядов данных в скользящем режиме.

**4. Результаты анализа данных.** Расчет ОВ по линиям планов выделяет крайние секторы геоизображения  $A$  и  $E$  как участки с линейной связностью кривых рельефа ( $W=0$ ), что очевидно в силу особенности подготовки данных путем экстраполяции по ближним планам. Более информативной оказывается центральная часть снимка, что отражается на изменении величины  $\Lambda_0(t)$  (рис. 1г). Наиболее велики перепады значений  $W$  и  $\Lambda_0(t)$  на границах секторов перехода от правильных к закономерным связям. Количественно подчеркиваются межгорные понижения, тогда как вершины имеют меньшее значение относительного эффекта связности  $\Lambda_0(t)$  в границах снимка.

Другой вариант расчетов основан на данных яркости фототона (см. рис. 1в). Цвет и свет обладают собственной «массой» и силой излучения, что придает плоскости изображения иное качество, чем это делают линии [14]. Полученный результат оценки

эффекта (рис. 1д), судя по изменению центральной плотной зоны графика, в общих чертах повторяет расчеты по линиям планов (рис. 1г). Наименьшей привлекательностью обладает участок ландшафта на границах секторов *A*, *B* и *C*. Это связано с выположенностью всех графиков изменения яркости в этой зоне. Факторы изменчивости, учитываемые в *OB*, благоприятно сказываются на оценке эффекта.

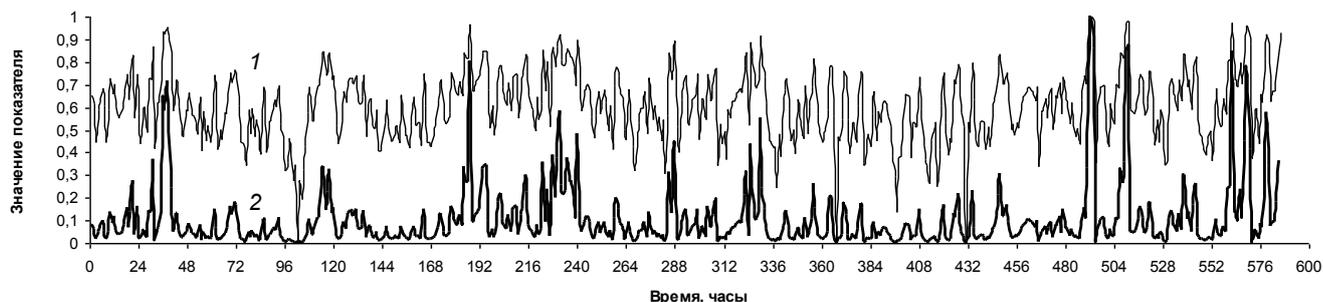
Особенности изменения компонентов систем оцениваются по значениям  $p_1$ , вычисляемым по формулам (7). Величина  $p_1$  определяет угол наклона зависимости скорости изменения  $dW_1/dt$  от самого значения  $W_1$ . По данным о линиях планов (рис. 1б) эта зависимость отрицательная  $dW_1/dt \approx -0,755W_1 - 0,028$ ,  $R = 0,61$ . Это означает, что большинство значений  $p_1$  положительно и в среднем равно 0,755, что соответствует высокому уровню интенсивности отказов в среднем в расчете на 30 пикселей изображения. В этом случае след матрицы  $A(t)$  в системе уравнений (1) равен  $trA(t) \approx -0,755$ , что указывает на стабильность изменения элементов изображения.

Для расчета погодных поправочных коэффициентов  $\alpha(t)$  на основе вычисления *OB* сначала проводился статистический МГК-анализ данных по метеостанции Монды в период ландшафтных исследований (июнь 2009 г.). Первая главная компонента (ГК1, 30,7% вариации) в основном определяется почасовым ходом температуры воздуха (-0,91), изменением влажности воздуха (0,76) и концентрацией приземного озона (-0,63). Значения ГК2 и ГК3 (25,0%, 14,6%) зависят от направления и скорости ветра, а также величины атмосферного давления. Величина *OB* не зависит линейно ни от одной из главных компонент, поскольку является сложной функцией многих факторов и их изменений, становится самостоятельным показателем.

Расчет  $\alpha(t)$  основан на вычислении  $W(t)$  и его преобразовании по (9) в  $\Lambda(t)$ , откуда  $\alpha(t) = \exp(-\beta\Lambda(t))$ . Величина  $\Lambda(t)$  в данном случае соответствует сложности погодных условий для наблюдения, и  $\beta$  - коэффициент относительной чувствительности.

Возможный эффект наблюдения  $\Lambda_0(t)$ , рассчитанный по  $W(t)$  по микроклиматическим данным, выше в послеполуденное время, а в ночной период он понижается, особенно перед рассветом (рис. 2). Низкий показатель  $\Lambda_0(t)$  отражает простоту системы в смысле существования примитивной линейной связи характеристик компонентов геосистемы. В дневное время проявляются более сложные закономерности, так что повышение температуры усложняет систему на фоне варьирования других показателей, которые становятся линейно-независимыми, но система сохраняет свое единство за счет функциональной симметрии происходящих процессов и явлений. Пики минимальных и максимальных значений соответствуют границам дневных и ночных погодных режимов.

Коэффициент наблюдаемости  $\alpha(t)$  изменяется синхронно  $\Lambda_0(t)$ . Пики наблюдаемости соответствуют наилучшим условиям изучения ландшафтов и проведения фотографической съемки. Повышением коэффициента  $\beta$  достигается больший контраст выделения пиков.



**Рис. 2.** Изменение возможного эффекта наблюдения по показателю  $\Lambda_0(t)$  (1) и поправочных коэффициентов наблюдаемости  $\alpha(t)$  при  $\beta=0,33$  (2) в июне 2009 г.

**5. Обсуждение результатов и выводы.** Представленная методическая разработка вводит в арсенал методов статистического анализа пространственных и временных рядов географических данных определитель Вронского и его аналог для дискретных систем – определитель Казорати. Эти определители в основном применяются для получения и анализа свойств решений дифференциальных уравнений в математике и физике. Для понимания расширенного смысла ОВ в данной публикации показана его связь с известными функциями и уравнениями, широко используемыми в теоретических исследованиях различных наук. Этим демонстрируется сущностная сторона ОВ как внешнего управления изменениями и организации межкомпонентных связей геосистем с учетом их пространственного или временного изменения. Наблюдаемость в эстетическом смысле формулируется как возможность понять и измерить красоту ландшафтов в разных средовых условиях.

Количественные аспекты ОВ раскрываются через аналогию с функциями теории надежности, прежде всего с надежностью использования ресурсов и интенсивностью отказов. В этом контексте рассматривается уравнение Вебера-Фехнера формирования ощущений. Полученные соотношения позволяют вычислить возможный эффект от восприятия изображения пейзажа и оценить условия наблюдения по временным рядам микроклиматических показателей.

Переменные коэффициенты интенсивности в среднем имеют положительные значения, что указывает на устойчивость процессов и связей исследованных ситуаций. Интенсивность входит в качестве коэффициента в обобщенное дифференциальное уравнение взаимодействия компонентов геосистем, характеристики которых выступают в качестве линейно-независимых переменных – фундаментальных решений этого уравнения. Связь ОВ с законами экспоненциального типа дают возможность по серии пространственно-временных данных рассчитывать по ОВ интегральные показатели состояния среды и вычислять специальные функции, например, надежность или наблюдаемость.

Имеет смысл утверждать, что ОВ количественно характеризует гармонические свойства пейзажей – их единство, связность, целостность, органичность и сложность, и может служить индикатором их эстетической ценности. Эта гипотеза должна быть проверена на геоизображениях фронтальной и горизонтальной проекции с их автоматической обработкой в скользящем режиме.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агафонов С.А. Дифференциальные уравнения / С.А. Агафонов, А.Д. Герман, Т.В. Муратова. М. Изд-во МГТУ им. Баумана. 1999. 336 с.
2. Бибаева А.Ю. Ландшафтно-типологическое картографирование для оценки эстетических ресурсов территории / А.Ю. Бибаева // Геодезия и картография. Москва, 2013. №5. С. 16-23
3. Бибаева А.Ю. Последовательность процедур геоинформационного анализа и синтеза геоизображений при картографировании ландшафтов Северо-восточного Прихубсугулья / А.Ю.Бибаева, Е.А. Истомина // Геодезия и картография. Москва. 2011. №5. С. 19-27.
4. Боков В.А. Общее землеведение: Учебник / В.А. Боков, Ю.П. Селиверстов, И.Г. Черванев. СПб.: Изд-во С.-Петербургского ун-та. 1998. 268 с.
5. Гегель Г.В.Ф. Эстетика: в 4-х томах / Г.В.Ф. Гегель. М.: Искусство. 1968. Т.1. 312 с.
6. Григорьев А.А. Закономерности строения и развития географической среды / А.А. Григорьев. М.: Мысль. 1966. 382 с.
7. Дебаркадер Л.А. Теория восприятия цвета Люшера / Л.А. Дебаркадер. [Электронный ресурс]. URL: [http://wmille.ucoz.ru/news/teorija\\_vosprijatija\\_cveta\\_ljushera/2014-04-11-153](http://wmille.ucoz.ru/news/teorija_vosprijatija_cveta_ljushera/2014-04-11-153)
8. Железняков В.Н. Цвет и контраст. Технология и творческий выбор / В.Н. Железняков. М.: ВГИК. 2001. 286 с.
9. Жеребцов Г.А. Изучение озонной проблемы в Институте солнечно-земной физики СО РАН / Г.А. Жеребцов, Э.С. Казимировский, В.Д. Кокоуров, В.В. Кошелев // Оптика атмосферы и океана. 1996. Т.9. № 09. С. 1255.
10. Кант И. Сочинения: в 6-и томах / И. Кант. М: Мысль. 1964. Т.3. С. 538.
11. Литературная энциклопедия: словарь литературных терминов, в 2-х т. / Под ред. Н. Бродского, А. Лаврецкого, Э. Лунина, В. Львова-Рогачевского, М. Розанова, В. Чехихина-Ветринского. М.-Л.: Изд-во Л.Д. Френкель. 1925. [Электронный ресурс]. URL: <http://feb-web.ru/feb/slt/abc/lt2/lt2-B371.htm>
12. Невский В.Н. Восприятие рельефа как средство формирования особого мировоззрения человека / В.Н. Невский // Рельеф и человек. Материалы Иркутского геоморфологического семинара – Иркутск: Институт земной коры СО РАН. Ассоциация геоморфологов России. 2004. С. 91-92.
13. Петров А.И. Об одном многомерном обобщении определителя Вронского / А.И. Петров // Успехи математических наук. 1964. Т.19. вып. 5 (119). С.194-196.
14. Писаренко Т.А. Основы дизайна / Т.А. Писаренко, Н.Н. Ставнистый. Владивосток. 2005. 112 с.
15. Половко А.М. Основы теории надежности / А.М. Половко, С.В. Гуров. СПб: БХВ-Петербург. 2006. 704 с.
16. Проскуряков М.А. Хронобиологический анализ растений при изменении климата / М.А. Проскуряков. Алматы: ЛЕМ. 2012. 228 с.
17. Соловьев В.С. Красота в природе / В.С. Соловьев // Вопросы философии и психологии. 1889. №1. С. 1-50.
18. Сошникова Л.А. Многомерный статистический анализ в экономике / Л.А. Сошникова, В.Н. Тамашевич. М.: ЮНИТИ-ДАНА. 1999. 598 с.
19. Справочник по теории автоматического управления // под ред. Красовского А.А. М.: Наука. 1987. 711 с.

20. Черкашин А.К. Полисистемное моделирование / А.К. Черкашин. Новосибирск: Наука, 2005. 280 с.
  21. Черкашин А.К. Пейзаж как отображение функционально-динамических свойств ландшафта / География и природные ресурсы / А.К.Черкашин, А.Ю. Бибаева // География и природные ресурсы, 2013. № 4. С. 157-165.
  22. Эстетика природы / под ред. К.М.Долгова. М.: Институт философии РАН. 1994. 230 с.
  23. Birkhoff G. Aesthetic measure / G.Birkhoff. - Cambridge: Harvard University Press., 1933. 292 p.
  24. Carlson A. Nature and landscape: an introduction to environmental aesthetics / A.Carlson. New York: Columbia University Press. 2008. 348 p.
  25. Parsons G. Aesthetics and nature / G.Parsons. London : Continuum Press. 2008. 322 p.
  26. Rigau J. Conceptualizing Birkhoff's aesthetic measure using Shannon entropy and Kolmogorov Complexity / Rigau J., Feixas M., Sbert M. // Computational aesthetics in graphics, visualization and imaging. - Eurographics association, 2007. Pp. 105-112
- 

**UDK: 911:502.2:7.01**

**QUANTITATIVE REGULARITIES OF FORMATION AND OBSERVATION OF  
LANDSCAPE BEAUTY**

**Alexander K. Cherkashin**

Dr., Professor, Head. Laboratory "Theoretical geography"

V.B. Sochava Institute of Geography of Siberian Branch of Russian Academy of Sciences  
1, Ulan-Bator Str., 664033, Irkutsk, Russia, e-mail: [cherk@mail.icc.ru](mailto:cherk@mail.icc.ru)

**Anna Y. Bibaeva**

PhD, Junior Scientific Officer Laboratory "Theoretical geography"

V.B. Sochava Institute of Geography of Siberian Branch of Russian Academy of Sciences  
1, Ulan-Bator Str., 664033, Irkutsk, Russia, e-mail: [pav\\_a86@mail.ru](mailto:pav_a86@mail.ru)

**Abstract.** The property of observability is investigated as quantitative assessment of condition for esthetic perception of landscapes taking into account their spatial and temporary variability. It allows to judge the internal processes basing on the system output. For analyzing the spatial and time series of geographical data in order to determine the integrity and coherence of landscape structures the Wronski's and Casorati's determinants are used as indicators of aesthetic value. The analogy of wronskian with reliability function, efficiency of resources usage and intensity of failures is identified.

**Keywords:** observability, esthetic quality, unified physical-geographical process, Wronsky's determinant.

**References**

1. Agafonov S.A. Differencial'nye uravneniya [Difference equation] / Moscow: MGTU im. Baumana = Moscow State Technical University named by Bauman. 1999. 336 p. (in Russian)

2. Bibaeva A.Yu., German A.D., Muratova T.V. Landshaftno-tipologicheskoe kartografirovaniye dlya ocenki ehsteticheskikh resursov territorii [Landscape-typological mapping to assess the aesthetic resources of the territory] // Geodeziya i kartografiya = Geodesy and Cartography. Moscow. 2013. №5. Pp. 16-23. (in Russian)
3. Bibaeva A.Yu., Istomina E.A. Posledovatel'nost' procedur geoinformacionnogo analiza i sinteza geoizobrazhenij pri kartografirovanii landshaftov Severo-vostochnogo Prihubsugul'ya [The sequence of geoinformation analysis and synthesis geoimages for mapping the Northeast Hovsgol landscape] // Geodeziya i kartografiya = Geodesy and Cartography. Moscow. 2011. №5. P. 19-27. (in Russian)
4. Bokov V.A., Seliverstov Yu.P., Chervanov I.G. Obshchee zemlevedeniye: Uchebnik [General geography: Textbook]. SPb: Publishing house of the St. Petersburg University Press. 1998. 268 p. (in Russian)
5. Hegel G.W.F. EHstetika: v 4-h tomah [Aesthetics: 4 volumes] M.: Art. 1968. V.1. 312 p. (in Russian)
6. Grigoriev A.A. Zakonomernosti stroeniya i razvitiya geograficheskoy sredy [Laws of the structure and development of the geographical environment] . Thought. 1966. 382 p. (in Russian)
7. Debarkader L.A. Teoriya vospriyatiya cveta Lyushera [The theory of color perception Luscher] [Electronic resource]. - URL: [http://wmille.ucoz.ru/news/teorija\\_vosprijatija\\_cveta\\_ljushera/2014-04-11-153](http://wmille.ucoz.ru/news/teorija_vosprijatija_cveta_ljushera/2014-04-11-153) (in Russian)
8. Zheleznyakov V.N. Cvet i kontrast. Tekhnologiya i tvorcheskij vybor [Color and contrast. Technology and creative choice] M.: Film Institute. 2001. 286 p. (in Russian)
9. Zherebtzov G.A., Kazimirovsky E.S., Kokourov V.D., Koshelev V.V. Izuchenie ozonnoy problemy v Institute solnechno-zemnoj fiziki SO RAN [The study of the ozone problem in the Institute of Solar-Terrestrial Physics SB RAS] // Optics of atmosphere and ocean, 1996. - V.9. - № 09. - Pp. 1255. (in Russian)
10. Kant I. Sochineniya: v 6-i tomah [Works: in 6 volumes] Moscow: Misl, 1964. - Vol.3. - Pp. 538. (in Russian)
11. Literaturnaya ehnciklopediya: slovar' literaturnyh terminov, v 2-h t. [Literary Encyclopedia: Dictionary of literary terms, 2 volume] / Ed.. N.Brodsky, A.Lavretsky, E.Lunin V.Lvov-Rogachev, M.Rozanov, V.Cheshihina-Vetrinsky. - M.-L.: Publishing house of the LD Frenkel, 1925. - [Electronic resource]. - URL: <http://feb-web.ru/feb/slt/abc/lt2/lt2-B371.htm> (in Russian)
12. Nevsky V.N. Vospriyatye rel'efa kak sredstvo formirovaniya osobogo mirovozzreniya cheloveka [The perception of relief as a means of formation of a particular world view of human] // Relief and people. Materials Irkutsk geomorphological seminar - Irkutsk Institute of Earth's Crust, Siberian Branch, Russian Association of geomorphology. 2004. Pp. 91-92. (in Russian)
13. Petrov A.I. Ob odnom mnogomernom obobshchenii opredelatelya Vronskogo [On a multidimensional generalization of the Wronskian] // Successes of Mathematical Sciences, 1964. T.19. Vol. 5 (119). Pp.194-196. (in Russian)
14. Pisarenko T.A., Stavnisty N.N. Osnovy dizajna [Design Basics]. / Vladivostok. 2005. 112 p. (in Russian)

15. Polovko A.M., Gurov S.V. Osnovy teorii nadezhnosti [Fundamentals of the theory of reliability] / SPb: BHV-Petersburg. 2006. 704 p. (in Russian)
16. Proskuryakov M.A. Hronobiologicheskij analiz rastenij pri izmenenii klimata [Chronobiological analysis of plants to climate change] / Almaty: LEM. 2012. 228 p. (in Russian)
17. Solovyov V.S. Krasota v prirode [Beauty in nature] // Problems of Philosophy and Psychology. 1889. №1. Pp. 1-50. (in Russian)
18. Soshnikov L.A., Tamashevich V.N. Mnogomernyj statisticheskij analiz v ehkonomie [Multivariate statistical analysis in economics] / M.: UNITY-DANA. 1999. 598 p. (in Russian)
19. Справочник по теории автоматического управления [Guide to the automatic control theory] // ed. Krasovsky AA - M.: Nauka. 1987. 711 p.
20. Cherkashin A.K. Polisistemnoe modelirovanie [Polysystemic modeling] / Novosibirsk: Nauka. 2005. 280 p.
21. Cherkashin A.K., Bibaeva A.Y. Pejzazh kak otobrazhenie funkcional'no-dinamicheskikh svojstv landshafta [The landscape scene as a reflection of the functional-dynamic properties of the landscape] // Geography and natural resources. 2013. № 4. Pp. 157-165.
22. EHstetika prirody [Aesthetics of Nature] / ed. K.M.Dolgova. M.: Institute of Philosophy RAS. 1994. 230 p. (in Russian)
23. Birkhoff G. Aesthetic measure / G.Birkhoff. - Cambridge: Harvard University Press, 1933. 292 p.
24. Carlson A. Nature and landscape: an introduction to environmental aesthetics / A. Carlson. - New York: Columbia University Press. 2008. 348 p.
25. Parsons G. Aesthetics and nature / G. Parsons. London : Continuum Press. 2008. 322 p.
26. Rigau J. Conceptualizing Birkhoff's aesthetic measure using Shannon entropy and Kolmogorov Complexity / Rigau J., Feixas M., Sbert M. // Computational aesthetics in graphics, visualization and imaging. Eurographics association. 2007. Pp. 105-112

## **ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ТРАЕКТОРИИ БРОШЕННОГО ОБЪЕКТА ПРИ РОБОТОТЕХНИЧЕСКОМ ЗАХВАТЕ**

**Миронов Константин Валерьевич**

Doktor der Technischen Wissenschaften, старший преподаватель,  
Уфимский государственный авиационный технический университет,  
e-mail: mironovconst@gmail.com

**Малахова Анна Ивановна**

Канд. техн. наук, доцент, Уфимский государственный авиационный  
технический университет, e-mail: aimalakhova@gmail.com

**Владимирова Ирина Петровна**

Аспирант, Уфимский государственный авиационный  
технический университет, 450000 г. Уфа, ул. Карла Маркса 12,  
e-mail: ooo-flaming@mail.ru

**Аннотация.** Рассматривается задача прогнозирования траектории брошенного объекта с целью обеспечить его захват робототехническим манипулятором, возникающая в системах транспортировки объектов на основе их переброса. В отличие от известных предикторов траектории брошенного объекта, использующих моделирование баллистического движения, авторы предлагают подход, основанный на методе k-ближайших соседей и не требующий априорного знания аэродинамических характеристик объекта. Прогнозирование производится на основе прецедентов. Предложены два усовершенствования алгоритма ближайших соседей. Во-первых, предложена и разработана методика модификации координатной системы, в которой представлена траектория. Эта модификация позволяет повысить эффективность использования базы прецедентов. Во-вторых, предложен и разработан иерархический подход к поиску ближайших соседей в базе прецедентов. Этот подход позволяет понизить объем вычислений, производимых при прогнозировании. Вычислительные эксперименты по прогнозированию реальных траекторий брошенных объектов показали высокую эффективность предложенных методов.

**Ключевые слова:** Техническое зрение, прогнозирование временных рядов, робототехника, метод k-ближайших соседей, обучение на основе прецедентов.

**Введение.** В легкой промышленности часто возникает задача транспортировки заготовок между обрабатывающими их станками. Традиционным подходом к решению этой задачи является использование конвейеров. При конвейерном методе производства станки размещаются вдоль конвейера и последовательно обрабатывают заготовку, превращая ее в готовый продукт. В последние годы во всем мире значительно повысились объемы выпуска продукции легкой промышленности и степень дифференцированности производимых ею предметов и деталей [29]. Это определяет актуальность усовершенствования существующих

и разработки новых подходов к обеспечению транспортировки объектов в промышленной среде.

Робототехнический переброс как метод такой транспортировки был предложен в 2006 году в работе [10]. Транспортировка объекта из некоторого пункта отправления А в некоторый пункт назначения В осуществляется следующим образом: робот-бросатель, расположенный в А, бросает объект в направлении В и извещает об этом по линии связи, а робот-ловец, расположенный в В, получив извещение, осуществляет захват объекта на лету. Хотя до 2006 года робототехнический переброс не предлагался в качестве метода транспортировки в промышленной среде, сам по себе он существовал и рассматривался как направление развития теоретической робототехники. Впервые робототехнический захват брошенного объекта был осуществлен в 1991 году [15]. Впоследствии задача его обеспечения рассматривалась в целом ряде работ [1, 2, 4, 7, 11, 12, 14, 17, 20, 24 - 26].

Авторы [10, 29] выделяют следующие потенциальные преимущества робототехнического переброса по сравнению с традиционными системами на основе конвейеров:

- Большая гибкость. Под гибкостью понимается возможность быстрого развертывания, свертывания и перепланировки транспортной сети с произвольной топологией, использования в производственных помещениях произвольной планировки.
- Большая скорость транспортировки объектов.
- Меньшая энергоемкость [10].

Доля успешных захватов в большинстве существующих систем не превышает 80% (два исключения – [7] и [11] – в первой работе высокая доля успешных захватов обеспечивается большими линейными размерами устройства захвата, во второй – бросанием цилиндрических объектов высокой аэродинамической стабильности), что недостаточно для применения в реальной промышленной среде. Таким образом, практическая реализация транспортировки путем робототехнического переброса является сложной и актуальной научной задачей.

Для успешного захвата необходимо знание о том, в какой точке пространства будет находиться объект в момент захвата и с какой скоростью он при этом будет двигаться [29]. Точка в пространстве и времени, в которой осуществляется захват, выбирается среди множества точек, проходимых объектом при пролете через рабочее пространство устройства захвата. Их совокупность образует траекторию объекта в рабочем пространстве устройства захвата. Эта траектория должна быть спрогнозирована заблаговременно, чтобы робот-ловец успел произвести захват [29]. Данная статья посвящена задаче прогнозирования траектории брошенного тела. В разделе 1 дан краткий обзор существующих подходов к прогнозированию траектории брошенного тела. В разделе 2 описывается предложенный алгоритм. В разделе 3 приводятся результаты эксперимента по оценке точности прогнозирования траектории.

В качестве бросаемого объекта в работе был использован теннисный мяч. Это, с одной стороны, объект достаточно сложный и нестабильный аэродинамически [19], чтобы его траекторию нельзя было точно спрогнозировать с помощью простейших моделей, с другой стороны, его аэродинамические характеристики исследованы достаточно подробно (в [19] дан подробный обзор исследования его характеристик за 50 лет), чтобы

аэродинамическая модель могла быть использована для проверки точности работы алгоритма.

**1. Состояние предметной области.** Существующие системы робототехнического захвата объектов на лету можно разделить на три группы:

- **Системы точного броска.** Высокая точность броска (т.е. малое отклонение начальной скорости и направления полета от заданного значения) позволяет добиться того, что траектории брошенных объектов каждый раз оказываются практически идентичны. В этом случае нет нужды после каждого броска прогнозировать траекторию заново. Достаточно осуществить бросок один раз, отследить траекторию объекта и на ее основе выработать траекторию устройства захвата. Такой подход применим к объектам, обладающим высокой аэродинамической стабильностью (например, объекты цилиндрической формы в [11]). Если бросаемые объекты не обладают требуемой аэродинамической стабильностью (исследования в [19] и [11] показывают, что ею не обладают даже столь простые по форме объекты, как теннисный мяч и полый металлический цилиндр соответственно) подход становится неприменим.

- **Системы интерактивного захвата.** В таких системах прогнозирование не применяется: движение устройства захвата определяется текущим положением объекта. Например, в [24] движение рабочего органа задается таким образом, чтобы поддерживать постоянное значение угла зрения на объект на изображении с камеры, прикрепленной к устройству захвата. В [25] в каждый момент времени движение робота задается в направлении текущего положения объекта. Реализация таких систем требует высокой скорости реакции робототехнического устройства захвата и высокой оперативности получения информации о движении объекта (например, в [25] применена система технического зрения, в которой частота кадров доведена до 1 кГц за счет прямого подключения элементов ПЗС-матрицы<sup>1</sup> к процессору). Подход неприменим, если бросок осуществляется с большого расстояния и необходимо заранее выбрать, в какой области рабочего пространства поместить устройство захвата (подобно тому, как футболист-вратарь сначала выбирает, в какой угол броситься, а уже потом ловит мяч). Поскольку транспортировка объектов в промышленной среде предполагает броски на расстояние до нескольких метров, для подобных систем такой метод не подходит.

- **Системы с долгосрочным прогнозированием.** К ним относятся системы, описанные в работах [1 - 4, 7, 12, 14 - 17, 20, 23, 27], а также система, рассматриваемая в данной статье. Более подробный обзор таких систем дан ниже.

Большая часть предикторов баллистической траектории основана на моделировании сил, действующих на тело. В самом простом случае предполагается, что единственной такой силой является сила тяжести (как если бы тело двигалось в вакууме). Такая модель рассмотрена в работах [14, 15, 26]. Прогнозирование траектории осуществляется путем аппроксимации измеренных значений параболой. В работах [16, 17] модель расширена для прогнозирования траектории асимметричных объектов (в экспериментах применялись пустые и наполовину наполненные пластиковые бутылки, молотки, теннисные ракетки, коробки). Прогнозирование траектории делалось на основе предположения о постоянстве вектора ускорения объекта по всем шести степеням свободы. Строго говоря, это

<sup>1</sup> ПЗС – сокращение от прибор с зарядовой связью

предположение неверно. Движение тела под действием силы тяжести и сопротивления воздуха задается дифференциальным уравнением, которое не имеет аналитического решения [27] и на практике решается численными методами. Такой подход был использован для прогнозирования траектории в ряде работ [1-4, 12, 27]. Дальнейшее усложнение аналитических моделей ведет к значительному увеличению объема производимых вычислений [29].

С другой стороны, люди обретают способность ловить брошенные предметы уже в раннем возрасте и знание аэродинамики им для этого не требуется. Человек ловит брошенный мяч, основываясь на своем предыдущем опыте. Исходя из этого, было предложено [20-23] использование предиктора траектории, основанного на предыдущем опыте. В [20] в качестве средства прогнозирования был предложен нейросетевой предиктор, однако он не обеспечивал должной точности прогноза. К тому же результаты прогнозирования нейронными сетями сложно интерпретировать, поэтому в последующем было предложено применить более прозрачный метод k-ближайших соседей [21]. Развитие отдельных деталей этого метода описано в работах [22, 23]. В данной статье описывается финальная версия разработанного алгоритма, приводятся результаты экспериментов по захвату брошенных объектов с его использованием.

**2. Алгоритм прогнозирования траектории брошенного объекта.** Предиктор траектории использует в качестве входных данных последовательность пространственных координат объекта, измеренных системой видеонаблюдения. Порядок извлечения пространственных координат объекта из последовательности изображений с двух камер описан в [31,13]. Сначала с помощью фильтра Кэнни [6] производится выделение границ мяча на каждом изображении, затем с помощью алгоритма RANSAC [9] определяются пиксельные координаты его центра в каждом изображении. Пространственные координаты центра определяются с помощью операции стереотриангуляции из пиксельных координат на двух изображениях, снятых одновременно разными камерами. Эти координаты заданы в системе отсчета, связанной с оптическим центром одной из камер.

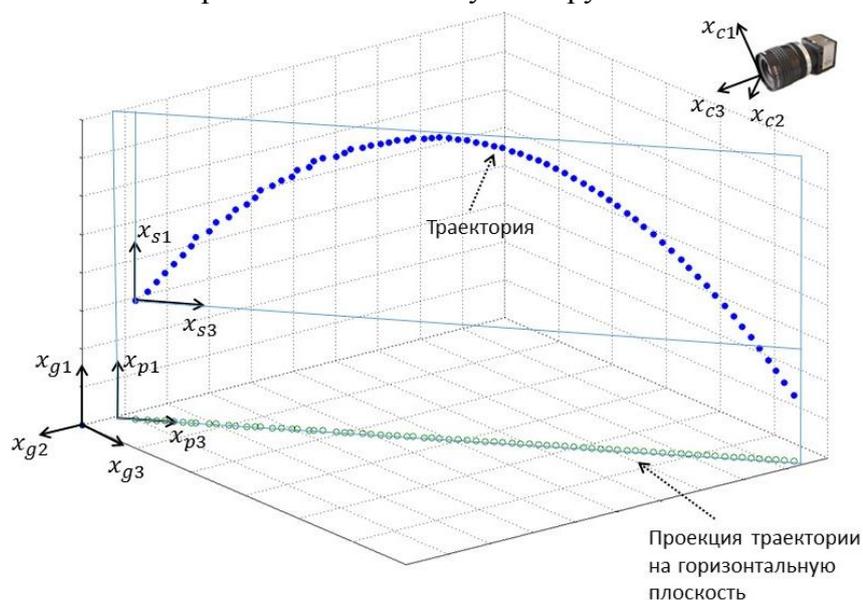
Предложенный алгоритм прогнозирования траектории брошенного объекта основывается на методе k-ближайших соседей. Реализация метода рассмотрена в подразделе 2.2. Данный метод прост в реализации и не требует априорного знания аэродинамики брошенных объектов; к тому же в отличие от многих других интеллектуальных методов (например, нейронных сетей или машин опорных векторов) результаты его работы легко поддаются интерпретации: прогноз делается на основании сходства текущей траектории с конкретными прецедентами из базы. Основным недостатком метода является необходимость сравнивать текущую траекторию со всеми прецедентами из базы, что при большом объеме базы делает прогнозирование весьма ресурсоемким. Для того, чтобы сократить время поиска ближайших соседей, предлагается сравнивать текущую траекторию не со всеми траекториями из базы, а только со сравнительно небольшим подмножеством похожих траекторий. В подразделе 2.3 рассмотрено, каким образом выделяется это подмножество.

Другой трудностью при построении предиктора на основе метода k-ближайших соседей является определение критериев подобия прецедентов. В [21] предложено считать ближайшей к текущей такую траекторию, у которой среднее евклидово расстояние до соответствующих точек текущей траектории минимально. Соответствующими здесь являются такие две точки на двух траекториях, для которых время, прошедшее с момента

запуска объекта, одинаково. Стереосистема, используемая для отслеживания траектории брошенного объекта, измеряет его положение в системе координат, связанной с оптическим центром левой камеры. В принципе, прогнозирование траектории можно производить и в таком виде, однако тогда степень близости траекторий будет определяться не только сходством их формы, но также направлением броска и положением точки, из которой совершается бросок. Нами предложено преобразовать координаты брошенного объекта в такую систему, где траектории можно будет сравнивать и прогнозировать на основании исключительно формы траектории. Предложенный способ преобразования координат рассмотрен в подразделе 2.1.

**2.1. Преобразование пространственных координат.** Цель преобразований координат – представить траектории брошенных объектов в таком виде, в котором их будет удобно сравнивать. Для этого предложена следующая последовательность преобразования координат:

- Трехмерная система  $x_{c1}Ox_{c2}x_{c3}$ , в которой точка  $O$  совпадает с оптическим центром левой камеры стереопары, а ось  $x_{c3}$  со направлена оптической оси камеры. В этой координатной системе положение объекта измеряет стереопара.
- Трехмерная система  $x_{g1}Ox_{g2}x_{g3}$ , в которой ось  $x_{g1}$  сонаправлена вектору силу тяжести, а плоскость, образованная двумя другими осями, является, соответственно, горизонтальной. Такая координатная система позволяет локализовать влияние силы тяжести в одном пространственном измерении. Как будет показано ниже, перевод из такой системы в плоскость полета  $x_{p1}Ox_{p3}$  проще, чем из системы  $x_{c1}Ox_{c2}x_{c3}$ . Матрица перехода из  $x_{c1}Ox_{c2}x_{c3}$ , в  $x_{g1}Ox_{g2}x_{g3}$  определяется в ходе калибровки стереосистемы. Вектор силы тяжести в системе  $x_{c1}Ox_{c2}x_{c3}$ , можно определить, подвесив груз на нити: в состоянии равновесия нить параллельна искомому вектору.



**Рис. 1.** Взаимное расположение координатных систем

- Двухмерная система  $x_{p1}Ox_{p3}$  (плоскость полета), в которой ось  $x_{p1}$  сонаправлена оси  $x_{g1}$ , а на оси  $x_{p3}$  лежит горизонтальная проекции скорости объекта. В том

случае, если в полете на тело не действуют боковые силы (они могут быть связаны, например, с действием ветра или с эффектом Магнуса) траектория полета лежит в такой плоскости. Эксперименты, проведенные в [22], показали, что влиянием боковых сил на полет объекта можно пренебречь. Поскольку реальное направление броска в каждом случае будет отличаться от остальных, то и матрица перехода между системами будет своя для каждого случая. Двухмерная система  $x_{s1}Ox_{s3}$ , в которой направления осей совпадают с таковыми в  $x_{p1}Ox_{p3}$ , а центр находится на одной из первых точек траектории. Перенос траектории в такую систему координат обеспечивает независимость результата от пространственного расположения точки, из которой был произведен бросок. Анализ точности измерений, проведенный в [23] показал, что на первых нескольких кадрах точность чуть хуже, чем на последующих. Поэтому в качестве общего центра координат была выбрана шестая точка на траектории.

Взаимное расположение координатных систем показано на рисунке 1. На этапе обучения предиктора все траектории в базе преобразуются в систему  $x_{s1}Ox_{s3}$ , и сохраняются в памяти в таком виде. В процессе работы предиктора текущая траектория  $\mathbf{X}_C$  преобразуется в систему  $x_{s1}Ox_{s3}$ , в этой системе производится прогнозирование, а затем результат  $\mathbf{Y}_C$  преобразуется обратно в исходную систему координат.

**2.2. Операция прогнозирования.** Пусть известно, что  $\mathbf{X}_C$  – часть траектории, измеренная средствами отслеживания траектории,  $\mathbf{Y}_C$  – часть траектории, которую необходимо спрогнозировать, а  $\mathbf{D}=\{\mathbf{X}_1, \mathbf{Y}_1, \mathbf{X}_2, \mathbf{Y}_2, \dots, \mathbf{X}_k, \mathbf{Y}_k\}$  – ближайшие соседи текущей траектории. Все траектории заданы в системе координат  $x_{s1}Ox_{s3}$ . Прогноз определяется по формуле:

$$Y_c = \sum_{i=1}^k Y_i. \quad (6)$$

Значение  $k$  может быть различно. В рассматриваемом алгоритме было взято  $k=2$ . Кроме того, введено следующее дополнительное правило: один из ближайших соседей  $\{\mathbf{X}_i, \mathbf{Y}_i\}$  должен располагаться ниже текущей траектории, другой – выше текущей траектории. Траектория считается расположенной выше текущей, если большинство точек на ней имеют большее значение координаты  $x_{s1}$ , чем соответствующие им точки на текущей траектории. Введение таких дополнительных условий было продиктовано соображением, что если текущая траектория расположена между двумя другими траекториями, то ошибка прогнозирования скорее всего будет ограничена шириной коридора между этими траекториями. Это предположение является чисто интуитивным и выполняется далеко не всегда. Тем не менее, эксперименты показали, что оно позволяет максимизировать точность прогноза (см. подробнее в разделе 3).

Пример прогнозирования траектории проиллюстрирован на рисунке 2. Здесь представлен график зависимости от времени координаты  $x_{s1}$  для шести различных траекторий. Третья траектория сверху это текущая траектория, вторая – ее верхний ближайший сосед, четвертая – ее нижний ближайший сосед. В той части, которую надо спрогнозировать, значение координаты  $x_{s1}$  определяется как среднее значение между соответствующими точками нижней ближайшей и верхней ближайшей траекторий.

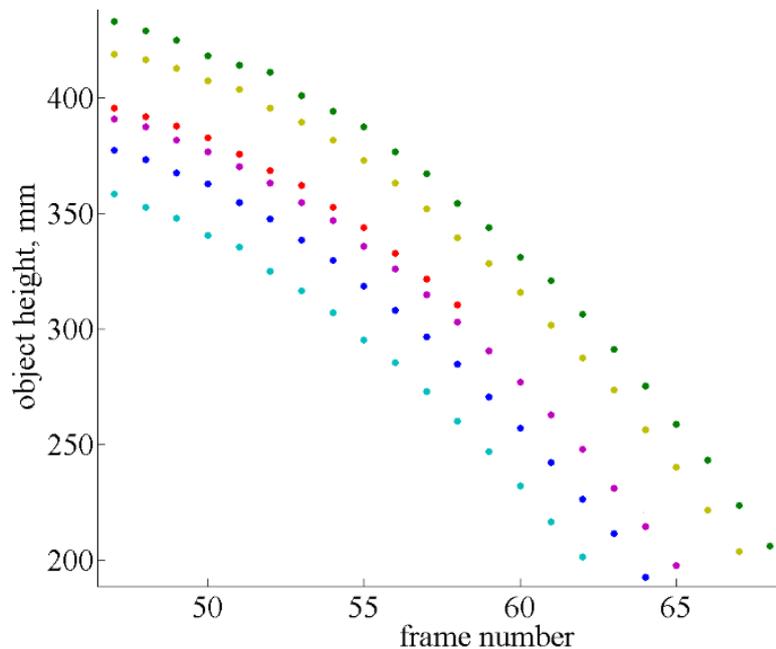


Рис. 2. Пример прогнозирования траектории

**2.3. Выделение подмножества близких траекторий.** Приведенный выше пример не учитывает два обстоятельства:

- Необходимость прогнозировать значение координаты  $x_{s3}$ .
- На рисунке 2 для любого момента времени точки разных траекторий располагаются друг над другом в одном и том же порядке. В общем случае нет никакой гарантии, что порядок точек со временем не будет меняться (т.е., что траектории не будут перекрещиваться), а значит, нет никакой гарантии, что если текущая траектория находится между своими ближайшими соседями в начале полета, то она будет находиться между ними и в его конце.

Чтобы решить эти проблемы, а также упомянутую выше проблему ресурсоемкости прогнозирования, предлагается при поиске ближайших соседей сравнивать текущую траекторию не со всеми траекториями из базы, а только с небольшим подмножеством похожих траекторий. В это подмножество должны попадать траектории со следующими свойствами:

- Траектории в подмножестве не перекрещиваются, т.е. если одна траектория находится между двумя другими вначале, она должна оставаться между ними в течение всего полета.
- Если одна траектория находится между двумя другими по координате  $x_{s1}$ , то она должна находиться между этими двумя траекториями и по координате  $x_{s3}$ , либо все три траектории должны иметь приблизительно одно значение.

Для реализации такого выделения подмножества предлагается следующий подход. Для каждой траектории в базе вычисляется среднее значение горизонтальной скорости объекта, после чего все траектории сортируются по возрастанию этого значения. При прогнозировании текущей траектории поиск производится только среди траекторий из базы, имеющих близкое к текущей значение горизонтальной скорости. Поскольку значение горизонтальной скорости для траекторий подмножества примерно одинаково, то и значение

координаты  $x_{33}$  для каждого определенного момента времени будет приблизительно одинаковым для всех траекторий.

**3. Экспериментальная оценка эффективности предложенного алгоритма.** Оценка проводилась в два этапа. На первом этапе прогнозирование выполнялось виртуально и результат сравнивался с реальной траекторией объекта (вычислительный эксперимент), на втором алгоритм был интегрирован в работу реальной робототехнической установки по бросанию и захвату объектов (лабораторный эксперимент). Цель вычислительного эксперимента – определить точность прогнозирования при различных значениях параметров алгоритма. Цель лабораторного эксперимента – показать применимость алгоритма на практике.

Вычислительный эксперимент дал следующие результаты:

- Для 92% траекторий максимальная ошибка прогнозирования предложенного алгоритма составила менее 3 см.
- Прогноз на основе одного верхнего и одного нижнего ближайшего соседа имеет более высокую точность, чем прогноз на основе двух ближайших соседей вне зависимости от их расположения, либо прогноз на основе любого иного количества соседей. Сравнение эффективности приведено в таблице 1.
- По мере увеличения количества элементов в подмножестве близких траекторий точность прогнозирования растет и достигает максимума, когда подмножество составляет примерно одну восьмую от всего множества. При большей величине множества точность остается такой же. Влияние размера подмножества на точность для базы из 100 траекторий показано в таблице 2.

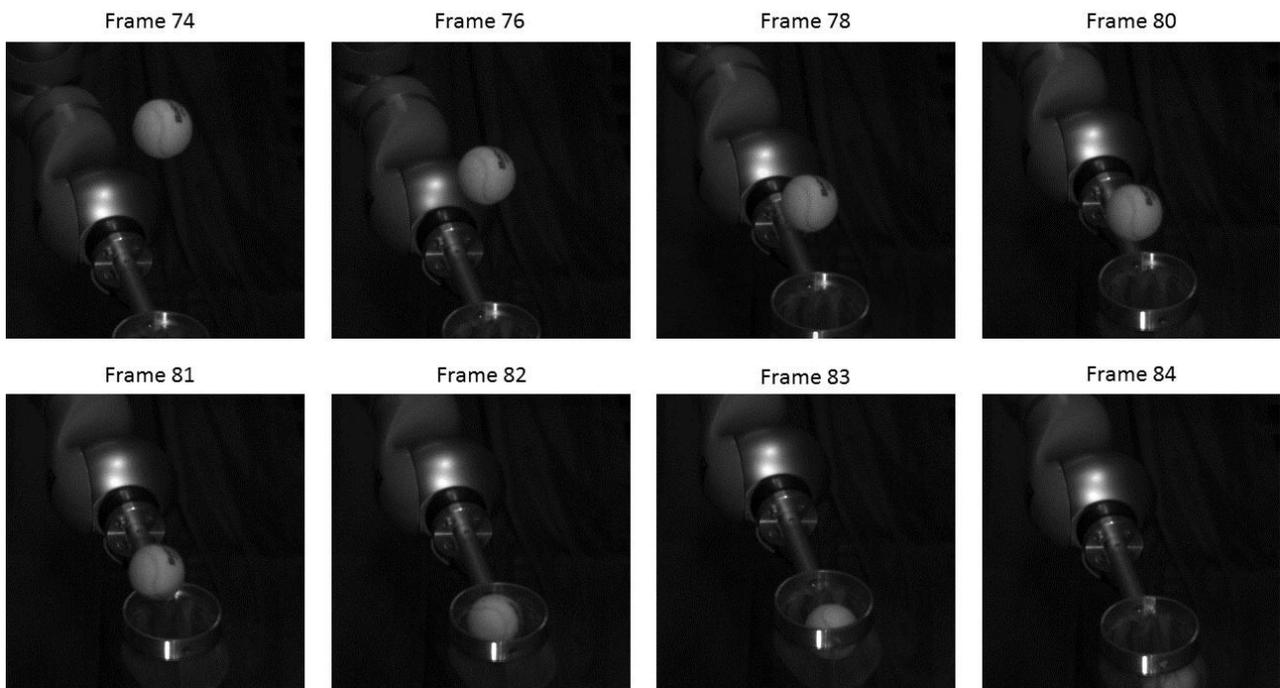
Табл. 1. Зависимость медианной ошибки прогноза от количества ближайших соседей

k	Медианная ошибка, мм
1	15
1+1	7
2	10
3	11
4	13

Табл. 1. Зависимость медианной ошибки прогноза от количества элементов n в подмножестве близких траекторий для множества из 100 траекторий

n	Медианная ошибка, мм
3	25
6	13
12	7
25	7
50	7

На этапе лабораторного эксперимента алгоритм был интегрирован в робототехническую установку для бросания и захвата объектов. Установка включает бросающее устройство, систему видеонаблюдения, робототехнический манипулятор KUKA LWR 4+ с семью степенями свободы и персональный компьютер для обработки данных. Захват брошенного объекта системой показан на рисунке 3.



**Рис. 3.** Захват объекта робототехническим манипулятором

**Заключение.** В работе представлен алгоритм прогнозирования траектории брошенного объекта в системе робототехнического захвата. Алгоритм основан на методе *k*-ближайших соседей, дополненном рядом усовершенствований. Эффективность алгоритма подтверждена вычислительными и робототехническими экспериментами.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Baeuml B., Wimboeck T., Hirzinger G. Kinematically Optimal Catching a Flying Ball with a Hand-Arm-System // IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems. 2010. Pp. 2592-2599.
2. Baeuml B., Birbach O., Wimboeck T., Frese U., Dietrich A., Hirzinger G. Catching Flying Balls with a Mobile Humanoid: System Overview and Design Considerations // IEEE-RAS International Conference on Humanoid Robots. 2011. Pp. 513-520.
3. Barteit D., Frank H., Kupzog F. Accurate prediction of interception positions for catching thrown objects in production systems // IEEE International Conference on Industrial Informatics. 2008. Pp. 893-898.
4. Barteit, D. Tracking of Thrown Objects // Dissertation. Faculty of Electrical Engineering, Vienna University of Technology. 2011. 166 p.
5. Bhatia N., Vandana: Survey of Nearest Neighbor Techniques // International Journal of Computer Science and Information Security. 2010. Vol. 8. No. 2.
6. Canny, J. A Computational Approach to Edge Detection // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. 1986. Vol. 8. No. 6.
7. Cigliano P., Lippiello V., Ruggiero F., Siciliano B. Robotic Ball Catching with an Eye-in-Hand Single-Camera System // IEEE Transactions on Control System Technology. 2015. Vol. 23. No. 5. Pp. 1657-1671.

8. Cover T.M., Hart P.E. Nearest Neighbor Pattern Classification // IEEE Transactions in Information Theory. 1967. Vol. IT-13. Pp. 21-27.
9. Fischler M.A., Bolles R.C. Random Sample Consensus: A Paradigm for Model Fitting with Applications to Image Analysis and Automated Cartography // Communications of the Association for Computing Machinery. 1981. Vol. 24. No. 6. Pp. 381-395.
10. Frank H., Wellerdick-Wojtasik N., Hagebeuker B., Novak G., Mahlknecht S. Throwing Objects: a bio-inspired Approach for the Transportation of Parts // IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics. 2006. Pp. 91-96.
11. Frank T., Janoske U., Mittnacht A., Schroedter C. Automated Throwing and Capturing of Cylinder-Shaped Objects // IEEE International Conference on Robotic and Automation. 2012. Pp. 5264-5270.
12. Frese U., Baeuml B., Haidacher S., Schreiber G., Schaefer I., Haehnle M., Hirzinger G. On-the-Shelf Vision for a Robotic Ball Catcher // IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems. 2001. Pp. 591-596.
13. Goetzinger, M.: Object Detection and Flightpath Prediction // Diploma Thesis. Faculty of Electrical Engineering. Technische Universitaet Wien. 2015. 95 p.
14. Herrejon R., Kagami S., Hashimoto K. Position Based Visual Servoing for Catching a 3-D Flying Object Using RLS Trajectory Estimation from a Monocular Image Sequence // IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics. 2009. Pp. 665-670.
15. Hove B., Slotine J.-J. Experiments in Robotic Catching // American Control Conference. 1991. Pp. 381-386.
16. Kim S., Billard A. Estimating the non-linear dynamics of free-flying objects // Robotics and Autonomous Systems. 2012. Vol. 60. Pp. 1108-1122.
17. Kim S., Shukla A., Billard A. Catching Objects in Flight // IEEE Transactions on Robotics. 2014. Vol. 30. No. 5. Pp. 1049-1065.
18. Lee J.H., Akiyama T., Hashimoto H. Study on Optimal Camera Arrangement for Positioning People in Intelligent Space // IEEE/RSJ international conference on intelligent robots and systems. 2002. Pp. 220-225.
19. Mehta R., Alam F., Subic A. Review of tennis ball aerodynamics // Sports technology review. 2008. No. 1. Pp. 7-16.
20. Mironov K.V., Pongratz M. Applying neural networks for prediction of flying objects trajectory // Vestnik UGATU. 2013. Vol. 17. No. 6(59). Pp. 33-37.
21. Mironov K.V., Pongratz M., Dietrich D. Predicting the Trajectory of a Flying Body Based on Weighted Nearest Neighbors // International Work-Conference on Time Series. 2014. Pp. 699-710.
22. Mironov K.V., Vladimirova I.V., Pongratz M. Processing and Forecasting the Trajectory of a Thrown Object Measured by the Stereo Vision System // IFAC-PapersOnLine. 2015. Vol. 48. No. 11. Pp. 28-35.
23. Mironov K.V., Pongratz M. Fast kNN-based Prediction for the Trajectory of a Thrown Body // 24th Mediterranean Conference on Control and Automation MED 2016. 2016. Pp. 512-517.

24. Mori R., Hashimoto K., Miyazaki F. Tracking and Catching of 3D Flying Target based on GAG Strategy // IEEE International Conference on Robotics & Automation. 2004. Pp. 5189-5194.
  25. Namiki A., Ishikawa M. Robotic Catching Using a Direct Mapping from Visual Information to Motor Command // IEEE Int. Conf. on Robotics&Automation. 2003. Pp. 2400-2405.
  26. Nishiwaki K., Konno A., Nagashima K., Inaba M., Inoue H. The Humanoid Saika that Catches a Thrown Ball// IEEE International Workshop on Robot and Human Communication. Pp. 94-99.
  27. Pongratz, M. Object Touchdown Position Prediction // Diploma Thesis. Faculty of Electrical Engineering. Vienna University of Technology. 2009. 81 p.
  28. Pongratz M., Kupzog F., Frank H., Barteit, D. Transport by Throwing - a bio-inspired Approach // IEEE International Conference on Industrial Informatics. 2010. Pp. 685-689.
  29. Pongratz M., Pollhammer K., Szep A. KOROS Initiative: Automatized Throwing and Catching for Material Transportation // ISoLA 2011 Workshops. 2011. Pp. 136-143.
  30. Pongratz M., Mironov K.V., Bauer F. A soft-catching strategy for transport by throwing and catching // Vestnik UGATU. 2013. Vol. 17. No. 6(59). Pp. 28-32.
  31. Pongratz M., Mironov K.V. Accuracy of Positioning Spherical Objects with Stereo Camera System // IEEE International Conference on Industrial Technology. 2015. Pp. 1608-1612.
- 

**UDK 519.711.2**

**INTELLIGENT FORECASTING OF THE THROWN OBJECT'S TRAJECTORY  
FOR ROBOTIC CATCHING**

**Konstantin V. Mironov**

Doktor der Technischen Wissenschaften, senior lecturer, e-mail: [mironovconst@gmail.com](mailto:mironovconst@gmail.com)

**Anna I. Malakhova**

Cand. Tech. Sc., Doz., e-mail: [aimalakhova@gmail.com](mailto:aimalakhova@gmail.com)

**Irina P. Vladimirova**

Postgraduate student, e-mail: [ooo-flaming@mail.ru](mailto:ooo-flaming@mail.ru)

Ufa State Aviation Technical University, Karla Marxa Str. 12, 450000, Ufa, Russia

**Abstract.** The paper contains requirements to drawing up the papers for journal "Information and mathematical technologies in science and management" using Microsoft Word text editor. Necessary title Data is shown, which must present in the article, text sizes, rules of text and formula design are shown also. The presented paper can be used as template for paper preparing. All text elements are proposed with using Word styles. The examples of figures and tables are given.

**Keywords:** Machine vision, time series, robotics, k-nearest neighbors, learning from examples

## References

1. Baeuml B., Wimboeck T., Hirzinger G. Kinematically Optimal Catching a Flying Ball with a Hand-Arm-System // IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems. 2010. Pp. 2592-2599.
2. Baeuml B., Birbach O., Wimboeck T., Frese U., Dietrich A., Hirzinger G. Catching Flying Balls with a Mobile Humanoid: System Overview and Design Considerations // IEEE-RAS International Conference on Humanoid Robots. 2011. Pp. 513-520.
3. Barteit D., Frank H., Kupzog F. Accurate prediction of interception positions for catching thrown objects in production systems // IEEE International Conference on Industrial Informatics. 2008. Pp. 893-898.
4. Barteit, D. Tracking of Thrown Objects // Dissertation. Faculty of Electrical Engineering, Vienna University of Technology. 2011. 166 p.
5. Bhatia N., Vandana: Survey of Nearest Neighbor Techniques // International Journal of Computer Science and Information Security. 2010. Vol. 8. No. 2.
6. Canny, J. A Computational Approach to Edge Detection // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. 1986. Vol. 8. No. 6.
7. Cigliano P., Lippiello V., Ruggiero F., Siciliano B. Robotic Ball Catching with an Eye-in-Hand Single-Camera System // IEEE Transactions on Control System Technology. 2015. Vol. 23. No. 5. Pp. 1657-1671.
8. Cover T.M., Hart P.E. Nearest Neighbor Pattern Classification // IEEE Transactions in Information Theory. 1967. Vol. IT-13. Pp. 21-27.
9. Fischler M.A., Bolles R.C. Random Sample Consensus: A Paradigm for Model Fitting with Applications to Image Analysis and Automated Cartography // Communications of the Association for Computing Machinery. 1981. Vol. 24. No. 6. Pp. 381-395.
10. Frank H., Wellerdick-Wojtasik N., Hagebeuker B., Novak G., Mahlknecht S. Throwing Objects: a bio-inspired Approach for the Transportation of Parts // IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics. 2006. Pp. 91-96.
11. Frank T., Janoske U., Mittnacht A., Schroedter C. Automated Throwing and Capturing of Cylinder-Shaped Objects // IEEE International Conference on Robotic and Automation. 2012. Pp. 5264-5270.
12. Frese U., Baeuml B., Haidacher S., Schreiber G., Schaefer I., Haehnle M., Hirzinger G. On-the-Shelf Vision for a Robotic Ball Catcher // IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems. 2001. Pp. 591-596.
13. Goetzinger, M.: Object Detection and Flightpath Prediction // Diploma Thesis. Faculty of Electrical Engineering. Technische Universitaet Wien. 2015. 95 p.
14. Herrejon R., Kagami S., Hashimoto K. Position Based Visual Servoing for Catching a 3-D Flying Object Using RLS Trajectory Estimation from a Monocular Image Sequence // IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics. 2009. Pp. 665-670.
15. Hove B., Slotine J.-J. Experiments in Robotic Catching // American Control Conference. 1991. Pp. 381-386.

16. Kim S., Billard A. Estimating the non-linear dynamics of free-flying objects // *Robotics and Autonomous Systems*. 2012. Vol. 60. Pp. 1108-1122.
17. Kim S., Shukla A., Billard A. Catching Objects in Flight // *IEEE Transactions on Robotics*. 2014. Vol. 30. No. 5. Pp. 1049-1065.
18. Lee J.H., Akiyama T., Hashimoto H. Study on Optimal Camera Arrangement for Positioning People in Intelligent Space // *IEEE/RSJ international conference on intelligent robots and systems*. 2002. Pp. 220-225.
19. Mehta R., Alam F., Subic A. Review of tennis ball aerodynamics // *Sports technology review*. 2008. No. 1. Pp. 7-16.
20. Mironov K.V., Pongratz M. Applying neural networks for prediction of flying objects trajectory // *Vestnik UGATU*. 2013. Vol. 17. No. 6(59). Pp. 33-37.
21. Mironov K.V., Pongratz M., Dietrich D. Predicting the Trajectory of a Flying Body Based on Weighted Nearest Neighbors // *International Work-Conference on Time Series*. 2014. Pp. 699-710.
22. Mironov K.V., Vladimirova I.V., Pongratz M. Processing and Forecasting the Trajectory of a Thrown Object Measured by the Stereo Vision System // *IFAC-PapersOnLine*. 2015. Vol. 48. No. 11. Pp. 28-35.
23. Mironov K.V., Pongratz M. Fast kNN-based Prediction for the Trajectory of a Thrown Body // *24th Mediterranean Conference on Control and Automation MED 2016*. 2016. Pp. 512-517.
24. Mori R., Hashimoto K., Miyazaki F. Tracking and Catching of 3D Flying Target based on GAG Strategy // *IEEE International Conference on Robotics & Automation*. 2004. Pp. 5189-5194.
25. Namiki A., Ishikawa M. Robotic Catching Using a Direct Mapping from Visual Information to Motor Command // *IEEE Int. Conf. on Robotics&Automation*. 2003. Pp. 2400-2405.
26. Nishiwaki K., Konno A., Nagashima K., Inaba M., Inoue H. The Humanoid Saika that Catches a Thrown Ball // *IEEE International Workshop on Robot and Human Communication*. Pp. 94-99.
27. Pongratz, M. Object Touchdown Position Prediction // *Diploma Thesis. Faculty of Electrical Engineering. Vienna University of Technology*. 2009. 81 p.
28. Pongratz M., Kupzog F., Frank H., Barteit, D. Transport by Throwing - a bio-inspired Approach // *IEEE International Conference on Industrial Informatics*. 2010. Pp. 685-689.
29. Pongratz M., Pollhammer K., Szep A. KOROS Initiative: Automatized Throwing and Catching for Material Transportation // *ISoLA 2011 Workshops*. 2011. Pp. 136-143.
30. Pongratz M., Mironov K.V., Bauer F. A soft-catching strategy for transport by throwing and catching // *Vestnik UGATU*. 2013. Vol. 17. No. 6(59). Pp. 28-32.
31. Pongratz M., Mironov K.V. Accuracy of Positioning Spherical Objects with Stereo Camera System // *IEEE International Conference on Industrial Technology*. 2015. Pp. 1608-1612.

## МЕТАТЕОРЕТИЧЕСКИЕ УРОВНИ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ СИСТЕМ ЭНЕРГЕТИКИ

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](mailto:sks@isem.irk.ru)

**Аннотация.** С точки зрения теории семиотики нет никакого двойственного или двоичного, вообще окончательного по количеству уровней, разнесения языковых явлений, в частности, знаков между конкретным или абстрактным уровнем. Уровней может быть любое количество: в современной семиотике их столько, сколько самих семиотик, с присущим каждой особым явлением знака, и даже с еще более дробным, ступенчатым делением по уровням знаковости внутри каждой из них. Метатеоретический уровень (метасемиотика и метасемиология) обеспечивает связь с когнитивными ресурсами человеческой культуры и этики.

**Ключевые слова:** метатеоретический уровень, семиотика, семиозис, метасемиотика, семиология, метасемиология, междисциплинарные исследования, метаэнергетика.

**Введение.** В структуре современного научного знания можно выделить три качественно различных по содержанию и функциям уровня знания: эмпирический, теоретический и метатеоретический [2, 9]. Способом осуществления связи этих уровней знаний являются процедуры интерпретации терминов языка одного уровня знания в терминах языка других. Единство и взаимосвязь указанных уровней обеспечивает для любой научной дисциплины ее относительную самостоятельность, устойчивость и способность к развитию на своей собственной основе.

Метатеоретический уровень научного познания - это наивысший уровень научного познания, представляющий собой совокупность принципов, норм, идеалов, составляющих основание научных теорий и науки в целом, которые обеспечивают единство и определенность научной деятельности, влияют на характер возникающего теоретического знания [9]. К метатеоретическому уровню научного познания принято относить научную картину мира, стиль научного мышления, трактовку научной рациональности, парадигму, исследовательскую программу. В силу системного характера научное знание метатеоретического уровня относится к фундаментальным научным теориям [14].

Метатеоретический уровень знаний состоит из двух подуровней: общенаучного знания и философских оснований. Общенаучное знание включает: 1) общенаучная картина мира, 2) частнонаучные и общенаучные гносеологические, методологические, логические и аксиологические принципы.

Важное значение метатеоретический уровень знания играет в таком классе наук, как логико-математические. Показателем этой важности является то, что он оформился в этих науках даже в виде самостоятельных дисциплин: метаматематика и металогика. Предметом

последних является исследование математических и логических теорий для решения проблем их непротиворечивости, полноты, независимости аксиом, доказательности, конструктивности.

В современной науке не существует какого-то единого по содержанию, одинакового для всех научных дисциплин метатеоретического знания [17]. Оно всегда конкретизировано и привязано к особенностям парадигмальных научных теорий.

**Семиотика** – междисциплинарная область о знаковых системах в природе и обществе [15]. Она близка к кибернетике, которая исследует процессы связи и управления в живом организме, природе и обществе. Она отличается от кибернетики прежде всего тем, что кибернетика изучает динамический и количественный аспект этой связи, а семиотика – статический и качественный. Кибернетика изучает процессы, семиотика – системы, в которых и на основе которых реализуются процессы [6].

Существует три раздела семиотики: синтактика изучает особенности строения знаков, правила их построения и правила составления их комбинаций (синтаксис знаковых систем); семантика изучает смысловое содержание знаков и комбинаций; прагматика изучает особенности использования знаков в процессе коммуникации, устанавливает правила получателя знака в контексте той или иной знаковой ситуации.

Семиотика близка лингвистике, поскольку изучает самую полную и совершенную из систем коммуникаций – человеческий язык. Семиотика черпает свой материал из лингвистики, кибернетики (с теорией информации), биологии, психологии, этнографии и социологии, истории культуры, литературоведения, но также и возвращает этим наукам свои обобщения. Она развивается на стыке большинства, а в перспективе всех наук.

Семиотика – наиболее оформленная часть современных системно-структурных исследований [11]. Центральное положение семиотики и кибернетики среди наук позволяет переходить от любой из них к первым. Как и все науки, кроме математики, семиотика имеет не только более или менее формализованную часть (абстрактная семиотика), но и широкое поле наблюдений над фактами, где семиотика, как и биология, и лингвистика, является наукой индуктивной.

Семиотика, как междисциплинарная исследовательская парадигма, является не просто источником методологии, но и способом представления реальности. Можно поэтому говорить о семиотическом мирозерцании или семиотической онтологии. В рамках этой онтологии все существующее предстает в виде совокупности сложных систем, внутри которых и между которыми происходит обмен сообщениями, представленными в знаковой форме. В этом смысле семиотика подобна другим междисциплинарным областям, задающим определенную исследовательскую парадигму для различных научных дисциплин, таких как, например, кибернетика, теория систем.

Все знаковые системы, все частные семиотики, располагаются в континуум по убыванию энергетической силы или релевантности знака. Например: биосемиотика -> этносемиотика -> лингвосемиотика (звуковой язык) -> абстрактная семиотика. Убывание энергетического уровня знака происходит до тех пор, пока знак не становится информационным явлением.

Всякой семиотической системе может быть сопоставлено две других системы, одна – низшего порядка, другая – высшего порядка по отношению к данной.

**Семиозис** – деятельность по созданию и применению знаков и знаковых систем в определенных областях знания, например, в энергетических системах [11]. Язык рассматривается как система двусторонних знаков. Каждый знак имеет внешнюю, непосредственно воспринимаемую, сторону и внутреннюю, идеальную сторону, для обозначения которых Ельмслев [6] ввел специальные термины – план содержания (семантику) и план выражения (контекст).

План содержания и план выражения это две стороны единого целого – языкового знака. План содержания – это смысл. План выражения – это языковые средства, с помощью которых передается смысл.

Денотативная семиотика это семиотика, ни один из планов которой не является семиотикой. Коннотативная семиотика это семиотика, план выражения которой является семиотикой. Она не является ни языком, ни семиологией, а ее план выражения представлен планом содержания и планом выражения денотативной семиотики.

Закон обращения планов в общей форме иллюстрируется треугольником Фреге, любая вершина которого теоретически может быть принята за исходную точку при установлении направленных отношений. В такой общей формулировке закон имеет силу для наблюдателя знаковой системы извне, а для участника знаковой системы (коммуниканта), может быть, только в некоторых особенных случаях. Но для наблюдателя извне закон обращения планов имеет силу для любой ступени знаковости, какую бы ступень наблюдатель ни наблюдал.

Обобщающий термин метасемиотика построен по той же структурно-семантической модели, что и термин метаязык. Если метаязык — это 'язык второго порядка', предназначенный для описания (прояснения, характеристики) 'языка первого порядка', то соответственно метасемиотика — это некоторая 'семиотика второго порядка', с помощью которой исследуется 'семиотика первого порядка'. Например, средства, с помощью которых объясняют семиотику картографирования, составляют метасемиотику картографирования и т.д.

Метасемиотика может быть полностью или частично идентична со своим семиотическим объектом. Описывающий метаязык может использовать тот же язык и для своего описания; подобным же образом, описывающий семиотики, не являющиеся языками, сможет сделать это описание при помощи языка; и в любых других случаях используемая семиотика всегда может быть переведена в метаязык.

**Метасемиология.** Семиотики описываются метасемиотиками (как язык метаязыком), которые называются семиологиями. Семиологии описываются метасемиологией.

Метасемиология не должна давать описание положений, входящих в теорию семиологии, если она может доказать, что эти положения есть возможные единицы, которые можно предвидеть из системы языка. Ее сферой является специальная терминология семиологии, и здесь оказывается, что используются три различных типа терминов:

- Термины, которые выступают как определяемые в семиологической системе определений и содержание которых определено.

- Термины, взятые из языка и выступающие как неопределяемые в семиологической системе определений.
- Термины, не взятые из языка и выступающие как неопределяемые в положениях семиологии. Здесь различаются два вида терминов:
  - а. Термины для вариантов высшей степени от инвариантов высшей степени, т.е. для вариантов-глоссем (и вариантов-сигналов) высшей степени – самых конечных, «мельчайших» вариантов (вариантов-индивидов или локализованных вариантов), рассматриваемых семиологией в ходе анализа.
  - б. Термины для категорий вариантов и инвариантов любой степени. Их содержания, рассматриваемые в качестве класса как целого, будут синкретизмами (соединениями) сущностей, рассмотренных в пункте «а», или синкретизмами самих содержаний.

Задачей метасемиологии является рассмотрение минимальных знаков семиологии, содержание которых идентично с конечными вариантами содержания и выражения семиотического объекта (языка); анализ должен производиться согласно той же самой процедуре, которая предписывается вообще для анализа текста. Как и в ординарном анализе текста, так и здесь должна быть предпринята попытка установить с возможной полнотой реализованные сущности, т.е. сущности, доступные частному (индивидуальному) делению.

Метасемиология, перемещая свою точку зрения, что означает переход от семиотического объекта к его метасемиотике, в помощь обычным семиологическим методам дает новые средства для дальнейшего выполнения анализа, который с точки зрения семиологии был исчерпан. Это может только означать, что конечные варианты языка подвергаются дальнейшему, индивидуальному анализу. Другими словами, метасемиология на практике идентична так называемому описанию среды (субстанции).

В соответствии с принципом простоты, метасемиологии высших порядков не должны привлекаться до тех пор, пока они, будучи последовательно выполнены, не принесут иных результатов, чем те, которые уже достигнуты в метасемиологии первого порядка.

Энергетические затраты на существование самой знаковой системы пропорциональны энергетическому объему передаваемой ею информации. Чем более высоко организована знаковая система, тем меньшую часть общей энергии составляет передаваемая ею информация и тем меньше энергия, необходимая для существования самой знаковой системы [6]. В предельном низшем случае информация стремится к общему количеству энергии, обмениваемой между материальными системами, а знаковая система стремится слиться с самими материальными системами.

**Метауровни** – более высокие и общие уровни, на которых любая задача становится частным случаем, одним из возможных вариантов некоторого класса задач. Переход на метауровень – решение более общих задач перед решением частных; расширение контента. Обратный процесс – переход на частный подуровень; сужение контента (см. рис. 1).

Использование переходов на метауровни [13] и подуровни является важной составляющей стратегий. Без решения общих задач легко увязнуть в частностях. При отсутствии возможности взглянуть на ситуацию сверху в пространстве и во времени, без понимания в какую более крупную (общую, глобальную) систему входит решаемая задача,

каждый обречен на консервацию своего текущего состояния, а значит на его стратегическое ухудшение (с возрастом, любым кризисом, изменениями среды).

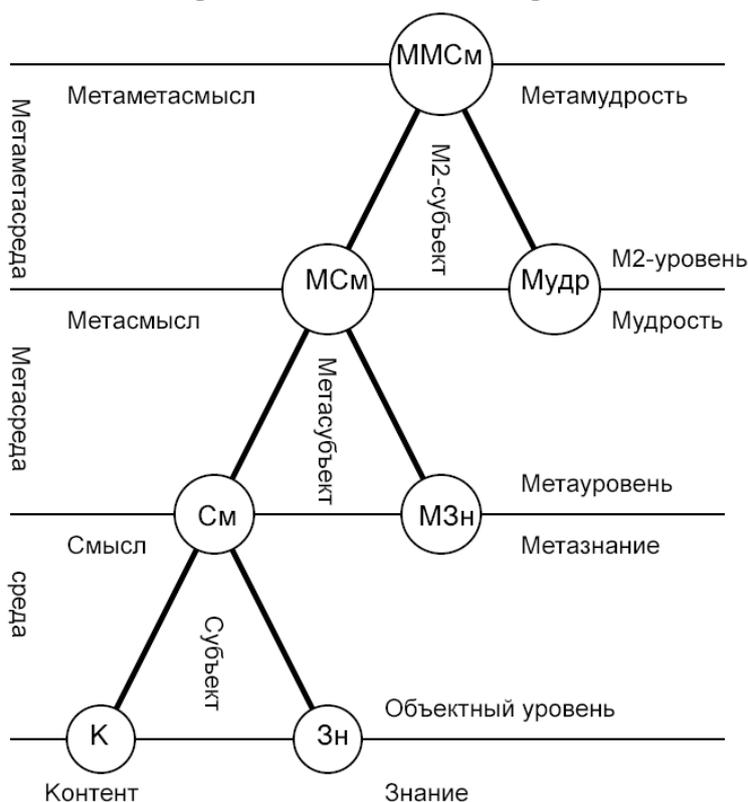


Рис. 1. Трансформация метауровней

Метасофия София
Метамудрость Мудрость
Метазнания Знания
Метаинформация Информация
Метаданные Данные

Рис. 2. Системная иерархия уровней и метаобъектов DIKW

Любая ситуация входит в несколько стратегий более высокого порядка, возможны переходы на разные стратегические метауровни в зависимости от контекста [10]. Расширение контекста не является уходом от решения. Однако решение вопроса на более высоком стратегическом уровне решает не только частную задачу, но и все остальные, завязанные на одинаковые причинно-следственные отношения.

Этот подход находится в согласии с расширенной моделью мира [1] и теории личных конструктов [7], данные, информацию, знание [8], мудрость [4] можно представить в виде многоуровневой метасистемы [16]. Пример подобной метасистемы представлен на рис. 2.

Мудрость имеет несколько близких, но отличающихся значений в словарях русского языка:

- свойство человеческого разума, характеризующееся степенью освоения знаний и подсознательного опыта и выражающееся в способности уместного их применения в конкретной ситуации.

- способность грамотного применения знаний. Большой, глубокий ум, опирающийся на жизненный опыт. Способность находить решение различных проблем, в том числе жизненных, опираясь на свой, чужой и народный опыт.
- в философии – один из измерителей степени познания окружающего мира, обсуждаемый, как правило, в контексте стремления к углублению этого познания как специфического свойства человеческого интеллекта
- в религиях – степень познания окружающего мира, данная демиургу (миросоздателю) в неисчерпаемой мере, и может быть воспринята людьми в той или иной части.

**Метаконцепт.** Обобщенное понятие метауровня Метамудрость формируются шестью группами концептуальных признаков: мотивирующими, понятийными, образными, ценностными, оценочными и символическими в русском и английском языках [4]. Это позволяет констатировать, что в современном восприятии носителями русского и английского языков присутствуют как самые древние признаки, послужившие основой для номинации исследуемых концептов, так и признаки вторичного переосмысления данного феномена.

Вместе с тем в количественном соотношении распределение признаков в структурах анализируемых концептов МУДРОСТЬ и WISDOM неравномерно, что указывает на различную степень их актуальности в соответствующих концептуальных картинах современного мира [20]. В частности, англоязычный вариант в большей степени отражает индивидуальный практический опыт (умение делать что-то руками). В русском понимании это более абстрактное понимание истины при решении жизненных проблем.

Метатеоретические уровни метаконцепта «Мудрость» представлены на рис. 3.



**Рис. 3.** Метатеоретические уровни метаконцепта «Мудрость»

Приставка Мета используется для указания сущности, которая превосходит, выходит за рамки, более высокоорганизованна и ассоциируется с чем-то еще дополнительным (часто

это обобщенное описание). Мета также влечет за собой изменение или преобразование (как и преобразование энергии), 1) от греческого *energeia* был использован в Аристотелевской философии для обозначения “бытия в действительности”. Энергия – это активность, сила действия или потенциал проведения работы. 2) термин метаэнергия используется в данной работе, как то, что происходит между метауровнями, в процессе или после преобразования метаэнергии. Метаэнергия (информация) рассматривается как то, что способствует изменению, трансформации и контролю метаэнергии.

**Метаэнергетика.** Начальное приближение к процессу автоматизации научных исследований в метаэнергетике [10] это предсказывающая экспертная система, ориентированная на решение задач технологического прогнозирования.

Горизонт прогнозирования должен быть расширен до 2050 года в энергетике (как одной из самых инерционных сфер человеческой деятельности) для своевременной подготовки фундаментального научного задела по всему фронту наращивания знаний [11]. Но неопределённость будущего так велика, а научно-технологический процесс настолько спонтанен, что и современная методология не обеспечивает достаточно надёжного предвидения инноваций.

Инновации в метаэнергетике имеют интернациональный характер и глобальные тренды. Рассмотрим их на основе последнего технологического прогноза Международного энергетического агентства (МЭА) (Центр прогнозирования развития мировой энергетики и обеспечения энергетической безопасности 29 развитых стран Организации экономического сотрудничества и развития — ОЭСР), с учетом особенностей инновационного развития энергетики России, задачи их учёта и способы отображения в энергетической политике страны. Научно-технологический прогресс в метаэнергетике ассимилирует достижения и является одним из важнейших каналов практической реализации результатов всех наук, которые и создают базовые условия (предпосылки) для инновационного развития энергетической основы человечества.

Метаэнергетика представляет собой ярко выраженную междисциплинарную науку. Она формирует новые знания о методах преобразования энергии, создаёт средства таких преобразования интеграцией достижений практически всех других областей знаний, исследует закономерности развития антропогенной энергетики в целом. Объектами и результатами энергетических исследований являются:

1) Нарастающий поток энергетических технологий. Они создаются на базе фундаментальных заделов физики, химии, а теперь и биологии такими физико-техническими дисциплинами, как электрофизика и электротехника, теплофизика и теплотехника, гидравлика и гидротехника, атомная физика и техника. В этом существе исследований и основа технологического прогресса в метаэнергетике и по грубым оценкам на них приходится до 70% научных усилий в этой области.

2) Из числа возможных технологий энергетическая наука отбирает эффективные энергетические технологии. Это делается по критериям экономической эффективности (вклад общественных наук) и экологической приемлемости (формируется науками о Земле) с учётом всех аспектов надёжности и управляемости технологий — их обеспечивают

достижения математики, информационных технологий и процессов управления. Этому посвящено 10–15% энергетических исследований.

3) Важным направлением энергетической науки является исследование и конструирование энергетических систем, на что приходится ещё 10–15% её усилий. Системные исследования в энергетике на базе математического моделирования и ЭВМ широко развернулись с 60-х годов и советская школа академика Л.А. Мелентьева занимала лидирующие позиции в мире.

4) Для определения эффективных направлений и приоритетов научно-технологического прогресса ко всему сказанному приходится привлекать исследования не только тенденций эволюции пространственного и производственной развития мировой энергетики, то есть того, как это было в прошлом, но и современный метатеоретический подход. На это направлено до 5% энергетических исследований.

Пространственное развитие энергетики следует тенденции создания межстрановых, трансконтинентальных и глобальных систем. Они имеют мощную физико-техническую основу в виде трубопроводных и электрических сетей и одновременно выступают как всё более сложные производственные метасистемы, а теперь и как энергетические рынки (метарынки).

**Заключение.** Наблюдаемые свойства сложных метаобъектов являются наблюдаемой композицией детерминированных, стохастических, хаотических, периодических, эволюционных и поведенческих составляющих, порождаемых, в общем случае, наблюдаемыми и ненаблюдаемыми факторами. В тоже время, сложный метаобъект является компонентом нижнего уровня иерархии метаметаобъектов, наследующим существенные свойства верхних уровней иерархии.

Основным результатом построения метатеории является «таблица Менделеева», в которой вместо химических элементов размещается набор отношений между единицами метаязыка. Набор этот эвристически извлекается с помощью процедур анализа (деления) и синтеза (сборки) из текстов теории. Вторым результатом анализа является исчисление возможных структур, в которые могут быть организованы исходные отношения. Структуры имеют два типа: метапроцессы (конструкции синтагматических отношений, т. е. отношений между элементами текста) и системы (конструкции парадигматических отношений, т. е. отношений, которые имеют место между элементами, которые могут занимать одну и ту же позицию в правильно построенном научном тексте.

Работа выполняется при частичной финансовой поддержке гранта РФФИ №16-07-00474.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баксанский О.Е., Кучер Е.Н. Современный когнитивный подход к категории "образ мира" // Вопросы философии. 2002. № 8. С. 52.
2. Варыгин Д. В. Метатеоретический уровень знания и понимание // Вестник Башкирского университета. 2015. Т. 20. № 1. С. 250-253.

3. Кочетов Э.Г. МИРЫ: Прологомены к философии преобразования ЧЕЛОВЕКА и его бытия в МИРАХ гуманитарного космоса. Научная монография / Э.Г. Кочетов; Обществ. акад. наук геозкономики и глобалистики. Москва: Изд. «Международные отношения», 2015. 560 с.
4. Горянова Л. Н. Актуализация понятийных признаков концепта МУДРОСТЬ // Вестник Удмуртского университета. Серия «История и филология». Вып. 2. Ижевск: Удмуртский университет. 2011. С. 3-7.
5. Гудмен Н. Способы создания миров. М., "Идея-пресс" "Праксис". 2001.
6. Ельмслев Л. Прологомены к теории языка. Коннотативная семиотика и метасемиотика. Перевод с английского. Серия "Лингвистическое наследие XX века" URSS. 2006. 248 с. ISBN 5-484-00346-6
7. Келли Дж. Теория личности: психология личных конструктов. СПб.: Речь. 2000.
8. Лапина З.Г., Шилин К.И. Экософия духовной культуры будущего. Энциклопедия живого знания. Том 14. Москва. 2007. 500 с.
9. Лебедев С.А. Методология науки и уровни научного знания. МГТУ им. Н.Э. Баумана, Российская Федерация. 2014.
10. Левшов, А.В. Введение в метаэнергетику / А. В. Левшов, С. Г. Джура, В. И. Чурсинов // Наукові праці Донецького національного технічного університету. 2013. № 1 (14). С. 147-152. - (Серія: "Електротехніка і енергетика").
11. Макаров А.А., Митрова Т.А., Кулагин В.А. Долгосрочный прогноз развития энергетики мира и России, 2, 2012.
12. Меськов В.С., Мамченко А.А. Цикл трансформации когнитивного субъекта. Субъект, среда, контент. // Вопросы философии. 2010. №10. С. 67-80.
13. Мечковская Н.Б. Семиотика. Язык. Природа. Культура. Издательство: Академия 2007. 432 с.
14. Пунченко О.П. Метатеоретические основания современной эпистемологии // Международная научно-практическая конференция «Знания. Образование. Образованность» ( г. Винница, 2-3 октября 2014 г.): труды. Винница. 2014. С. 52-53.
15. Сааринен Э.О. О метатеории и методологии семантики // Новое в зарубежной лингвистике. 1986.
16. Скрипкин С.К. Информационные инновации: семиотические метасистемы в исследованиях систем энергетики, Институт систем энергетики Л.А. Мелентьева СО РАН, Иркутск, Россия, 2015.
17. Степанов Ю.С. Семиотика. Москва. Издательство: Радуга. 1983. 636 с.
18. Таранов П.С. Стратегия мудрости / П.С Таранов. М. : «Эксмо». 2003. 734 с.
19. Трифонова М.К. Научное сознание как метатеоретическое понятие // Таврический национальный университет им. В.И. Вернадского. Ученые записки Крымская академия наук. С. 124-126.
20. Трифонова М.К. Свобода на пути к мудрости //Таврический национальный университет им. В.И. Вернадского. Ученые записки Крымская академия наук, Симферополь. 12/2010. №4. С. 20 – 24.

## METATHEORETIC LEVEL OF SCIENTIFIC RESEARCH OF ENERGY SYSTEMS

**Sergei K. Skripkin**

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

**Abstract.** From the point of view of the theory of semiotics, there is no dualistic or binary, generally the final number of levels of diversity of linguistic phenomena, particularly signs, or between concrete or abstract level. Levels can be any number in modern semiotics as many of them as themselves semiotics, with specific to each particular occurrence of the sign, and even more fractions, step by dividing the levels of significance within each of them. Metatheoretically level (metasemiotic and metsamoori) provides a link with the cognitive resources of human culture and ethics.

**Keywords:** metatheoretically level, semiotics, semiosis, metasemiotic, semiology, metasemiology, interdisciplinary studies, metapower.

### References

1. Baksanskij O.E., Kucher E.N. Sovremennyy kognitivnyj podhod k kategorii "obraz mira"[ The modern cognitive approach to the category "image of the world"] // Voprosy filosofii = Issues of philosophy. No 8. 2002. P. 52. (in Russian).
2. Varygin D.V. Metateoreticheskiy uroven' znaniya i ponimanie [Metatheoretically level of knowledge and understanding] // Vestnik Bashkirskogo universiteta. 2015. T. 20. No 1. Pp. 250-253. (in Russian).
3. Kochetov Je.G. MIRY: Prolegomeny k filosofii preobrazhenija CHELOVEKA i ego bytija v MIRAH gumanitarnogo kosmosa [WORLDS: Prolegomena to the philosophy of the transformation of MAN and his existence in the WORLDS of humanitarian space]. Nauchnaja monografija / Je.G. Kochetov; Obshhestv. akad. nauk geojekonomiki i globalistiki. Moskva: Izd. «Mezhdunarodnye otnoshenija». 2015. 560 p. (in Russian).
4. Goryanova L.N. Aktualizatsiya ponyatiinykh priznakov kontsepta "mudrost" [Actualization of the Semantic Characteristics of the Concept "Wisdom"] Vestnik Udmurtskogo Federal. No. 2. [The Herald of the Udmurtsky University. No. 2.]. 2011. Pp. 3-7. (in Russian). DOI: ISSN2308-1732.
5. Gudmen N. Sposoby sozdaniya mirov [How to create worlds]. M. "Ideja-press" - "Praksis", 2001. (in Russian).
6. El'mslev L. Prolegomeny k teorii jazyka. Konnotativnaja semiotika i metasemiotika [WORLDS: Prolegomena to the philosophy of the transformation of MAN and his existence in the WORLDS of humanitarian space]. Perevod s anglijskogo. Serija "Lingvisticheskoe nasledie HH veka" URSS. 2006. 248 p. (in Russian). ISBN 5-484-00346-6
7. Kelli Dzh. Teorija lichnosti: psihologija lichnyh konstruktov [A theory of personality: psychology of personal constructs]. SPb.: Rech'. 2000. (in Russian).

8. Lapina Z.G., Shilin K.I. Jekosofija duhovnoj kul'tury budushhego. Jenciklopedija zhivogo znaniya [Ecosafe spiritual culture of the future. Encyclopedia of living knowledge], Tom 14, Moskva. 2007. 500 p. (in Russian).
9. Lebedev S.A. Metodologija nauki i urovni nauchnogo znaniya [Methodology of science and levels of scientific knowledge,] MGTU im. N.Je. Baumana, Rossijskaja Federacija. 2014. (in Russian).
10. Levshov, A.V. Vvedenie v metajenergetiku / A.V. Levshov, S.G. Dzhura, V.I. Chursinov // Naukovi praci Donec'kogo nacional'nogo tehničnogo universitetu. 2013. № 1 (14). Pp. 147-152. (Serija: "Elektrotehnika i energetika") (in Russian).
11. Makarov A.A., Mitrova T.A., Kulagin V.A. Dolgosrochnyj prognoz razvitija jenergetiki mira i Rossii. 2. 2012. (in Russian).
12. Mes'kov V.S., Mamchenko A.A. Cikl transformacii kognitivnogo sub#ekta. Sub#ekt, sreda, content. [The cycle of transformation of the cognitive subject. Subject, environment, content]. // Voprosy filosofii = Issues of philosophy. №10. 2010. Pp. 67-80. (in Russian).
13. Mechkovskaja N.B. Semiotika. Jazyk. Priroda. Kul'tura [Semiotics. Language. Nature. Culture]. Izdatel'stvo: Akademija. 2007. 432 p. (in Russian).
14. Puchenko O.P. Metateoreticheskie osnovanija sovremennoj jepistemologii [Metatheoretical foundations of modern epistemology] // International scientific-practical conference "Knowledge. Education. Education" (Vinnitsa, October 2-3, 2014). Pp. 52-53. (in Russian).
15. Saarinen Je.O. O metateorii i metodologii semantiki // Novoe v zarubezhnoj lingvistike. 1986. (in Russian).
16. Skripkin S.K. Informacionnye innovacii: semioticheskie metasistemy v issledovanijah sistem jenergetiki Institut sistem jenergetiki L.A.Melent'eva SO RAN, Irkutsk, Rossija, 2015. (in Russian).
17. Stepanov Ju.S. Semiotika [Semiotica] Izdatel'stvo Raduga (Moskva) 1983. 636 p. (in Russian).
18. Taranov P.S. Strategija mudrosti [The strategy of wisdom] /P.S Taranov. M. «Jeksmo». 2003. 734 p. (in Russian).
19. Trifonova M.K. Nauchnoe soznanie kak metateoreticheskoe ponjatie [Consciousness as a scientific concept metatheoretical] The scientific consciousness as metatheoretically the concept of Taurida national University. V.I. Vernadsky. Scientific notes of the Crimean Academy of Sciences. Pp. 124-126 (in Russian).
20. Trifonova M.K. Svoboda na puti k mudrosti [Freedom on the path to wisdom] // Tavricheskij national University. V. I. Vernadsky. Scientific notes of the Crimean Academy of Sciences, Simferopol. 12/2010. No. 4. Pp. 20 – 24 (in Russian).

## ОНТОЛОГИИ, МОДЕЛИРОВАНИЕ СИТУАЦИЙ И СИТУАЦИОННОЕ ИСЧИСЛЕНИЕ В СИТУАЦИОННОМ УПРАВЛЕНИИ

Ворожцова Татьяна Николаевна

к.т.н., вед. инженер лаборатории информационных технологий в энергетике

ИСЭМ СО РАН, Иркутск e-mail: [tnn@isem.irk.ru](mailto:tnn@isem.irk.ru)

**Аннотация.** В работе рассмотрены возможности использования онтологического представления и структурирования знаний, необходимых для моделирования ситуаций и ситуационного управления в исследованиях энергетики. Исследуются возможности ситуационного исчисления для описания объектов энергетики, взаимосвязей между объектами с учетом их участия в ситуациях, моделирования ситуаций и формулирования набора правил, отражающих возможности изменения ситуаций для достижения заданных целей.

**Ключевые слова:** онтологическая модель, ситуация, ситуационное управление, ситуационное исчисление, моделирование знаний.

**Введение.** В современных подходах к разработке интеллектуальных энергетических систем некоторые методы искусственного интеллекта, например, нейронные сети, уже достаточно широко используются. В исследованиях энергетики актуальной является проблема обоснованного выбора, своевременной обработки и оценки необходимой информации при принятии решений. Сложность процесса принятия решений при этом обусловлена сложностью объектов исследования (объектов энергетики разных уровней). Такие объекты относятся к категории нетрадиционных объектов управления, к которым применимо использование принципов и методов ситуационного управления, предложенных в работах Поспелова Д.А. и его последователей [5, 13, 14]. 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 [9 - 12].

Процесс принятия решения включает определение целей, оценку ситуации и выбор оптимального варианта управляющих воздействий. Одной из основных проблем ситуационного управления является анализ ситуаций. При этом должны быть учтены все существенные факторы, влияющие на исследуемую ситуацию, возможные последствия, знания и опыт экспертов в соответствующей предметной области, а также использована вся имеющаяся на этот момент информация. Проблема моделирования и формального описания ситуаций рассматривалась в работах [2, 16]. Как показано в этих работах, ситуационное управление и его методы, а именно ситуационный анализ и ситуационное моделирование, требует формализации знаний о структуре объекта управления, его функционировании в текущий момент времени, факторах, влияющих на его функционирование, а также о возможных управляющих воздействиях и их результатах и т.д.

**Использование онтологий в ситуационном управлении.** Онтология, как концептуализация знаний, принятая в определенной предметной области, содержит определение базовых понятий (объектов, атрибутов) и отношений между ними.

Формализованное в той или иной степени представление онтологии является базисом для моделирования знаний исследуемой предметной области. Онтологии позволяют обеспечить информационную поддержку – выявить состав необходимой информации для моделирования ситуаций в конкретной предметной области.

Ситуационное управление в исследованиях энергетики предполагает реализацию методов ситуационного анализа и ситуационного моделирования, описание свойств объекта управления, построение модели ситуации с учетом факторов влияния внешней среды и выбор необходимых управляющих воздействий. Выполненный онтологический инжиниринг проблемы ситуационного управления на примере исследований энергетики и разработка соответствующих онтологий [3, 6, 7, 8] показал, что основными компонентами пространства знаний ситуационного управления являются:

- Знания о предметной области – описание объектов (структура, функции, цель, характеристики, внутренние факторы), описание факторов и состояния внешней среды, описание доступных управляющих воздействий.
- Описания методов и моделей ситуационного управления.
- Описания программного обеспечения (функции, данные, требования).
- Накапливаемые экспертные знания (описания прецедентов, ситуаций, сценариев в виде когнитивных, событийных, вероятностных и других моделей).

Основные понятия пространства знаний ситуационного управления – такие как объект (объект энергетики), субъект (исследователь или ЛПР – лицо, принимающее решение), ситуация, ситуационный анализ, управляющее воздействие, программный компонент и др. являются достаточно разнородными. Онтологии в таком случае обеспечивают возможность совместной обработки знаний на основе единого семантического описания пространства знаний, а также, способствуют повышению уровня интеграции информации, необходимой для принятия управленческих решений.

**Онтологическая модель ситуации для исследования энергетической безопасности.** В соответствии с принципами ситуационного управления, предложенными Поспеловым Д.А., основными этапами ситуационного управления являются анализ ситуации, классификация ситуаций и выбор управляющего воздействия на основе применения некоторых логико-трансформационных правил или экстраполяции. На всех этапах необходима оценка состояния объекта управления (объекта энергетики), т.е. анализ основных характеристик его функционирования, а также, учет влияющих на это существенных факторов. Эти факторы и необходимые характеристики или показатели формируются экспертами-энергетиками и составляют основные понятия онтологической модели ситуации. Кроме того, онтология ситуации содержит и возможные управляющие воздействия для управления ситуацией, предотвращения возможного перерастания ее в критическую или восстановления после воздействия тех или иных негативных факторов. На рисунке 1 представлена онтология, отражающая основные понятия, которые необходимо учитывать при моделировании возможных критических ситуаций на уровне ТЭК России.

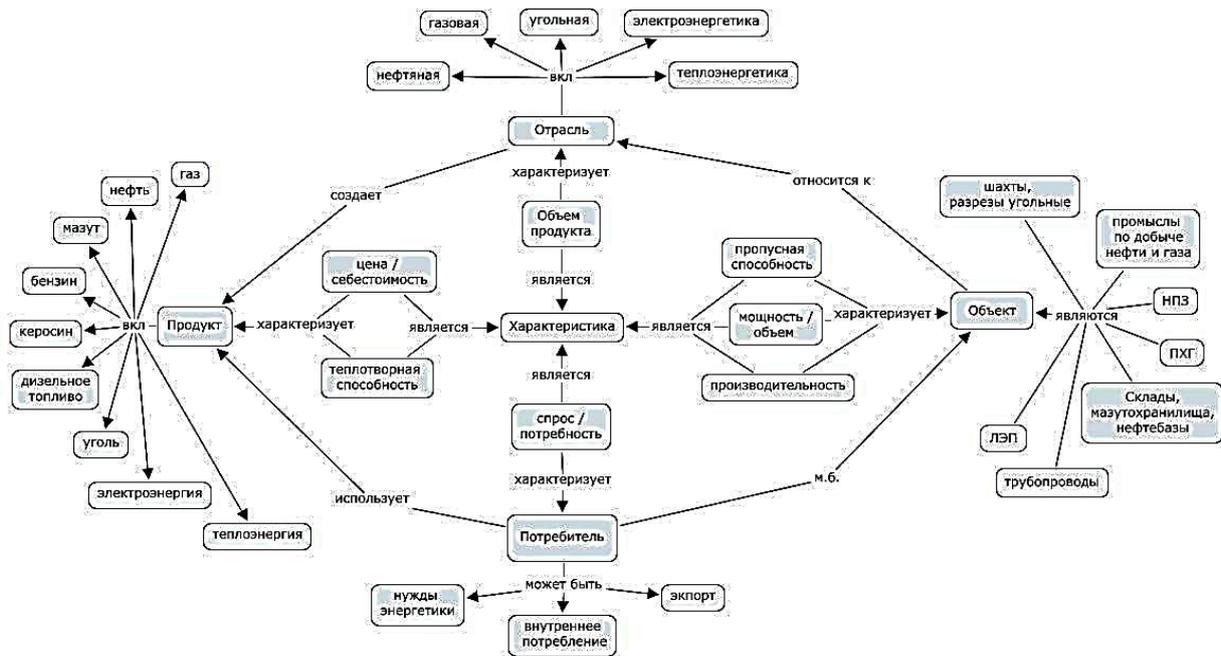


Рис. 1. Основные понятия ТЭК для ситуационной модели

При этом рассматриваются различные объекты, имеющие отношение к производству и потреблению разных видов энергии (электрической и тепловой), разные виды производимых ими продуктов, а также, характеристики этих объектов и продуктов. Данная онтология не включает описание возможных влияющих факторов или угроз энергетической безопасности и управляющих воздействий для предотвращения или устранения этого влияния. Подразумевается, что факторы и управляющие воздействия могут влиять на объекты энергетики, изменяя их характеристики (параметры и показатели работы), тем самым изменяя ситуацию. В качестве основной цели моделирования рассматривается соблюдение баланса показателей всех предприятий.

**Возможности ситуационного исчисления в ситуационном управлении.** Одним из средств формализации ситуации в динамике является ситуационное исчисление, позволяющее фиксировать совокупность фактов и свойств объектов и среды, в которой эти объекты функционируют.

Исчисление – это формальная система, основными компонентами которой являются алфавит (совокупность используемых символов), синтаксические правила построения формул из символов алфавита, аксиомы (исходные доказуемые формулы) и правила вывода по этим аксиомам теорем (производных доказуемых формул). Это формальный аппарат оперирования со знаниями определенного вида, который дает возможность описать некоторые задачи и алгоритмы их решения. Символам такой формальной системы может придаваться различная смысловая интерпретация в зависимости от конкретной семантической модели, которая ставится ей в соответствие.

Ситуационное исчисление, базирующееся на логике предикатов первого порядка, можно рассматривать как логический язык для описания динамики изменения среды. Этот формальный язык позволяет выразить на нем все знания о среде – предметной области, необходимые для решения поставленной задачи. Семантика определяет смысл этих

предложений. Символы сопоставляются с объектами реального мира, а предложения соответствуют отношениям между объектами.

**Базовые понятия ситуационной модели для исследований энергетической безопасности.** Формирование базовых понятий ситуационной модели с использованием ситуационного исчисления осуществляется с использованием синтаксиса и семантики логики предикатов первого порядка [4], которые являются средством представления знаний и рассуждений и позволяют формализовать факты, аксиомы, цели и задачи в конкретной предметной области (среде). Базовые понятия ситуационной модели строятся на основе термов, атомов, литералов, функций и формул логики предикатов первого порядка. Объекты среды соответствуют индивидуальным объектным константам, а класс однотипных объектов – объектной переменной, значением которой является объектная константа. Отношения между объектами представляются в виде предложений (формул логики предикатов или высказываний).

Основными понятиями в ситуационном исчислении являются объекты, объектные переменные, категории, стандартные предикаты, функции, а также, микроситуации, состояния, действия, меры, единицы измерения, время и др. Используя эти средства, можно моделировать ситуации, систематизировать и классифицировать объекты и их признаки, выполнять анализ ситуаций и динамику их изменения, а также, формулировать правила вывода для выбора управленческих решений.

**Объекты.** Для исследований энергетической безопасности в качестве объектов ситуационной модели рассматриваются реальные объекты, такие как ТЭЦ, КЭС, котельные, шахты, угольные разрезы, НПЗ (нефтеперерабатывающие заводы), ЛЭП и другие. Каждый конкретный объект представляется константой. Примерами таких констант могут быть –  $T_{эц}$ ,  $T_{эц\_10}$ ,  $Шахта$ ,  $Лэп$  и т.п.

**Объектные переменные** определяют объекты, т.е. их значениями являются объектные константы ( $t_{эц1} = T_{эц\_10}$ ).

**Категории** представляют собой некоторое множество объектов, характеризующихся определенным конкретным свойством, признаком или их совокупностью. Категории имеют значение для классификации, систематизации, наследования признаков объектов и могут быть представлены двумя способами:

1. материализация категории заключается в представлении категории как объекта, например,  $T_{эц}$  ( $T_{эц\_10}$ ,  $T_{эц\_1}$ ,  $H\_Иркутская\_тэц$ ) означает, что объекты  $T_{эц\_10}$ ,  $T_{эц\_1}$ ,  $H\_Иркутская\_тэц$  относятся к категории  $T_{эц}$ ;
2. в логике предикатов первого порядка, например, запись  $t_{эц}(t_{эц1})$  означает, что предикат истинен, если переменная  $t_{эц1}$  относится к категории  $t_{эц}$ .

Примеры использования категорий.

Объект  $T_{эц}$  принадлежит категории  $Объект\_производства\_ээ$ , который, в свою очередь, является элементом категории  $Объект\_энергетики$ . Другими примерами категориальных объектов могут быть, например,  $Объект\_добычи$ ,  $Объект\_переработки$ ,  $Объект\_хранения$ . К элементам этих категорий относятся соответственно  $Шахта$ ,  $Нпз$ ,  $Нефтебаза$  и др.

**Стандартные предикаты** – это предикаты, истинностные значения которых заранее определены.

**Функции** или библиотечные функции представляют собой заранее определенные функции, область значений и область определения которых заранее предопределены.

**Микроситуации** могут фиксировать свойства объектов, используются в качестве аргументов в различных предикатах. Микроситуация может изменяться при определенных действиях. Среда может находиться только в одной микроситуации данной категории, но, одновременно, сразу в нескольких микроситуациях различных категорий.

**Состояния.** В процессе моделирования необходимо рассматривать разные комбинации микроситуаций и определять их совокупные свойства. В ситуационном описании среды рассматриваются внешнее состояние, внутреннее состояние и полное состояние среды. Внешнее состояние или макроситуация – это набор значений, в который входит по одной микроситуации из каждой категории. Внутренним состоянием называют набор значений всех объектных переменных, не являющихся микроситуациями. Пара «внешнее состояние – внутреннее состояние» определяется как полное состояние. Макроситуация, также как и микроситуация используется в качестве аргумента в различных предикатах.

**Действия** совершаются над объектами, в результате изменяются значения объектных переменных и, соответственно, состояние среды. С помощью использования действий можно записывать формулы, отражающие изменения ситуаций при определенных условиях.

**Мера** используется для характеристики свойств объектов. Для указания типа меры используется одноместный предикат, например, *цена, мощность, объем, производительность*. С мерой, как правило, связывается ее числовое значение.

**Единица измерения**, представленная объектной константой, используется для выражения числового значения меры.

**Время** в ситуационных моделях является важным фактором и используется для задания моментов времени начала и окончания выполнения действий, наступления ситуаций, для указания интервалов времени.

**Ситуация.** Понятие ситуации является центральным в ситуационном исчислении и в некотором смысле пересекается с понятием «состояние». Ситуация эквивалентна по смыслу некоторому подмножеству множества всех состояний среды и может быть задана в виде формул предикатов первого порядка, описывающих условия наступления этой ситуации. Для описания модели среды из большого количества возможных ее состояний при решении конкретной задачи нет необходимости знать полное состояние, достаточно фиксировать значения только некоторых переменных этого состояния и определять, что наступило следующее состояние.

Предполагается, что все изменения в среде начинаются с некоторого начального состояния, иначе говоря, с некоторой начальной ситуации  $S_0$ , и данная ситуация может измениться и перейти в другую ситуацию лишь в результате выполнения некоторых действий, применимых к этой ситуации. Каждая из этой другой ситуации может быть переведена с помощью действий в следующую, и так далее до достижения ситуации, которая удовлетворяет условиям решения оставленной задачи. При этом предполагается, что ситуаций, помимо тех, которые могут быть достигнуты с помощью выполнения действий, не существует.

**Аксиомы ситуационного исчисления.** В ситуационном исчислении рассматриваются следующие группы аксиом:

- Базовые аксиомы, устанавливающие отношения между ситуациями, действиями и переходами между ситуациями.
- Аксиомы допустимых действий, определяющие ту совокупность из возможного множества действий, которые допустимы в конкретных ситуациях.
- Аксиомы перехода в следующие ситуации определяют значения предикатов и функций в ситуации в результате перехода после выполнения некоторого действия.
- Аксиомы начальной ситуации задают начальные условия для моделируемой среды и выражаются формулами, которые могут содержать единственную переменную начальной ситуации.
- Аксиомы ограничений ограничивают пространство поиска решений и формулируют дополнительные знания о действиях и ситуациях.

Совокупность аксиом описывает свойства и поведение среды в различных ситуациях и позволяет моделировать ситуации, т.е. определять возможность достижения определенных ситуаций, доказывая или опровергая те или иные предположения.

Язык ситуационного исчисления является средством для описания динамики изменения среды. В языке ситуационного исчисления используются категории действий, категории ситуаций и категории объектов среды [1, 15].

**Заключение.** В статье рассмотрены возможности моделирования ситуаций для исследований энергетической безопасности на основе онтологий и ситуационного исчисления. Основой для построения ситуационных моделей является формирование основных понятий, отражающих предметную область, и отношений между ними. Это выполняется с использованием онтологического моделирования. Основные понятия, сформулированные в онтологической модели, рассматриваются в качестве основы для построения ситуационной модели средствами ситуационного исчисления. Возможности ситуационного исчисления позволяют моделировать ситуации и динамику их изменения на языке логики предикатов. Ситуационная модель содержит описание объекта энергетики и среды, в которой он функционирует в виде фактов, формулирует правила и условия перехода от ситуации к ситуации для достижения заданной цели. Таким образом, ситуационное исчисление является основой для представления знаний и описания динамики изменения ситуаций.

Работа выполняется при частичной финансовой поддержке грантов РФФИ №16-07-00474, № 16-07-00569)

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абраменкова И.В., Зайцев О.В., Стоянова О.В. Алгоритм поддержки принятия решений по управлению информационными ресурсами и примеры его работы // XII национальная конференция по искусственному интеллекту с международным участием (КИИ-2010): труды. Т.3. М.: Физматлит. 2010. С. 193-200.
2. Ворожцова Т.Н. Моделирование ситуаций в задачах ситуационного управления в энергетике // Информационные и математические технологии в науке и управлении. 2016. №1 (27). С. 39-48.
3. Ворожцова Т.Н. Онтологическая модель пространства знаний для ситуационного управления в энергетике // Информационные и математические технологии в науке и

- управлении / Труды Байкальской Всероссийской конференции «// Информационные и математические технологии в науке и управлении». Часть III. Иркутск. ИСЭМ СО РАН. 2015. С. 85-88.
4. Девятков В.В. Системы искусственного интеллекта: Учеб. пособие для вузов. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2001. 352 с.
  5. Клыков Ю.И. Ситуационное управление большими системами. // М. Энергия. 1984.
  6. 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.
  7. Массель Л.В., Ворожцова Т. Н., Макагонова Н.Н. Методологические аспекты ситуационного управления на основе системы онтологий // Информационные и математические технологии в науке и управлении / Труды Байкальской Всероссийской конференции «// Информационные и математические технологии в науке и управлении». Часть III. Иркутск. ИСЭМ СО РАН. 2015. С. 124-131.
  8. 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.
  9. Массель Л.В., Массель А.Г. Семиотический подход к созданию интеллектуальных систем ситуационного управления в энергетике // XVIII международная конференция «Информационные технологии в науке, образовании и управлении»: труды. Под ред. проф. Е.Л. Глориозова. Москва. 2015. С.1 82-193.
  10. 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.
  11. 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.
  12. Массель Л.В., Пяткова Н.И., Массель А.Г. Адаптация методов ситуационного управления для решения задач оценки влияния угроз на состояние энергетической безопасности / Методические вопросы исследования надежности систем энергетики. Вып. 64. Надежность систем энергетики: достижения, проблемы, перспективы // Отв. ред. Н.И. Воропай. ИСЭМ СО РАН. 2014. 568 с.
  13. Осипов Г.С. От ситуационного управления к прикладной семиотике // Новости искусственного интеллекта. 2002. №6 (54). С. 2-12.
  14. Поспелов Д.А. Ситуационное управление: теория и практика. М.: Наука. Гл. ред. Физ.-мат. Лит. 1986. 288 с.
  15. Рассел С, Норвиг П. Искусственный интеллект: современный подход, 2-е изд. : Пер. с англ. М.: Издательский дом «Вильямс». 2006. 1408 с.
  16. Vorozhthsova T., Pjatkova N. Simulation of critical situations in the energy security studies // Proceeding of International Workshop “Contingency management, intelligent, agent-based computing and cyber security in critical infrastructures” (CM/IAC/CS/CI-2016). Иркутск. ИСЭМ СО РАН. 2016.

## ONTOLOGY, SITUATION MODELING AND SITUATION CALCULUS IN SITUATION MANAGEMENT

**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](mailto:tnn@isem.irk.ru)

**Abstract.** The paper discusses the possibility of using ontological representation and structuring the knowledge necessary to model situations and situational management in energy research. The possibilities of situational calculus for the description of energy objects, relationships between objects taking into account their participation in the situations, simulations and formulation of a set of rules reflecting the possibility of changing situations to achieve desired goals are investigated.

**Keywords:** Ontological model, situation, situation management, situational calculus, knowledge modeling.

### References

1. Abramenkova I.V., Zajcev O.V., Stojanova O.V. Algoritm podderzhki prinjatija reshenij po upravleniju informacionnymi resursami i primery ego raboty [The algorithm of decision support management of information resources and examples of his work] // XII nacional'naja konferencija po iskusstvennomu intellektu s mezhdunarodnym uchastiem (KII-2010): Trudy = XII national conference on artificial intelligence with international participation (KII-2010): proceedings. M.: Fizmatlit, 2010. T.3. Pp. 193-200.
2. Vorozhцова T.N. Modelirovanie situacij v zadachah situacionnogo upravlenija v jenergetike [Modeling situations in problems of situational management in the energy sector] // Informacionnye i matematicheskie tehnologii v nauke i upravlenii = Information and mathematical technology in science and management. 2016. №1 (27). Pp. 39-48 (in Russian).
3. Vorozhцова T.N. Ontologicheskaja model' prostranstva znanij dlja situacionnogo upravlenija v jenergetike [The ontological model of knowledge spaces for situational management in the energy sector] // XX Baikal Russian conference «Informacionnye i matematicheskie tehnologii v nauke i upravlenii» = Information and mathematical technology in science and management»: proceedings. P. III. – Irkutsk. MESI, 2015. Pp. 85-88 (in Russian).
4. Devjatkov V.V. Sistemy iskusstvennogo intelekta: Ucheb. posobie dlja vuzov. [Artificial intelligence systems: textbook for universities] – M.: MGTU im. N.Иe. Bauman, 2001. – 352 p. (in Russian).
5. Klykov YU.I. Situacionnoe upravlenie bol'shimi sistemamy [Situational management of large systems] // M.: EHnergiya, 1984 p. (in Russian).
6. Massel' L.V., Vorozhцова T.N., Kopajgorodskij A.N., Makagonova N.N., Skripkin S.K. Primenenie ontologij v issledovanijah i podderzhke prinjatija reshenij v jenergetike [The use of ontologies in research and decision support in the energy sector ]// Vserossijskaja konferencija «Znanija-Onologii-Teorija = Russian conference "Knowledge-Ontologies-Theory» (ZONT-13): proceedings. Novosibirsk. IM SO RAN. T.2. Pp.29-38 (in Russian).

7. Massel' L.V., Vorozhova T. N., Makagonova N.N. Metodologicheskie aspekty situacionnogo upravlenija na osnove sistemy ontologij [Methodological aspects of situational management based on the system of ontologies] // XX Baikal Russian conference «Informacionnye i matematicheskie tehnologii v nauke i upravlenii» = Information and mathematical technology in science and management»: proceedings. P. III. – Irkutsk. MESI, 2015. Pp. 124-131 (in Russian).
8. Massel' L.V., Massel' A.G., Vorozhova 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, Onologii, Teorii = Russian conference "Knowledge-Ontologies-Theory» (ZONT-2015): proceedings. T.2. 2015. Novosibirsk. IM SO RAN. Pp.36-43 (in Russian).
9. Massel' L.V., Massel' A.G. Semioticheskij podhod k sozdaniju intellektual'nyh sistem situacionnogo upravlenija v jenergetike [A semiotic approach to creating intellectual system of situational management in the energy sector] // XVIII mezhdunarodnaja konferencija «Informacionnye tehnologii v nauke, obrazovanii i upravlenii» = International conference "Information technologies in science, education and management", proceedings. Pod red. prof.E.L. Glorizova. Moskva. 2015. Pp.182-193. (in Russian).
10. Massel' L.V., Massel' A.G. Situacionnoe upravlenie i semanticheskoe modelirovaniya v ehnergetike [Situational management and semantic modeling in energy sector] / IV international conference OSTIS: proceedings , Belarus', Minsk: BGUIR. - 2014. - Pp. 111-116 (in Russian).
11. 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 support in emergency situations in the energy sector] // Vychislitel'nye tehnologii = Computational technologies. 2013. T.18. Pp. 37-44. (in Russian).
12. Massel' L.V., Pyatkova N.I., Massel' A.G. Adaptacija metodov situacionnogo upravleniya dlya resheniya zadach ocenki vliyanija ugroz na sostoyanie ehnergeticheskoj bezopasnosti [Adaptation of methods of situational management for solving problems of assessing the impact of threats to energy security] / Metodicheskie voprosy issledovanija nadezhnosti sistem jenergetiki. Vyp. 64. Nadezhnost' sistem jenergetiki: dostizhenija, problemy, perspektivy = Methodical questions of research of reliability of energy systems. Vol. 64. Reliability of energy systems: achievements, problems, prospects // Otv. red. N.I. Voropaj. – ISJeM SO RAN. 2014. – 568 p. (in Russian).
13. Osipov G.S. Ot situacionnogo upravleniya k prikladnoj semiotike [From situational management to applied semiotics] / Novosti iskusstvennogo intellekta = Artificial intelligence news. – 2002. –№6 (54). – Pp. 2-12. (in Russian).
14. Pospelov D.A. Situacionnoe upravlenie: teoriya i praktika [Situational management: theory and practice] // – M.: Nauka. – Gl. red. Fiz.-mat. Lit., 1986. – 288 p. (in Russian).
15. Rassel S, Norvig P. Iskusstvennyj intellekt: sovremennyj podhod [Artificial intelligence: a modern approach], 2-e izd. : Per. s angl. – M.: Izdatel'skij dom «Vil'jams», 2006. – 1408 p. (in Russian).
16. Vorozhthsova T., Pjatkova N. Simulation of critical situations in the energy security studies // Proceeding of International Workshop “Contingency management, intelligent, agent-based computing and cyber security in critical infrastructures” (CM/IAC/CS/CI-2016). Irkutsk. ISEM SO RAN. 2016.

УДК 519.711.2

## СОЗДАНИЕ ОНТОЛОГИЙ В МЕДИЦИНЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММЫ PROTEGE

**Берестнева Ольга Григорьевна**

Д.т.н., профессор, e-mail: [ogb@tpu.ru](mailto:ogb@tpu.ru)

**Жаркова Оксана Станиславовна**

Научный сотрудник, e-mail: [osz@tpu.ru](mailto:osz@tpu.ru)

**Маклакова Таисия Глебовна**

аспирант, [mclakova.t@gmail.com](mailto:mclakova.t@gmail.com)

**Шухарев Сергей Олегович**

студент, e-mail: [shukharev.sergey@mail.ru](mailto:shukharev.sergey@mail.ru)

Национальный исследовательский Томский политехнический  
университет, 634050 г. Томск, ул. Ленина 30

**Аннотация.** Основным побудительным мотивом работы по внедрению компьютерных технологий в систему здравоохранения является высокая общественная значимость улучшения ситуации в этой сфере, включая повышение качества и скорости лечения, снижение затрат на предоставление услуг и приобретение эффективных средств обеспечения соответствия нормативным документам и прочим требованиям. Медицинские информационные технологии приобретают все большую актуальность, а программное обеспечение для медицины становится все более востребованным. Актуальность данной работы состоит в том, что разработанная онтология будет использована для создания базы знаний системы научных исследований психогенных форм бронхиальной астмы, разрабатываемой коллективом сотрудников ТПУ и СибГМУ в рамках проекта Российского фонда фундаментальных исследований. Отличительной особенностью данной системы является то, что она будет содержать в себе не только данные о признаках и формах бронхиальной астмы, но и медицинский справочник.

**Ключевые слова:** система поддержки принятия решений, база знаний, онтологическая модель, Protégé.

**Введение.** Медицинские информационные технологии приобретают все большую актуальность, а программное обеспечение для медицины становится все более востребованным. Медицинская информационная система (МИС) – комплексная автоматизированная информационная система, в которой объединены электронные медицинские записи о пациентах, данные медицинских исследований в цифровой форме, данные мониторинга состояния пациента с медицинских приборов, средства общения между сотрудниками, финансовая административная информация, напрямую связанная с медицинской деятельностью. Отличительной особенностью интеллектуальных МИС является наличие базы знаний [2, 5].

База знаний, БЗ (англ. Knowledge base, KB) – это особого рода база данных, разработанная для управления знаниями, т.е. для сбора, хранения, поиска и выдачи знаний. Под базами знаний понимают совокупность фактов и правил, допускающих логический вывод и осмысленную обработку информации [2].

Чаще всего выделяют три стратегии получения знаний [5]:

- приобретение знаний;
- извлечение знаний;
- обнаружение знаний.

Под приобретением знаний (acquisition) понимается способ автоматизированного наполнения базы знаний посредством диалога эксперта и специальной программы. Извлечением знаний (elicitation) называют процедуру взаимодействия инженера по знаниям с источником знаний (экспертом). Термины «обнаружение знаний» (knowledge discovery) и DataMining связывают с созданием компьютерных систем, реализующих методы автоматического обнаружения знаний [5]. В данной работе рассмотрен пример использования стратегии «обнаружение знаний» для построения медицинских баз знаний.

В настоящее время для создания баз знаний все чаще применяются онтологии предметной области [1, 9 - 12, 14, 15].

**Онтология в информатике.** Онтология в информатике — это попытка всеобъемлющей и подробной формализации некоторой области знаний с помощью концептуальной схемы. Обычно такая схема состоит из структуры данных, содержащей все релевантные классы объектов, их связи и правила. Понятия в онтологии должны быть близки к объектам (физическим или логическим) и отношениям в интересующей предметной области. Современные онтологии строятся по большей части одинаково, независимо от языка написания [10, 12, 14]. Обычно они состоят из экземпляров, понятий, атрибутов и отношений.

Специализированные (предметно-ориентированные) онтологии — это представление какой-либо области знаний или части реального мира. В такой онтологии содержатся специфические для этой области значения терминов [1, 9, 10, 12, 14]. Общие онтологии используются для представления понятий общих для большого числа областей. Такие онтологии содержат базовый набор терминов, глоссарий или тезаурус, используемый для описания терминов предметных областей.

Под языком описания онтологий — понимают формальный язык, используемый для кодирования онтологии. Существует несколько подобных языков [6]:

- OWL — Web Ontology Language
- KIF (Knowledge Interchange Format — формат обмена знаниями)
- Common Logic (CL) — преемник KIF (стандартизован — ISO/IEC 24707:2007).
- СуcL — онтологический язык, использующийся в проекте Суc. Основан на исчислении предикатов с некоторыми расширениями более высокого порядка.
- DAML+OIL (FIPA).

Для работы с языками онтологий существует несколько видов технологий: редакторы онтологий (для создания онтологий), СУБД онтологий (для хранения и обращения к онтологии) и хранилища онтологий (для работы с несколькими онтологиями).

Основные редакторы онтологий: Ontolingua; Protege; DOE; OntoEdit; OilEd; WebOnto; ODE, WebODE. В последнее время количество общедоступных редакторов онтологий превышает 100, которые, однако, не являются универсальными.

Авторами был выбран редактор Protege, поскольку с момента его создания он чаще всего использовался экспертами различных предметных областей [7 - 11], в том числе, и для концептуального моделирования в области медицины. Protege - это свободно распространяемая Java-программа, предназначенная для построения (создания, редактирования и просмотра) онтологий той или иной прикладной области. Она включает редактор онтологий, позволяющий проектировать онтологии, разворачивая иерархическую структуру абстрактных и конкретных классов и слотов. На основе сформированной онтологии Protege позволяет генерировать формы получения знаний для введения экземпляров классов и подклассов. Кроме того, данный инструмент поддерживает использование языка OWL и позволяет генерировать HTML-документы, что дает возможность адаптировать его и для редактирования моделей предметных областей, представленных не в OWL, а в других форматах (UML, XML, SHOE, DAML+OIL, RDF/RDFS и т.п.). Практическая разработка онтологии включает: определение классов в онтологии; расположение классов в таксономическую иерархию; определение слотов и описание их допустимых значений; создание экземпляров - заполнение слотов значениями [4, 6].

**Построение онтологии психогенных форм бронхиальной астмы.** В качестве примера рассмотрим построение онтологии форм бронхиальной астмы (БА). Объектом исследования являются физиологические, психофизиологические и личностные особенности пациентов с различными формами бронхиальной астмы, подробно описанные в [3]. Группу, условно названную психогенно индуцированная БА (*BAP1*), составили лица, у которых ведущий элемент болезни, первый приступ удушья развился после перенесенного эмоционального стресса, психотравмирующего жизненного события. Дальнейшее резкое ухудшение течения болезни было связано с психологическими проблемами негативного характера. Во вторую группу больных с БА непсихогенной (*BANP*) вошли лица с "классической" БА, преимущественно с атопической формой заболевания, у которых в начале болезни наблюдались различные проявления атопии (риниты, конъюнктивиты, кожные высыпания). К обострению болезни приводили чаще аллергия, вирусные инфекции, физические факторы (холодовые, колебания метеоусловий), а не психологические факторы. Третья группа – БА соматопсихогенная (*BASP*). У представителей *BASP* «обычное» течение болезни было нарушено жизненным стрессом, после которого психо- эмоциональные триггеры вызывали тяжелые приступы удушья, обострение болезни. Четвертую группу, исходно условно отмеченную как «психогенная одышка» (*PO*), образовали пациенты, направляемые к пульмонологу для исключения астмы, с жалобами на приступы удушья и одышку, связанные с психотравмирующими жизненными событиями, у которых многочисленными обследованиями была исключена бронхиальная обструкция и другие признаки астмы и органической патологии.

Для построения онтологии БА воспользуемся возможностями редактора Protégé. Пользовательский интерфейс Protege состоит из главного меню и нескольких вкладок для редактирования различных частей базы знаний и ее структуры. Набор и названия вкладок зависят от типа проекта (языка представления) и могут быть настроены вручную. Обычно

имеются следующие основные вкладки: Классы, Слоты (или Свойства для OWL), Экземпляры, Метаданные. Назначение основных вкладок - предоставить набор форм для заполнения базы знаний. Вкладка "Классы" предназначена для создания классов, слотов для данного класса, отображения иерархии классов, добавления текстовых примечаний к классам, поиска класса по шаблону. Вкладка "Слоты" предназначена для создания Функции: создание слотов, назначение домена и диапазона для данного слота, отображение иерархии и свойств слотов, добавление текстовых описаний слотов, поиск слота по шаблону, задание ограничений на значения слота. Вкладка "Экземпляры" предназначена для создания экземпляров класса, отображения и редактирования свойств экземпляра, отображение иерархии классов, связывание экземпляров слотами, добавление текстовых описаний экземпляров, поиск слота по шаблону, задание ограничений на значения слота [6].

Ниже приведены некоторые результаты, полученные с помощью Protégé 4.3 на первом этапе создания онтологии: основные классы (рис. 1); свойства экземпляров классов (рис. 2); онтологический граф (рис. 3).

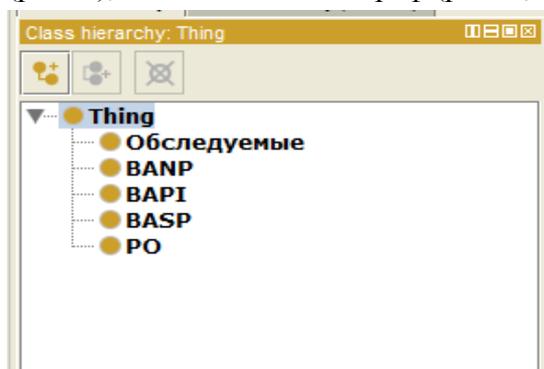


Рис. 1. Вид диалогового окна «Class hierarchy»

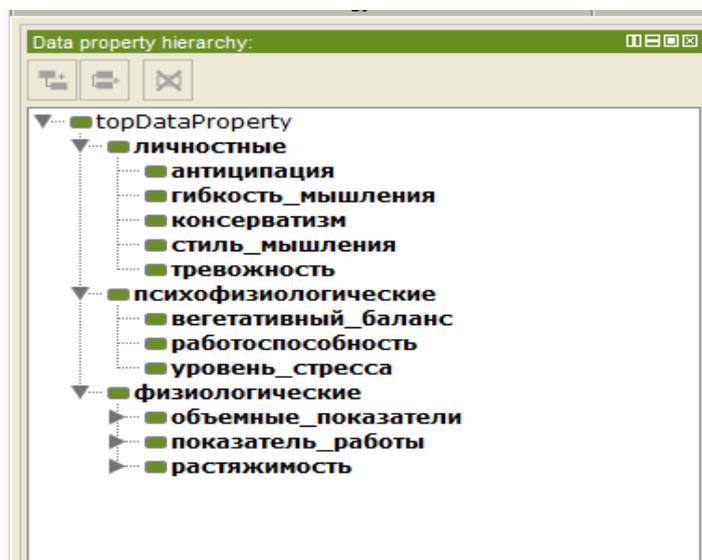


Рис. 2. Подсвойства свойств объекта

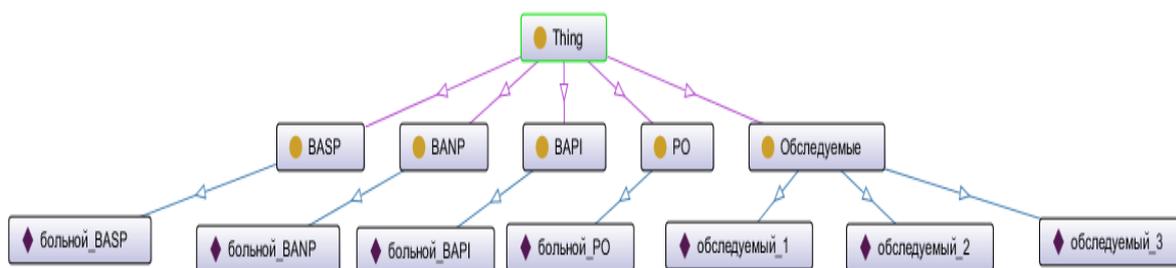


Рис. 3. Онтологический граф

Полученные результаты были использованы при создании расширенной базы знаний системы поддержки научных исследований психогенных форм бронхиальной астмы.

**Заключение.** Опыт использования программы Protégé показал, что применение данной технологии является достаточно эффективным инструментом для решения задач построения онтологий в области медицины.

Следует отметить, что разработка онтологии - это всегда итеративный процесс, и не существует единственно правильного способа моделирования предметной области. Лучшее решение почти всегда зависит от предполагаемого приложения и ожидаемых расширений. После того как определена начальная версия онтологии, необходимо оценить и отладить ее (совместно с экспертами предметной области).

Полученную на данном этапе начальную онтологию психогенных форм бронхиальной астмы планируется в дальнейшем исправлять и дополнять, т.е. процесс итеративного проектирования будет продолжаться в течение всего жизненного цикла онтологии.

**Исследование выполнено при частичной финансовой поддержке РФФИ в рамках научных проектов № 15-07-08922, № 14-07-00675**

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бахвалов С.В., Берестнева О.Г., Марухина О.В. Применение онтологического моделирования в задачах организации учебного процесса вуза // Онтология проектирования. 2015. Т. 5. № 418). С. 387-398.
2. Берестнева О.Г., Шаропин К.А., Старикова А.В., Кабанова Л.И. Технология формирования баз знаний в медицинских и информационных системах // Известия Южного федерального университета. Технические науки. 2010. №8 (109). С. 32-37.
3. Берестнева О.Г., Осадчая И.А., Немеров Е.В. Методы исследования структуры медицинских данных // Вестник науки Сибири. 2012. № 1 (2). С. 333-338.
4. Добров Б. В., Иванов В.В., Лукашевич Н.В., Соловьев В.Д. Онтологии и тезаурусы: модели, инструменты, приложения. М.: Бином. Лаборатория знаний. 2009. 173 с.
5. Дюк В., Эмануэль В. Информационные технологии в медико – биологических исследованиях. СПб.: Питер. 2003. 528 с.
6. Онтологии. Система Protege. URL: <http://www.studfiles.ru/dir/cat32/subj146/file2888/view3934.html>
7. Разин В.В., Тузовский А.Ф. Метод принятия решений на основе анализа ситуаций и семантических технологий // Известия Томского политехнического университета. 2012. Т. 321. №. 5. С. 188-193
8. Разин В.В., Тузовский А.Ф. Представление знаний о времени с учётом неопределённости в онтологиях SemanticWeb // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. 2013. №. 2(28). С. 157-163.
9. Тарасова Л.П., Берестнева О.Г. Разработка онтологической модели для описания различных форм бронхиальной астмы // Молодежь и современные информационные технологии: Сборник трудов XIII Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных: в 2 томах. Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Институт кибернетики (ИК); Под редакцией Т. Е. Мамоновой. 2016. С. 268-269.
10. Темникова Е.А., Асламова В.С., Берестнева О.Г. Онтологическое моделирование предметной области учреждения дополнительного профессионального образования // Онтология проектирования. 2015. Т. 5. № 418). С. 369-386.
11. Терехин Д.Э., Тузовский А.Ф. Системы ситуационного управления на основе технологий SEMANTIC WEB // Знания - Онтологии - Теории (ЗОНТ-2015) : материалы

- Всероссийской конференции с международным участием. В 2-х томах. М.: Технотрейд. 2015. Т. 2. С. 151-155.
12. Тузовский А.Ф. Разработка систем управления знаниями на основе единой онтологической базы знаний // Известия Томского политехнического университета. 2007. Т. 310. № 2. С. 182-185.
  13. Тузовский А.Ф., Чириков С.В., Ямпольский В.З. Системы управления знаниями (методы и технологии); под общ. ред. В.З. Ямпольского. Ин-т "Кибернет. центр" ТПУ, Отд. проблем информатизации ТНЦ СО РАН. Томск. 2005.
  14. Тузовский А.Ф. Метод объединения онтологий предметных областей знаний // Известия Томского политехнического университета. 2006. Т. 309. № 7. С. 138-141.
  15. Тузовский А.Ф. Архитектура систем управления знаниями на основе семантических технологий // Современные системы искусственного интеллекта и их приложения в науке: материалы II Всероссийской научной Интернет конференции с международным участием, Казань, 14 Мая 2014. Казань: Сервис виртуальных конференций RaXGrid. 2014. С. 103-107.

---

UDK 519.711.2

## CREATION OF ONTOLOGIES IN MEDICINE WITH USE OF THE PROTEGE PROGRAM

**Olga G. Berestneva**

Dr., Professor, e-mail: [ogb@tpu.ru](mailto:ogb@tpu.ru)

**Oksana S. Zharkova**

Research Officer, e-mail: [osz@tpu.ru](mailto:osz@tpu.ru)

**Taisiya G. Maklakova**

Graduate student, e-mail: [ogb@tpu.ru](mailto:ogb@tpu.ru)

**Sergey O. Shukharev**

Student, e-mail: [shukharev.sergey@mail.ru](mailto:shukharev.sergey@mail.ru)

National Research Tomsk Polytechnic University 634050, Tomsk, Lenin St. 30

**Abstract.** The main incentive motive of work on implementation of computer technologies in a health care system is the high public importance of improvement of a situation in this sphere, including improvement of quality and speeds of treatment, cost reduction on provision of services and acquisition of effective remedies of ensuring compliance to regulating documents and other requirements. Medical information technologies acquire all big relevance, and the software for medicine becomes all more demanded. Relevance of this work consists that the developed ontology will be used creations of the knowledge base of system of scientific researches of psychogenic forms of the bronchial asthma developed by group of employees of Tomsk Polytechnic University and Siberian State Medical University within the project of the Russian fund of basic researches. Distinctive feature of this system is what it will comprise not only data on signs and forms of bronchial asthma, but the medical reference book.

**Keywords:** system of decision support, knowledgebase, ontology model, Protégé

### References

1. Bahvalov S., Berestneva O., Marukhina O. Primenenie ontologicheskogo modelirovaniya v zadachah organizacii uchebnogo processa vuza [The use of ontological modeling in problems of the educational process of high school] // *Ontologiya proektirovaniya = Ontology of designing*. 2015. V. 5. № 418. Pp. 387-398. (in Russian)
2. Berestneva O., Sharopin K., Starikova A., Kabanov L. Tekhnologiya formirovaniya baz znaniy v medicinskih informatsionnyh sistemah [Technology of formation of bases of knowledge in medical and information systems] // *Izvestiya Yuzhnogo federal'nogo universiteta. Tekhnicheskie nauki = Izvestiya SFedU. Engineering Sciences*. 2010. №. (8) 109. Pp. 32-37. (in Russian)
3. Berestneva O., Osadchaya I., Nemerow E. Metody issledovaniya struktury medicinskih dannyh [Methods of studying the structure of medical data] // *Vestnik nauki Sibiri = Bulletin of Siberian science*. 2012. № 1 (2). Pp. 333-338. (in Russian)
4. Dobrov B., Ivanov V., Lukashevich N., Solovyov V. Ontologii i tezaury: modeli, instrumenty, prilozheniya [Ontologies and thesauri: models, tools and applications]. M . Bean. Knowledge Laboratory. 2009. 173 p. (in Russian)
5. B. Duke, Emanuel V. Informatsionnye tekhnologii v medico – biologicheskikh issledovaniyakh [Information technologies in medical - biological research]. SPb . Peter. 2003. 528 p. (in Russian)
6. Ontologies. Protege system.  
URL: <http://www.studfiles.ru/dir/cat32/subj146/file2888/view3934.html> (in Russian)
7. Razin V.V., Tuzovskiy A.F. Metod prinyatiya resheniiy na osnove analiza situatsiy i semanticheskikh tekhnologiy [The method of decision-making based on the analysis of situations and semantic technologies] // *Bulletin of Tomsk Polytechnic University*. 2012. T. 321. №. 5. Pp. 188-193. (in Russian)
8. Razin V.V., Tuzovskiy A.F. Predstavlenie znaniy o vremeni s uchetom neopredelennosti v ontologiyah SemanticWeb [Representation of knowledge of time taking into account the uncertainty in ontologies SemanticWeb] // *Reports of the Tomsk State University of Control Systems and Radio Electronics*. 2013. №. 2(28). Pp. 157-163. (in Russian)
9. Tarasova L.P., Berestneva O.G. Razrabotka ontologicheskoiy modeli dlya opisaniya razlichnyh form bronhialnoi astmy [Development of the ontological model for describing different forms of asthma] // *Youth and modern information technologies: Proceedings of XIII International scientific-practical conference of students, graduate students and young scientists*. Tomsk. 2016. Pp. 268-269. (in Russian)
10. Temnikova E., Aslamova V., Berestneva O. Ontologicheskoe modelirovanie predmetnoi oblasti uchrezhdeniya dopolnitelnogo professionalnogo obrazovaniya [Ontological modeling domain institutions of additional professional education] // *Ontologiya proektirovaniya = Ontology of designing*. 2015. V. 5. № 418. Pp. 369-386. (in Russian)

11. Terekhin D.E., Tuzovskiiy A.F. Sistemy situacionnogo upravleniya na osnove tekhnologii SEMANTIC WEB [Systems of situational management based on Semantic Web technologies] // Knowledge - Ontology - Theory (KONT-2015): materials of All-Russian conference with international participation. In 2 vols. M: TECHNOTRADE. 2015. T. 2. Pp. 151-155. (in Russian)
12. Tuzovskiiy A.F. Razrabotka system upravleniya znaniyami na osnove edinoiy ontologicheskoiy bazy znaniy [The development of knowledge management systems based on unified ontological knowledge base] // Bulletin of Tomsk Polytechnic University 2007. T. 310. № 2. Pp. 182-185. (in Russian)
13. Tuzovskiiy A.F., Chirikov S.V., Yampolskiiy V.Z. Sistemy upravleniya znaniyami (metody I tekhnologii) [Knowledge Management Systems (methods and technologies)]; edited V.Z. Yampolsky; Cybernetic Center of TPU, Tomsk Scientific Center SB RAS. Tomsk.2005. (in Russian)
14. Tuzovskiiy A.F. Metod obedineniya ontologiiy predmetnyh oblastey znaniy [The method of of association the knowledge domain ontologies] // Bulletin of Tomsk Polytechnic University, 2006. T. 309. № 7. Pp. 138-141. (in Russian)
15. Tuzovskiiy A.F. Arkhitektura system upravleniya znaniyami na osnove semanticheskikh tekhnologiiy [The architecture of knowledge management systems based on semantic technologies] // Modern system of artificial intelligence and its applications in science: Proceedings of the II All-Russian scientific Internet conference with international participation, Kazan, 14 May 2014. Kazan: Service of virtual conferences PaxGrid. 2014. Pp. 103-107. (in Russian)

УДК 519.6

## ВЕБ-ОРИЕНТИРОВАННАЯ СРЕДА ВИЗУАЛИЗАЦИИ МНОГОМЕРНОГО ФРОНТА ПАРЕТО

**Белоус Валентина Владимировна**

К.т.н., ст. преподаватель каф. «Системы автоматизированного проектирования»,

e-mail: walentina.belous@gmail.com

**Грошев Сергей Владимирович**

Ст. преподаватель каф. «Системы автоматизированного проектирования»,

e-mail: sgro@newmail.ru

**Карпенко Анатолий Павлович**

Д.ф-м.н, профессор, заведующий каф. «Системы автоматизированного проектирования»,  
ФГБОУ «Московский Государственный технический университет им. Н.Э. Баумана», 105005

г. Москва, 2-я Бауманская ул. д. 5,

e-mail: akarpenko@bmstu.ru

**Аннотация.** Предлагается веб-ориентированная среда для визуализации аппроксимации фронта Парето (П-аппроксимации). Рассматриваются существующие приложения для решения данной задачи и формулируются требования к разрабатываемому веб-приложению. С использованием этого приложения выполнено сравнительное исследование эффективности различных алгоритмов визуализации. Результаты исследования показали удобство использования приложения.

**Ключевые слова:** многокритериальная оптимизация, множество Парето, парето-аппроксимация, визуализация многомерных данных

**Введение.** Задача многокритериальной оптимизации возникает в различных областях науки и техники, и в настоящее время известно значительное число различных способов ее решения. Один из современных способов основан на предварительном построении конечномерной аппроксимации Парето-оптимального множества решений этой задачи. Существуют различные методы построения такой аппроксимации (П-аппроксимации) [5], а также способы оценки ее качества [1]. Обзор программных систем, решающих эти задачи приведен в работах [2, 4].

Самостоятельной задачей, решаемой при оценке качества Парето-аппроксимации, является представление в наглядной форме полученных данных – задача визуализации П-аппроксимации. Традиционные инструменты, используемые для визуализации данных – графики и диаграммы – оказываются малоприспособленными в случае, когда возникает необходимость изобразить более трех взаимосвязанных величин. В этом случае часто используют подходы к визуализации, основанные на снижении размерности исходных данных [3].

**1. Программные системы для визуализации многомерных данных.** Рассмотрим подходы к разработке систем визуализации на примере наиболее известных из них.

В системе VidaExpert [7] воплощена идея метода *упругих карт* для отображения данных. С этой целью создаются объекты типа *слой*, которые отвечают за отрисовку входных

данных на экране. Карта может быть различным образом раскрашена (свойство «Тип раскраски»). Реализовано несколько типов раскрасок данных:

- по значению заданного критерия оптимальности;
- по двумерной плотности точек;
- по двумерной плотности выделенного подмножества;
- по многомерной плотности точек;
- по многомерной плотности выделенного подмножества;
- по расстоянию от точки данных до ближайшей точки карты.

Достоинство данной программы заключается в принципе «красной кнопки», который состоит в том, что пользователю необходимо нажать минимальное число для получения стандартного приемлемого результата. Согласно этому принципу пользователь должен получать результат, не владея всеми тонкостями методов настройки и конфигурации проекта.

Язык программирования R [8] широко распространён для анализа данных и фактически стал стандартом для статистических программ. R поддерживает широкий спектр методов анализа и является хорошо расширяемым с помощью пакетов и библиотек. В базовой поставке этого языка присутствует более 4000 пакетов. Язык R в современном мире используется как один из самых популярных инструментов для визуализации данных. Язык имеет в своем арсенале все популярные методы визуализации: пиктограммы, лица Чернова, графики параллельных координат, метод главных компонент, дендограммы, многомерные шкалирования, и т.д.

Также с помощью данного языка легко выполнять операции кластеризации, классификации и другие виды дискриминантного анализа. Недостатком этого метода визуализации является высокий входной порог вхождения.

**2. Требования к распределенным и масштабируемым веб-системам.** Целью разработки системы визуализации многомерных данных, представленной в данной работе, являлось создание приложения, которое может быть использовано как автономно, так и в составе комплекса средств анализа качества Парето-аппроксимации. За основу выбран подход к построению приложения по принципу клиент–сервер. Для обмена информацией между клиентами и сервером используется протокол HTTP, что позволяет строить распределенные системы, в которых клиент и сервер могут быть физически разнесены в пространстве.

Разработка велась с использованием фреймворка Ruby on Rails, представляющего собой полноценный, многоуровневый фреймворк с открытым программным кодом. Один из главных принципов этого фреймворка – Don't repeat yourself, то есть максимизация повторного использования кода. Ruby on Rails реализован на основе архитектурного шаблона MVC (Model-View-Controller) (рис. 1) для веб-приложений.

Главными компонентами таких приложений являются модели (сущности). Они предоставляют остальным компонентам приложения объектно-ориентированное отображение данных. Объекты моделей отвечают за загрузку и сохранение данных в реляционной базе данных и реализуют бизнес-логику. В Ruby on Rails присутствуют плагины для работы как с реляционными, так и с нереляционными базами данных.

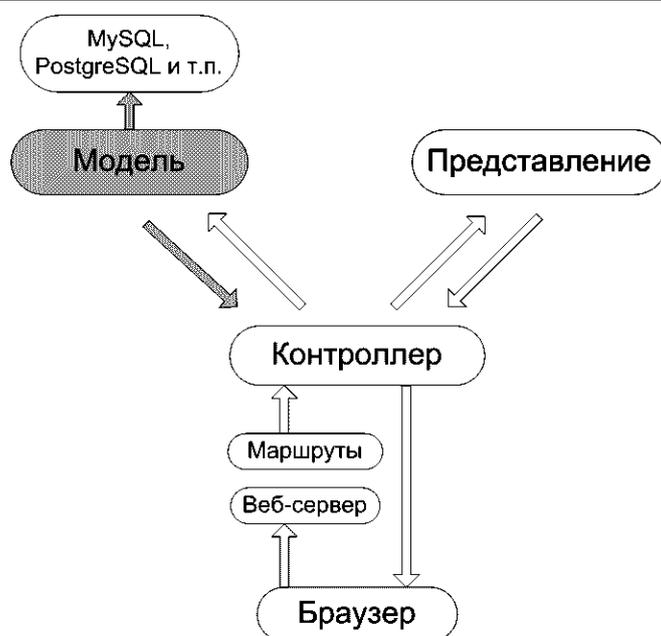


Рис. 1. MVC архитектура веб-приложения

Вторым компонентом в связке MVC является View – представление. Оно реализует пользовательский интерфейс с полученными от контроллера данными. Также представление передает запросы пользователя на манипуляцию данными в контроллер. Представление описывается при помощи шаблона ERB – файла HTML с включением Ruby кода (Embedded Ruby). Вывод, сгенерированный встроенным кодом Ruby, включается в шаблон, и вся страница возвращается контроллеру, который направляет её пользователю. Кроме ERB существует ещё более 20 шаблонизаторов, в том числе и Haml.

Контроллер отвечает за вызов методов модели и запускает формирование представления. Открытые методы контроллера называются действиями (actions). Обычно каждому действию контроллера соответствует определенное представление. Например, по запросу пользователя admin/index будет вызван метод index класса AdminController и затем использовано представление index.html.erb из директории views/admin.

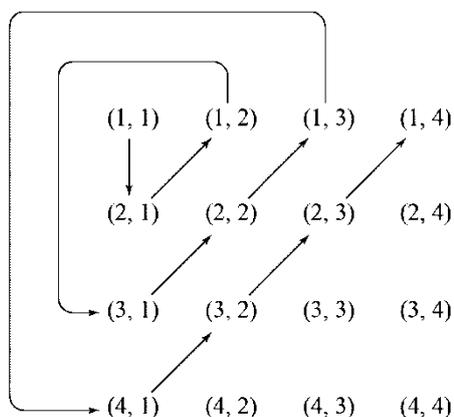
Предпочтительным способом интеграции с веб-сервером является проксирование, когда веб сервер выступает прокси-сервером перед сервером приложения. Ruby on Rails использует интерфейс Rack, который позволяет подключаться к веб-серверам и с легкостью обрабатывать HTTP запросы. Ruby on Rails умеет работать со всеми современными HTTP-серверами, такими как, Apache, Lighttpd и др.

Представляемое веб-приложение использует фреймворки для CSS верстки - Bootstrap и для JavaScript - jQuery. Использование в проекте этих фреймворков гарантирует корректную работу в популярных браузерах, при этом существенно экономится время на разработку клиентской части.

Bootstrap – это свободно распространяемая библиотека инструментов для верстки сайтов и веб-приложений. Включает в себя HTML и CSS шаблоны оформления для графики, веб-форм, кнопок, меток, блоков навигации и прочих компонентов веб-интерфейсов, включая JavaScript расширения. Bootstrap использует сетки с заранее заданным размером колонок, которые можно сразу же использовать. Также используются средства оформления

таблиц, классы для оформления форм, вкладок, страниц, меню. Библиотека предоставляет широкие возможности при работе с диалоговыми окнами, подсказками и всплывающими окнами. В нашем проекте Bootstrap используется при верстке всех основных страниц.

**3. Метод диагонального пересчета гиперпространства (HSDC).** Одним из методов визуализации, используемых в предлагаемом веб-приложении, является метод диагонального пересчета гиперпространства HSDC [6], который был специально разработан для облегчения анализа данных задачах многокритериальной оптимизации. Метод основан на теореме Кантора, которая доказывает, что всегда существует однозначно заданное соответствие один-к-одному между пространством произвольной размерности и линейным пространством. Таким образом,  $n$ -мерное пространство всегда можно отобразить на одномерное. Для того, чтобы отобразить исходное пространство на одномерное пространство, исходное пространство разбивается на подобласти (далее ячейки), которые линейно упорядочиваются простым перечислением (рис. 2). Затем пронумерованные ячейки отображаются на дискретную координатную ось в соответствии со своими порядковыми номерами.



**Рис. 2.** Пример диагонального пересчета двухмерного пространства

В методе HSDC пространство данных размерностью  $N = m + n$  разделяют на два подпространства размерности  $m$  и  $n$ . Данные проецируют на эти подпространства и получают два множества данных. Затем подпространства разбивают на ячейки, и с помощью диагонального пересчета одно подпространство отображается на ось абсцисс, другое – на ось ординат координатной плоскости. Таким образом, происходит понижение размерности исходного пространства до двух. Точка многомерных данных получает координаты  $(x, y)$  на координатной плоскости, если ячейки, в которые точка попадает при проецировании на подпространства, имеют порядковые номера  $x$  и  $y$ . Метод удобен тем, что позволяет отобразить сразу все множество исходных данных на плоскости. Метод диагонального пересчета позволяет работать с пространствами практически любой размерности без существенных потерь данных.

Приведем шаги алгоритма HSDC.

1) Запоминаем в качестве входных данных многомерный фронт Парето в виде набора точек  $P_j = (p_1^j, p_2^j, \dots, p_n^j)$  в пространстве критериев  $f_1, f_2, \dots, f_n$ .

2) Находим минимальное  $(p_i^j)_{\min}$  и максимальное  $(p_i^j)_{\max}$  значения для каждого критерия  $f_j$  среди всех точек  $P_i$ . Вычисляем интервал  $R_i = (p_i^j)_{\max} - (p_i^j)_{\min}$ .

3) Определяем число подынтервалов, на которое планируется разбить каждый из этих интервалов.

4) Разбиваем интервалы на вычисленное число подынтервалов.

5) Разделяем критерии на две упорядоченные группы

$$F_X = \{f_g : g \in G \subset [1:n]\}, \quad F_Y = \{f_h : h \in H, G \cup H = [1:n]\}.$$

6) Выбираем из набора входных точек точку  $P_j = (p_1^j, p_2^j, \dots, p_n^j)$ . Для каждой координаты  $p_i^j$  определяем порядковый номер  $d_i^j$  интервала, в который она попадает. Получаем координаты ячейки дискретного подпространства  $D_j = (d_1^j, d_2^j, \dots, d_n^j)$ , в которую попадает точка.

7) Согласно произведенному разбиению критериев разделяем указанные дискретные координаты на две группы  $D_X, D_Y$ . С помощью процедуры диагонального пересчёта HSDC для каждой группы получаем значения индексов  $x$  и  $y$ . Отображаем их в виде точки на двумерной координатной плоскости;

8) Повторяем процедуру для всех точек.

**4. Интерфейс веб-приложения и сценарии работы.** Рассмотрим интерфейс предлагаемого веб-приложения. Первым шагом, который должны выполнить пользователи сервиса, является авторизация. Пользователь входит в проект, вводя логин и пароль. В случае отсутствия учетной записи пользователь проходит регистрацию. Неавторизованным пользователям доступна только общая информация о системе и контакты разработчиков.

Система регистрации обрабатывает следующие ошибки: попытка введения уже существующего имени в базе данных пользователей, отсутствие имени вообще в форме ввода, отсутствие пароля в форме ввода, различие введенных паролей. В случае если пользователь введет некорректные данные, система выведет подсказки. При успешной аутентификации приложение установит сессионную *cookie* и пользователь сможет продолжить работу с сервисом. После успешной аутентификации пользователь перенаправляется на страницу списка проектов.

Для создания нового проекта необходимо пройти по соответствующей ссылке. Каждая визуализация будет создана в рамках какого-либо проекта. Между проектами и визуализациями существуют связи *belongs\_to* и *has\_many*: визуализация принадлежит какому-либо проекту (*belongs\_to*) и каждый проект имеет несколько визуализаций (*has\_many*). Для того, чтобы просмотреть список визуализаций, принадлежащих какому-либо проекту, необходимо зайти на страницу этого проекта, нажав кнопку «Просмотреть». Для создания новой визуализации необходимо нажать «Добавить визуализацию». Приложение предлагает следующие возможности:

- создание новой визуализации с названием Name;
- загрузка файла с координатами точек аппроксимации многомерного фронта Парето;
- указание числа, на которое будут разбиты диапазоны каждого из критериев, в приложении они называются *levels* (это необходимо для работы метода HSDC);
- перенаправление на построенную визуализацию.

Файл аппроксимации фронта Парето представляет собой обычный текстовый файл, в котором координаты точек перечислены через пробел, а каждая новая точка соответствует новой строке в текстовом файле. Если оценка качества П-аппроксимации успешно выполнена, то пользователь автоматически перенаправляется на страницу визуализации. Также в проекте реализована возможность сравнения качества нескольких П-аппроксимаций. Для этого необходимо нажать на ссылку «Add comparison». Средствами javascript отображение блока изменится, в нем появятся дополнительные поля, в которые можно ввести данные о второй П-аппроксимации.

При нажатии любой из кнопок «Go» выполняется построение визуализации, и пользователь автоматически перенаправляется на страницу с построенными П-аппроксимациями (рис. 3).

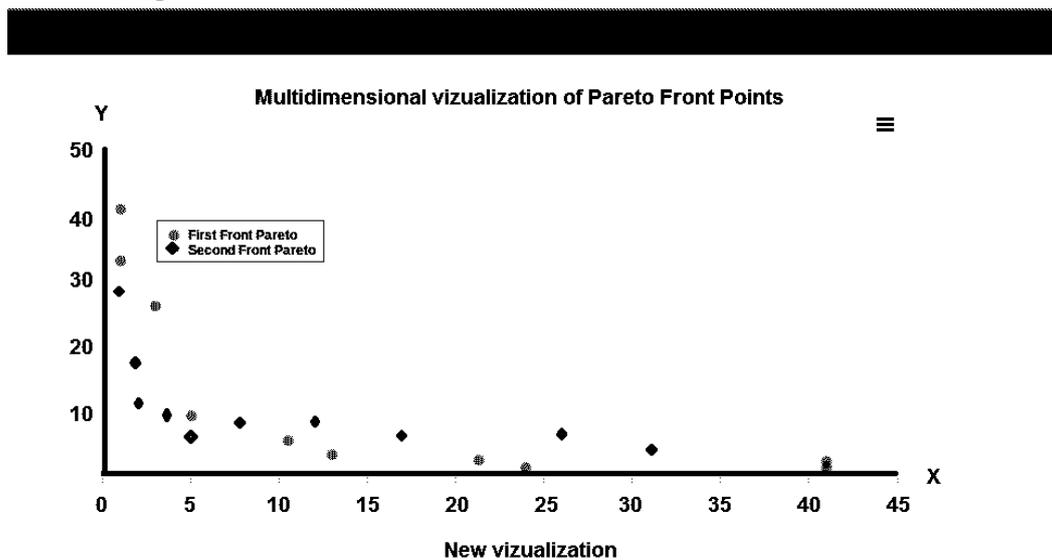


Рис. 3. Пример визуализации аппроксимации многомерного фронта Парето

**Заключение.** Представлена программная реализация веб-приложения для визуализации конечно-мерных аппроксимаций многомерных фронтов Парето в задаче многокритериальной оптимизации. Рассмотрена реализация клиентской части веб-приложения с использованием клиентских фреймворков. Описан процесс разработки серверной части MVC-приложения и сервера обработки расчетов. Рассмотрен вопрос взаимодействия между серверами, показаны основные элементы интерфейса приложения. Приведен обзор сценариев работы пользователя с проектом.

Работа поддержана РФФИ (проект № 16-07-00287).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Белоус В.В., Грабик А.В., Грошев С.В., Шибитов И.А. Качество Парето-аппроксимации в задаче многокритериальной оптимизации // XVIII Байкальская Всероссийская конференция «Информационные и математические технологии в науке и управлении». Часть 1. Иркутск: ИСЭМ СО РАН. 2013. С. 6-12.
2. Белоус В.В., Грошев С.В., Карпенко А.П., Шибитов И.А. Программные системы для оценки качества Парето-аппроксимации в задаче многокритериальной оптимизации. Обзор // Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2014. №4.

Режим доступа: <http://technomag.bmstu.ru/doc/709198.html>. (дата обращения 15.02.17)  
DOI:10.7463/0414.0709198,

3. Белоус В.В., Грошев С.В., Карпенко А.П., Остроушко В.А. Методы визуализации фронта Парето в задаче многокритериальной оптимизации. Обзор // Труды XX Байкальской Всероссийской конференции «Информационные и математические технологии в науке и управлении». Часть I. Иркутск: ИСЭМ СО РАН. 2015. С. 22-29.
  4. Грошев С.В., Карпенко А.П., Сабитов Д.Р., Шибитов И.А. Программная система PARETO RATING для оценки качества Парето-аппроксимации в задаче многокритериальной оптимизации // Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2014. № 7. (<http://technomag.bmstu.ru/doc/720253.html>) (дата обращения 15.02.17). DOI:10.7463/0714.0720253
  5. Карпенко А.П., Митина Е.В., Семенихин А.С. Популяционные методы аппроксимации множества Парето в задаче многокритериальной оптимизации // Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2012. №4. (<http://www.technomag.edu.ru/doc/363023.html>) (дата обращения 15.02.17).
  6. G. Agrawal, K. Lewis, K. Chugh, C.-H. Huang, S. Parashar, C. L. Bloebaum. Intuitive visualization of Pareto frontier for Multi-objective optimization in n-dimensional performance // Structural Dynamics & Materials Conference AIAA 2005-1813.
  7. Gorban A.N., Pitenko A., Zinovyev A. ViDaExpert: user-friendly tool for nonlinear visualization and analysis of multidimensional vectorial data // ArXiv:1406.5550 (дата обращения 15.02.17)
  8. The R Project for Statistical Computing, <https://www.r-project.org/> (дата обращения 15.02.17)
- 

## UDK 519.6

### WEB-ORIENTED ENVIRONMENT FOR VISUALIZATION OF MULTIDIMENSIONAL PARETO FRONT

**Valentina V. Belous**

Senior lecturer, chair «Computer Aided Design», e-mail: [walentina.belous@gmail.com](mailto:walentina.belous@gmail.com)

**Sergey V. Groshev**

Senior lecturer, chair «Computer Aided Design», e-mail: [sgro@newmail.ru](mailto:sgro@newmail.ru)

**Anatoly P. Karpenko**

Dr, Professor, head of chair «Computer Aided Design»,  
Bauman Moscow State Technical University, 105005 г. Moscow,  
2-nd Baumanskaya str 5, e-mail: [akarpenko@bmstu.ru](mailto:akarpenko@bmstu.ru)

**Abstract.** The paper contains requirements to drawing up the papers for journal "Information and mathematical technologies in science and management" using Microsoft Word text editor. Necessary title Data is shown, which must present in the article, text sizes, rules of text and formula design are shown also. The presented paper can be used as template for paper preparing. All text elements are proposed with using Word styles. The examples of figures and tables are given.

**Keywords:** multicriteria optimization, Pareto set, Pareto approximation, Pareto Front, multidimensional data visualization.

### References

1. Belous V.V., Grabik A.V., Groshev S.V., Shibitov I.A. Kachestvo Pareto-approximacii v zadache mnogokriterial'noj optimizacii [Quality of Pareto-approximation in the problem of multicriteria optimization] // XVIII Bajkal'skaja Vserossijskaja konferencija «Informatcionnye i matematicheskie tehnologii v nauke i upravlenii» Chast' 1.- Irkutsk: ISJeM SO RAN. 2013. Pp. 6-12. (in Russian)
2. Belous V.V., Groshev S.V., Karpenko A.P., Shibitov I.A. Programmnye sistemy dlja ocenki kachestva Pareto-approximacii v zadache mnogokriterial'noj optimizacii. Obzor [Software systems for assessing the quality of Pareto-approximation in the problem of multicriteria optimization. Overview] // Nauka i obrazovanie MGTU im. N.E. Baumana = Science and Education of the Bauman MSTU. 2014. № 4. Available at: <http://technomag.bmstu.ru/doc/709198.html>. (accessed 15.02.17) DOI: 10.7463/0414.0709198 (in Russian)
3. Belous V.V., Groshev S.V., Karpenko A.P., Ostroushko V.A. Metody vizualizacii fronta Pareto v zadache mnogokriterial'noj optimizacii. Obzor [Pareto front visualization methods in the problem of multi-criteria optimization. Overview] // Trudy XX Bajkal'skoj Vserossijskoj konferencii «Informatcionnye i matematicheskie tehnologii v nauke i upravlenii», 1-7 ijulja 2015. Chast' I. Irkutsk: ISJeM SO RAN. 2015. Pp. 22-29. (in Russian)
4. Groshev S.V., Karpenko A.P., Sabitov D.R., Shibitov I.A. Programmnaia sistema PARETO RATING dlja ocenki kachestva Pareto-approximacii v zadache mnogokriterial'noj optimizacii [PARETO RATING software system for Pareto-approximation quality estimation in the multicriterion optimization problem] // Nauka i obrazovanie MGTU im. N.E. Baumana = Science and Education of the Bauman MSTU. 2014. № 7. Available at: <http://technomag.bmstu.ru/doc/720253.html>. (accessed 15.02.17) DOI:10.7463/0714.0720253 (in Russian)
5. Karpenko A.P., Mitina E.V., Semehin A.S. Populjacionnye metody approximacii mnozhestva Pareto v zadache mnogokriterial'noj optimizacii [Population methods for approximating the Pareto set in the multicriteria optimization problem] // Nauka i obrazovanie MGTU im. N.E. Baumana = Science and Education of the Bauman MSTU. 2012. №4. Available at: <http://www.technomag.edu.ru/doc/363023.html>. (accessed 15.02.17) (in Russian)
6. G. Agrawal, K. Lewis, K. Chugh, C.-H. Huang, S. Parashar, C. L. Bloebaum. Intuitive visualization of Pareto frontier for Multi-objective optimization in n-dimensional performance //Structural Dynamics & Materials Conference AIAA 2005-1813.
7. Gorban A.N., Pitenko A., Zinovyev A. ViDaExpert: user-friendly tool for nonlinear visualization and analysis of multidimensional vectorial data. Available at: <http://ArXiv:1406.5550> (accessed 15.02.17)
8. The R Project for Statistical Computing. Available at: <https://www.r-project.org/> (accessed 15.02.

**РАЗВИТИЕ ПРОГРАММНО-ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ РЕШЕНИЯ  
ЗАДАЧИ ОПТИМИЗАЦИИ СТРУКТУРЫ СИСТЕМООБРАЗУЮЩЕЙ СЕТИ  
ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

**Попова Ольга Михайловна**

К.э.н., старший научный сотрудник

лаборатории развития электроэнергетических систем,

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

664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 130, e-mail: [pom@isem.irk.ru](mailto:pom@isem.irk.ru)

**Аннотация.** В статье отмечены особенности методики оптимизации развития системообразующей электрической сети (СЭС) с учетом показателей структурного анализа электроэнергетических систем (ЭЭС). Основой информационного обеспечения создаваемого программно-вычислительного комплекса (ПВК) является единая база данных. Определены состав необходимых таблиц БД и связи между ними. Приведена блок-схема алгоритма оптимизации структуры системообразующей электрической сети в ЭЭС. Рассмотрены особенности компьютерной реализации алгоритма с использованием структурной модели ЭЭС и геоинформационных технологий.

**Ключевые слова:** системообразующая электрическая сеть, оптимизация развития сети, структурный анализ, программно-вычислительный комплекс, база данных, геоинформационные технологии.

**Введение.** Процесс развития электроэнергетики связан с формированием электроэнергетических систем, представляющих совокупность объектов (генераторов, трансформаторов, линий электропередач, установок электропотребителей, средств регулирования и управления), которые предназначены для производства, передачи, распределения и использования электрической энергии [3, 10, 14]. Реализация этого процесса в значительной степени зависит от сооружения электропередач системообразующей электрической сети, которая выполняет три главные функции: выдачу мощности крупных электростанций, электроснабжение крупных узлов нагрузки (промышленных агломераций, мегаполисов и др.) и осуществление совместной работы энергосистем в составе Единой энергетической системы (ЕЭС) России [4, 11, 12].

Для решения задач развития электроэнергетических систем в России и за рубежом используются различные модели оптимизации структуры электрической сети. Из зарубежных систем моделирования можно выделить такие крупные системы, как Power World Simulation [19], IPM (Integrated Planning Model) [16], EXTRA (Expansion of Transmission) [15]. Эти и ряд других западных систем служат для комплексного анализа и прогнозирования развития моделируемых региональных или национальных электроэнергетических систем, широко используются геоинформационные технологии.

В нашей стране проектированием развития электрических сетей занимаются АО «Институт Энергосетьпроект», а также ОАО «Федеральная сетевая компания ЕЭС» (ФСК).

При проектировании для анализа вариантов развития электроэнергетических систем и системообразующей электрической сети в основном используются модели оценочного (балансового) типа.

Рассматриваемый в статье алгоритм оптимизации структуры системообразующей электрической сети ЭЭС является основой программно-вычислительного комплекса, разработанного в ИСЭМ СО РАН для решения задачи определения совокупности рациональных вариантов развития СЭС на этапе предпроектных исследований в средне- и долгосрочной перспективе (10-20 лет) [5, 6, 7].

В настоящее время создается вторая версия ПВК. Относительно первой версии ПВК – оптимизационная модель развития электрической сети, программная реализация математической модели и ГИС развития СЭС подробно рассмотрены в [5]. С течением времени возникла необходимость модифицировать вычислительную базу задачи. Алгоритм и информационное обеспечение рассматриваемой задачи существенно изменены. Методика оптимизации развития СЭС подробно изложена в [8].

**1. Постановка задачи оптимизации структуры СЭС.** Новизна методики [20] состоит в использовании для расчета предельных по статической устойчивости мощностей в сечениях СЭС ( $P_i^{\text{пред}}$ ) показателей структурного анализа ЭЭС [1]:

взаимных структурных мощностей генераторов

$$W_{ij} = E_i E_j y_{ij},$$

где  $E_i, E_j$  – переходная ЭДС генераторов в модели "шины – переходное сопротивление – переходная ЭДС" в узлах  $i$  и  $j$ , а  $y_{ij}$  – взаимная проводимость между узлами с  $E_i$  и  $E_j$ ;

собственных структурных мощностей генераторов

$$W_{ii} = E_i^2 g_{ii},$$

где  $g_{ii}$  – активная составляющая собственной проводимости узла  $i$ .

Исходные данные для линейной модели оптимизации развития СЭС включают: избыточный граф электрической сети, описывающий все существующие и новые электрические связи (кандидаты) в выбранном варианте, рабочие мощности станций  $P_i^{\text{ген}}$ , мощности нагрузок в узлах ( $P_i^{\text{нагр}}$ ) и пропускные способности элементов СЭС ( $P_{ij}^{\text{сеть}}$ ). На основе паспортных данных оборудования для каждой электрической связи (трансформатора и линии электропередач) рассчитываются удельные приведенные затраты на единицу передаваемой мощности по элементам СЭС  $C_{ij}^{\text{нов.сеть}}$ . Для узлов графа, в которых размещены электрические станции, рассчитываются удельные переменные затраты на генерируемую мощность ( $C_i^{\text{ген}}$ ).

В соответствии с [20, 8] проблема развития СЭС реализована в виде задачи поиска минимального потока на графе с целевой функцией

$$\min \left( \sum_i \sum_j C_{ij}^{\text{нов.сеть}} X_{ij}^{\text{нов.сеть}} + \sum_i C_i^{\text{ген}} X_i^{\text{ген}} \right), \quad (1)$$

т.е. минимум приведенных затрат при соблюдении балансов узлов ( $i = 1, N$ ):

$$X_i^{\text{ген}} + \sum_j (1 - p_{ij}) X_{ji}^{\text{сеть}} - \sum_j X_{ij}^{\text{сеть}} = P_i^{\text{потр}}, \quad (2)$$

где перетоки мощности по всем элементам СЭС удовлетворяют условиям  $0 \leq X_{ij}^{\text{сеть}} \leq X_{ij}^{\text{сущ.сеть}} + X_{ij}^{\text{нов.сеть}}$  с ограничениями на потоки мощности по существующим, новым элементам СЭС ( $P_{ij}^{\text{сущ.сеть}}, P_{ij}^{\text{нов.сеть}}$ ), в сечениях ( $P_l^{\text{пред}}$ ) и на располагаемые мощности станций:

$$0 \leq X_{ij}^{\text{сущ.сеть}} \leq P_{ij}^{\text{сущ.сеть}}, \quad 0 \leq X_{ij}^{\text{нов.сеть}} \leq P_{ij}^{\text{нов.сеть}}; \quad (3)$$

$$0 \leq X_i^{\text{ген}} \leq P_i^{\text{ген}}, \quad (4)$$

$$0 \leq \sum_{X_{ij}^{\text{сеть}} \in I} X_{ij}^{\text{сеть}} \leq P_l^{\text{пред}}. \quad (5)$$

Неизвестными величинами являются  $X_{ij}^{\text{сущ.сеть}}, X_{ij}^{\text{нов.сеть}}$  (потоки мощности по существующим и новым элементам СЭС между узлами  $i$  и  $j$ ) и мощности генерации в узлах  $X_i^{\text{ген}}$ ;  $p_{ij}$  – удельный коэффициент потерь мощности при передаче по связи между узлами  $i$  и  $j$ .

В качестве ограничений по пропускной способности сечений ( $P_l^{\text{пред}}$ ) на первом этапе оптимизации используется сумма пропускных способностей связей, входящих в сечение.

**2. Информационное обеспечение.** В монографии [4, глава 6] приведен подробный анализ информационного обеспечения задач развития ЭЭС, в том числе и для задач развития электрических сетей. В работе отмечены особенности исходной и необходимой информации при принятии решений, представлены требования к составу и структуре баз данных по развитию ЭЭС, рассмотрен опыт создания современных баз данных в мировой практике.

Крупным недостатком информационного обеспечения ПВК первой версии являлось дублирование имеющихся баз данных (или их частей) в зависимости от решаемой задачи. На данный момент в основном сформирована единая БД Elnetworks. Проведено проектирование БД, в результате которого определены состав необходимых таблиц БД и связи между ними [13], используется реляционная модель данных (СУБД MySQL).

Таблицы БД разделены на четыре крупные группы (рис. 1):

- словари объектов ЭЭС и дополнительных показателей;
- развернутые реквизиты выделенных объектов ЭЭС по вариантам;
- паспортные данные объектов ЭЭС;
- режимы объектов ЭЭС по вариантам.

В группе «Словари» размещены коды и описание основных групп объектов, видов их территориальной и технологической принадлежности.

Группа «Варианты» содержит описание базовых состояний схем СЭС единой энергосистемы или ее части (ОЭС, РЭЭС), для которых планируется проведение оптимизационных расчетов. Эти состояния представляют совокупность всех существующих и возможных к строительству генерирующих и потребляющих узлов, а также схему их соединения посредством всех возможных в рассматриваемом варианте существующих и новых элементов электрической сети с указанием типа энергетического оборудования. В этой группе также задана информация о значении постоянных величин (коэффициента

запаса по статической устойчивости в сечении, базисного напряжения, коэффициента минимального потока ввода по новой ЛЭП и др.), используемых в процессе расчета.

Номинальные данные о параметрах типового электрического и энергетического оборудования энергосистем (мощности, сопротивлении, стоимости и др.) содержатся в группе «Паспорта».



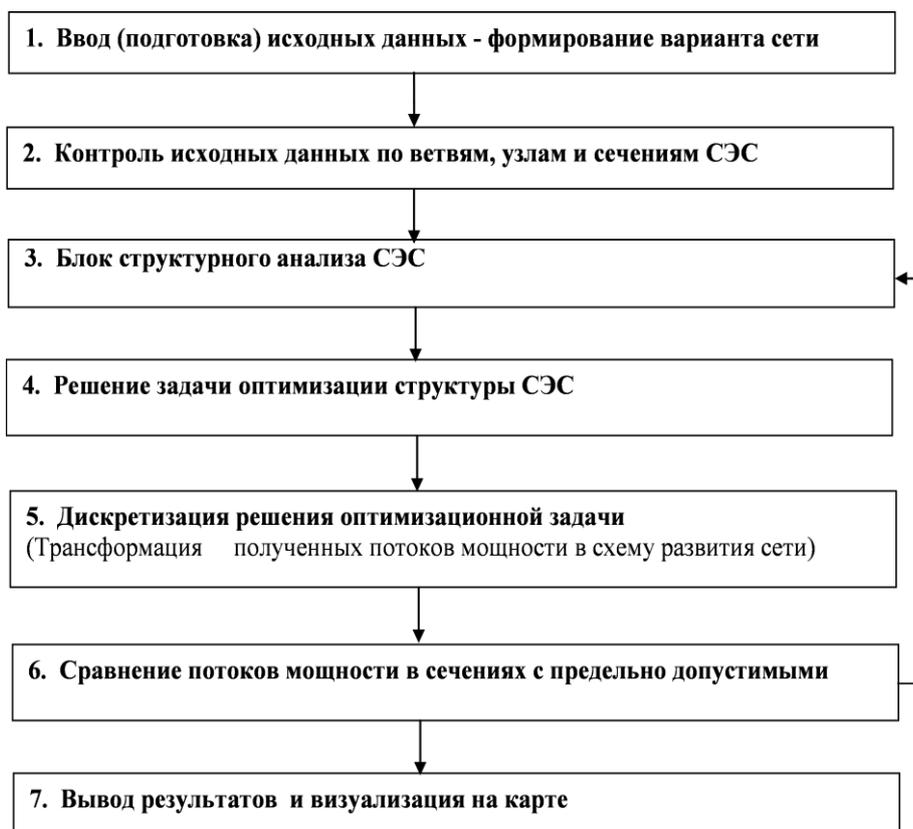
Рис. 1. Состав базы данных ПВК оптимизации развития СЭС

Группа таблиц «Режимы» содержит данные о состоянии и загрузке оборудования в рассматриваемом режиме соответствующего варианта. В таблицы указанной группы осуществляется запись результатов оптимизационного расчета СЭС, включая перечень новых элементов электрической сети, требуемых к сооружению. На основе данных таблиц, входящих в группу «Режимы», осуществляется визуализация получаемого решения оптимизационной задачи.

**3. Программное обеспечение.** Как следует из постановки задачи оптимизации структуры СЭС и информационного обеспечения ПВК, задача имеет большую размерность. Для решения задачи необходимо применение метода математического программирования и соответствующего программного обеспечения. В мире широкое распространение получили программные пакеты Matlab, Maple, GAMS [17].

Кроме того, для эффективного решения задачи развития СЭС необходимо иметь средство, позволяющее наглядным образом производить обработку и анализ разнородной и пространственно-координированной информации. Таким средством на настоящий момент времени является геоинформационная система (ГИС) [2]. Особенности построения ГИС развивающихся электрических сетей как проблемно-ориентированной системы рассмотрены автором в [6, 18].

Для компьютерной реализации [9] алгоритм оптимизации структуры системообразующей электрической сети ЭЭС (1) – (5) развернут в схеме, приведенной на рис. 2.



**Рис. 2.** Блок-схема алгоритма оптимизации структуры СЭС

Компонентами программного обеспечения (ПВК), предназначенного для реализации алгоритма, являются основная программа ElNetCut, база данных Elnetworks, система GAMS, предназначенная для решения задач математического программирования и пакет MapInfo Professional, используемый в качестве ГИС-инструментария.

**4. Компьютерная реализация** алгоритма задачи сопровождается различными интерфейсными элементами, которые должны обеспечивать эффективность и удобство пользования программами.

Важным элементом интерфейса компьютерной программы является меню. В рассматриваемой задаче меню отражает набор указанных блоков программного приложения, а также навигацию между ними. В частности, при реализации блока ввода исходных данных (рис. 3), в определенной степени совмещенного с их контролем, связанного с формированием варианта сети, вызываются и отображаются соответствующие таблицы базы данных, и далее производятся необходимые действия для создания или редактирования варианта сети. Здесь пользовательский интерактивный интерфейс отражает взаимодействие основной программы с СУБД MySQL.

Особое значение имеет визуализация информации на этапе непосредственного решения задачи оптимизации структуры сети, где используется система GAMS.



Рис. 3. Блок ввода и контроля исходных данных

Необходимые данные выводятся как в текстовом режиме, так и в графическом (картографическом) виде с помощью пакета MapInfo Professional. На рис. 4 приведен пример картографического вывода конечных результатов решения задачи для одного из вариантов электрической сети.

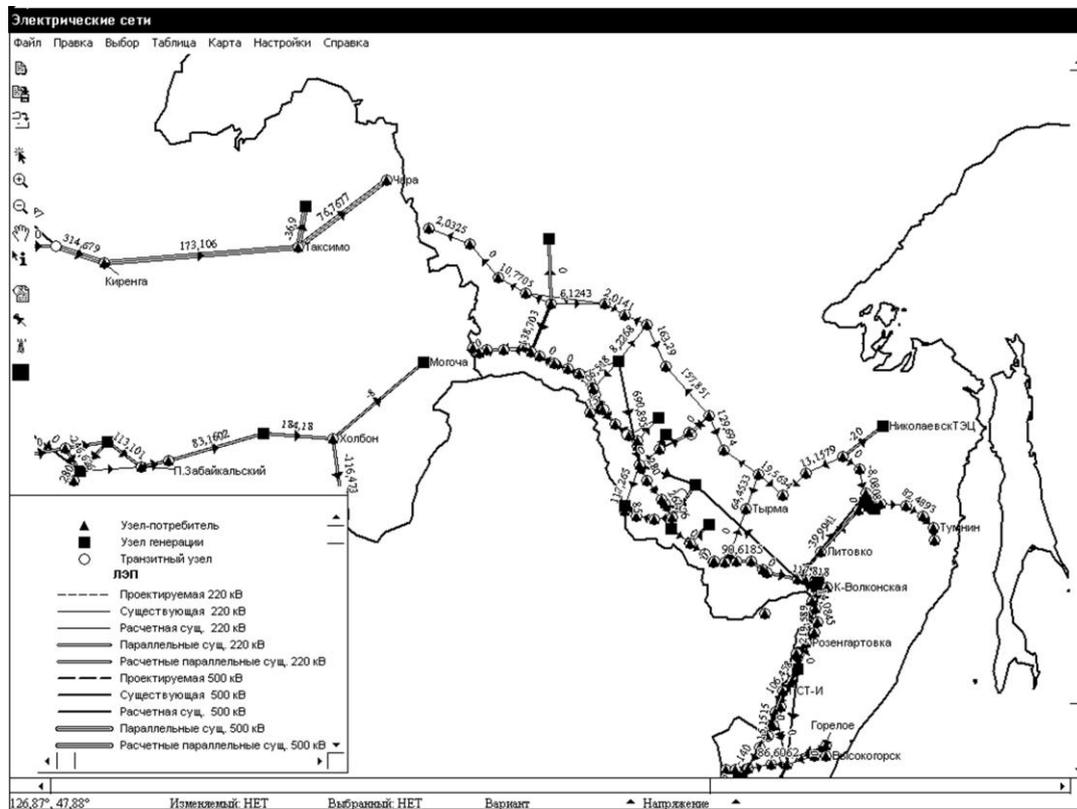


Рис. 4. Пример вывода результатов в графическом виде

Причем эта информация используется как для исследования сходимости алгоритма оптимизации, так и для отображения конечных результатов. Использование различных видов визуализации промежуточных и конечных результатов решения задачи оптимизации структуры системообразующей электрической сети способствует уточнению исходной информации по выбранным вариантам сети, а также ускорению процесса работы компьютерных программ, входящих в состав ПВК.

**Заключение.** В статье приведена краткая постановка задачи оптимизации структуры СЭС, показаны проблемы информационного обеспечения создаваемого программно-вычислительного комплекса, дан состав развивающейся базы данных, рассмотрены особенности программного обеспечения и компьютерной реализации задачи. Пакет программ, используемый для реализации алгоритма задачи, позволяет найти эффективное ее решение.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абраменкова Н.А., Воропай Н.И., Заславская Т.Б. Структурный анализ электроэнергетических систем. Новосибирск: Наука. Сиб. Отд-ние. 1990. 224 с.
2. Лурье И.К. Геоинформационное картографирование. М.: КДУ. 2010. 424 с.
3. Методические рекомендации по проектированию развития энергосистем. М.: Минэнерго России. 2003.
4. Обоснование развития электроэнергетических систем: Методология, модели, методы, их использование / Н.И. Воропай, С.В. Подковальников, В.В. Труфанов и др.; отв. ред. Н.И. Воропай. Новосибирск: Наука. 2015. 448 с.
5. Попова О.М., Такайшвили В.Р., Труфанов В.В. Пакет программ для анализа развития электрических сетей с использованием геоинформационных технологий. Иркутск. 2001. 27 с. (Препр. / ИСЭМ СО РАН; № 8).
6. Попова О.М. Построение геоинформационной системы электрических сетей. // Вестник ИрГТУ. 2006. № 2 (26). С. 101–104.
7. Попова О.М., Усов И.Ю. Задачи управления развитием системообразующих электрических сетей с использованием геоинформационных технологий // Третья международная конференция «Управление развитием крупномасштабных систем (MLSD'09)»: труды. М. ИПУ РАН. 2009. С. 235–241.
8. Попова О.М, Усов И.Ю. Оптимизация развития системообразующей электрической сети с помощью геоинформационных технологий // Проблемы управления. 2010. № 4. С. 66–73.
9. Попова О.М. Особенности компьютерной реализации задачи оптимизации структуры системообразующей электрической сети // XIX Байкальская Всероссийская конференции «Информационные и математические технологии в науке и управлении»: труды. Часть I. Иркутск. ИСЭМ СО РАН. 2014. С. 61–64.
10. Постановление Правительства Российской Федерации от 17 октября 2009 г. № 823 «О схемах и программах развития электроэнергетики».
11. Справочник по проектированию электрических сетей / под ред. Д.Л. Файбисовича. М.: ЭНАС. 2009. 392 с.

12. Справочник по проектированию электроэнергетических систем / В.В. Ершевич, А.Н. Зейлигер, Г.А. Илларионов и др.; под ред. С.С. Рокотяна и И.М. Шапиро. М.: Энергоатомиздат, 1985. 352 с.
  13. Усов И.Ю., Попова О.М. Формирование базы данных для оптимизации структуры системообразующей электрической сети // Вестник ИрГТУ. 2013. № 1. С. 139–144.
  14. Федеральный закон от 26.03.2003 № 35-ФЗ «Об электроэнергетике».
  15. Energie ist Zukunft. Режим доступа: <http://www.lahmeyer.de/energie.html> (дата обращения 22.01.2017).
  16. IPM®. Режим доступа: <https://www.icf.com/solutions-and-apps/ipm> (дата обращения 22.01.2017).
  17. G. Latorre, R. D. Cruz, J. M. Areiza, and A. Villegas. Classification of publications and models on transmission expansion planning, IEEE Trans. PWRS. 2003. Vol. 18, No. 2.
  18. Popova O.M. Building a geoinformation system of electric networks // Problemy Avtomatiki i Upravleniya (Scientific and Technical Journal / National Academy of Sciences of Kyrgyz Republic. Bishkek: IAIT). 2010. No.2. P. 49-52.
  19. PowerWorld Corporation. Режим доступа: <https://www.powerworld.com> (дата обращения 22.01.2017).
  20. Usov I.Yu. A Linear Model and Structural Analysis for Main Grid Expansion Optimization // Liberalization and Modernization of Power Systems: Congestion Management Problems. The International Workshop Proceedings. Irkutsk. Energy System Institute. 2003. P. 113 – 116.
- 

UDK 681.3.06: 621.311

**DEVELOPMENT OF SOFTWARE AND COMPUTING SYSTEMS FOR SOLVING OPTIMIZATION PROBLEM OF BACKBONE NETWORK OF ELECTRIC POWER SYSTEMS**

**Olga M. Popova**

PhD, Senior Researcher, e-mail: [pom@isem.irk.ru](mailto:pom@isem.irk.ru)

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

**Abstract.** The paper shows the specific features of methods for the backbone network expansion optimization considering the indices of structural analysis of the electric power systems. The dataware for the software to be created is based on a single database. A set of required database tables and their relations are determined. The block diagram of an algorithm for the optimization of the backbone network configuration is presented. Consideration is given to the specific features of computer implementation of the algorithm, based on the structural model of an electric power system and geoinformation technologies.

**Keywords:** backbone network, network development optimization, structural analysis, software, database, geoinformation technologies.

## References

1. Abramenkova N.A., Voropaj N.I., Zaslavskaya T.B. Strukturnyj analiz jelektrojenergeticheskikh sistem [Structural analysis of electric power systems]. Novosibirsk: Nauka Publ. 1990. 224 p. (in Russian).
2. Lur'e I.K. Geoinformacionnoe kartografirovanie [GIS mapping]. M.: KDU. 2010. 424 p. (in Russian).
3. Metodicheskie rekomendacii po proektirovaniju razvitija jenergosistem [Methodical recommendations for the design of power systems development]. M.: MinEnergo. 2003 (in Russian).
4. Obosnovanie razvitija jelektrojenergeticheskikh sistem: Metodologija, modeli, metody, ih ispol'zovanie [Features of development of electric power systems: Methodology, models, methods, their use] / Eds. N.I. Voropaj. Novosibirsk: Nauka Publ. 2015. 448 p. (in Russian).
5. Popova O.M., Takaishvili V.P., Trufanov V.V. Paket programm dlja analiza razvitija jelektricheskikh setej s ispol'zovaniem geoinformacionnyh tehnologij [Software package for analysis of electric network development on the basis of geoinformation technologies]. Irkutsk. 2001. 27 p.– (Preprint ISEM SB RAS; No.8) (in Russian).
6. Popova O.M. Postroenie geoinformacionnoj sistemy jelektricheskikh setej [Construction of geographic information system of electric networks]. // Vestnik IrGTU. 2006. No. 2 (26). Pp. 101–104 (in Russian).
7. Popova O.M., Usov I.Yu. Zadachi upravlenija razvitiem sistemoobrazujushhij jelektricheskikh setej s ispol'zovaniem geoinformacionnyh tehnologij [Problems of management of development of backbone electric grids using GIS technology]. // The Third International Conference "Management of large-scale systems (MLSD'09)": proceedings. M. IPU RAN. 2009. Pp. 235–241 (in Russian).
8. Popova O.M., Usov I.Yu. Optimizacija razvitija sistemoobrazujushhej jelektricheskoi seti s pomoshh'ju geoinformacionnyh tehnologij [Optimization of development of backbone electric grids using GIS technology] // Control Problems. 2010. No. 4. Pp. 66–73 (in Russian).
9. Popova O.M. Osobennosti komp'yuternoj realizacii zadachi optimizacii struktury sistemoobrazujushhej jelektricheskoi seti [Features computer implementation problems to optimize the structure of power network] // XIX Baikalskaya Russian Conference "Information technologies and mathematical science and management": proceedings. Part I. Irkutsk. ISEM SB RAS. 2014. Pp. 61–64 (in Russian).
10. Postanovlenie Pravitel'stva Rossijskoj Federacii ot 17 oktjabrja 2009 g. № 823 « O shemah i programmah razvitija jelektrojenergetiki» [Federal Law of 26.03.2003 № 35-FZ «On electric power industry »] (in Russian).
11. Spravochnik po proektirovaniju jelektricheskikh setej [Guide to the design of electrical networks] / Eds. D.L. Faibisovich. M.: ENAS. 2009. 392 p. (in Russian).
12. Spravochnik po proektirovaniju jelektrojenergeticheskikh sistem [Guide to the design of electric power systems] / Eds. S.S. Rokotyanyan and I.M. Shapiro. M.: Energoatomizdat. 1985. 352 p. (in Russian).
13. Usov I.Yu., Popova O.M. Formirovanie bazy dannyh dlja optimizacii struktury sistemoobrazujushhej jelektricheskoi seti [Formation of the database to optimize the power network structure] // Vestnik IrGTU. 2013. No. 1. Pp. 139–144 (in Russian).

14. Federal'nyj zakon ot 26.03.2003 № 35-FZ «Ob jelektrojenergetike» [Russian Federation Government Resolution of 17.10.2009 № 823 « On circuits and power development programs »] (in Russian).
15. Energie ist Zukunft. Available at: <http://www.lahmeyer.de/energie.html>, accessed 22.01.2017.
16. IPM®. Available at: <https://www.icf.com/solutions-and-apps/ipm>, accessed 22.01.2017.
17. G. Latorre, R. D. Cruz, J. M. Areiza, and A. Villegas. Classification of publications and models on transmission expansion planning, IEEE Trans. PWRS. 2003. Vol. 18, No. 2.
18. Popova O.M. Building a geoinformation system of electric networks // Problemy Avtomatiki i Upravleniya (Scientific and Technical Journal / National Academy of Sciences of Kyrgyz Republic. Bishkek: IAIT). 2010. No.2. Pp. 49-52.
19. PowerWorld Corporation. Available at: <https://www.powerworld.com>, accessed 22.01.2017.
20. Usov I.Yu. A Linear Model and Structural Analysis for Main Grid Expansion Optimization // Liberalization and Modernization of Power Systems: Congestion Management Problems. The International Workshop Proceedings. Irkutsk. Energy System Institute. 2003. Pp. 113 – 116.

## ПРИМЕНЕНИЕ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОГО КОМПЛЕКСА ORLANDO ДЛЯ РАЗРАБОТКИ ПАКЕТОВ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ПРОГРАММ

Горский Сергей Алексеевич

К.т.н., научный сотрудник

Институт динамики систем и теории управления СО РАН,  
664130 г. Иркутск, ул. Лермонтова 134, e-mail: gorsky@icc.ru

**Аннотация.** Разработка вычислительной модели, описывающей возможности масштабируемых пакетов прикладных программ для решения определенного класса сложных ресурсоемких задач, является нетривиальной задачей. Предполагается, что решение проблемы может быть представлено в виде композиции программных модулей. В статье предложен специализированный декларативный язык для описания вычислительной модели и постановок задач. Использование вычислительной модели дает возможность формирования потока заданий для вычислительной среды и эффективной динамической декомпозиции потока, в зависимости от загрузки вычислительных ресурсов и состояния процесса решения задачи. Приведены три примера разработки ППП с помощью инструментального комплекса (ИК) Orlando.

**Ключевые слова:** распределенные вычисления, масштабирование, пакеты прикладных программ.

**Введение.** Наличие развитого базового ПО, реализующего технологии организации расчетов в распределенных вычислительных средах (РВС), и эффективных алгоритмов управления вычислениями [4-6] является основой для массовых параллельных и распределенных приложений. Однако анализ методов и средств организации такого рода вычислений выявил ряд проблем научно-технического характера: разработка распределенных и параллельных приложений выполняется зачастую “точечно”, в привязке к узкому классу задач из конкретной предметной области; создаваемые приложения плохо интегрируются, вследствие использования различного промежуточного ПО, форматов данных и протоколов их передачи, а также использования разных моделей программирования приложений, планирования вычислительных процессов и загрузки вычислительных ресурсов; круг потенциальных пользователей таких приложений достаточно ограничен, что обусловлено сложностью их освоения и применения прикладными специалистами для решения своих задач.

В частности, обеспечение эффективного масштабирования [2] потоков заданий, порождаемых пакетами прикладных программ (ППП) в РВС, является в настоящее время одним из фундаментальных и практически важных направлений исследований по организации проблемно-ориентированных РВС. Необходимость создания масштабируемых ППП возникает при выполнении многовариантных расчетов, решении широкого спектра переборных задач и многих других. Предполагается, что масштабируемое приложение включает набор прикладных программ для параллельного решения задачи с помощью различных вычислительных единиц (например, ядер) разнородных узлов РВС и порождает

комбинированный поток, объединяющий задания для этих прикладных программ. При этом вычислительная нагрузка, связанная с решением задачи, распределяется между вычислительными единицами разнородных узлов РВС, а время выполнения заданий комбинированного потока уменьшается обратно пропорционально числу используемых вычислительных единиц с учетом их производительности в составе конкретного узла РВС. Создание системы управления комбинированными потоками заданий для ППП является нетривиальной и весьма актуальной проблемой.

В настоящее время известен целый ряд систем [7, 8] управления потоками заданий, упоминаемых в зарубежной литературе как Workflow Management Systems. В их числе такие системы, как UNICORE Workflow System, Taverna, Pegasus, Triana, Askalon, Kepler, GWES и Karajan. Перечисленные системы имеют как общие, так и уникальные возможности формирования потоков заданий и разработки научных приложений. Общие возможности систем управления потоками заданий реализуются, как правило, в рамках двух основных компонентов: подсистемы текстового и/или графического описания потоков заданий (построения схем выполнения потоков заданий); подсистемы выполнения потоков заданий, мониторинга и распределения ресурсов, управления данными.

Схема выполнения потока заданий может включать управляющие конструкции ветвления и цикла. Однако анализ реальных возможностей рассматриваемых систем применительно к широкому спектру вычислительных крупномасштабных задач разных классов показывает, что существует ряд актуальных вопросов [7], связанных с формированием и обработкой масштабируемых потоков заданий, в том числе вопросы разработки высокоуровневых языков и инструментариев спецификации потоков заданий для высокопроизводительных вычислительных систем, адаптивного управления такими потоками заданий и обеспечения надежности процессов их выполнения. Для решения этих вопросов предлагается использовать инструментальный комплекс Orlando [3].

**1. ИК Orlando** оформлен в виде web-сервиса и включает в себя редактор описания предметной области ППП, систему настройки вычислительных ресурсов, система управления вычислениями, а также ряд системных процессов.

В описании модели предметной области ППП выделяются три концептуально обособленных слоя знаний – вычислительный, схемный и продукционный, над которыми формируются постановки задач, а также выделяются следующие основные типы объектов: параметр – значимая величина предметной области, операция – отношение вычислимости между двумя подмножествами параметров предметной области (возможность вычисления искомого значения параметров первого подмножества, когда известны значения параметров второго подмножества), модуль – программная реализация операций, и постановка задачи. В ИК Orlando описание предметной области ППП включает: спецификации объектов предметной области и постановок задач. Все информационно-логические связи между объектами предметной области выявляются и учитываются в дальнейшем на этапах формирования и анализа модели предметной области.

Для редактирования предметной области доступны три инструмента. Первый из них – это описание на специализированном языке. Описание носит декларативный характер и, по сути, представляет собой множество отдельных описаний объектов предметной области. Вторым способом работы с предметной областью является работа напрямую с объектами (параметрами, операциями, модулями, постановками задачи) путем редактирования их

описания через специализированные формы. Третьим инструментом является графическое представление предметной области в виде графа, позволяющее наглядно представить информационный граф предметной области и позволить редактировать часть объектов предметной области. Наличие разнообразных методов работы с описанием предметной области позволяет пользователям выбирать наиболее удобный для них вариант или комбинировать их для облегчения работы. Кроме того текстовое описание предназначено для переноса описаний с одного сервера на другой.

**2. Язык спецификации вычислительной модели.** В качестве входного языка описания модели предметной области ППП в инструментальном комплексе (ИК) ORLANDO [3] используется расширяемый язык разметки XML. В таблице 1 приведены его элементы для спецификации основных объектов предметной области ППП.

Таблица 1. Элементы входного языка

<pre>&lt;module&gt; &lt;name&gt;Имя_модуля&lt;/name&gt; &lt;parameters&gt;Входные_параметры&gt;   Выходные_параметры&lt;/parameters&gt; &lt;signature&gt;Команда_запуска&lt;/signature&gt; &lt;cores&gt;Число_ядер&lt;/cores&gt; &lt;walltime&gt;Время_останова&lt;/walltime&gt; &lt;run_mode&gt;Режим_запуска&lt;/run_mode&gt; &lt;/module&gt;</pre>	<pre>&lt;operation&gt; &lt;name&gt;Имя_операции&lt;/name&gt; &lt;parameters&gt;Входные_параметры&gt;   Выходные_параметры&lt;/parameters&gt; &lt;run_condition&gt;Условие_запуска&lt;/run_condition&gt; &lt;while_flag&gt;Признак_повторения&lt;/while_flag&gt; &lt;module_name&gt;Имя_модуля&lt;/module_name&gt; &lt;split_condition&gt;Условие_расщепления   &lt;/split_condition&gt; &lt;task_name&gt;Имя_задачи&lt;/task_name&gt; &lt;/operation&gt;</pre>
<pre>&lt;parameter&gt; &lt;name&gt;Имя_параметра&lt;/name&gt; &lt;extention&gt;Расширение&lt;/extention&gt; &lt;list&gt;Число_элементов&lt;/list&gt; &lt;/parameter&gt;</pre>	<pre>&lt;task&gt; &lt;name&gt;Имя_задачи&lt;/name&gt; &lt;parameters&gt;Входные_параметры&gt;   Выходные_параметры&lt;/parameters&gt; &lt;operations&gt;Список_операций&lt;/operations&gt; &lt;/task&gt;</pre>

Элемент `module` предназначен для спецификации объектов вычислительного слоя знаний. Данная спецификация включает информацию об исполняемом программном модуле, входных и выходных параметрах модуля, а также инструкции для запуска и выполнения модуля. Вложенные элементы `name`, `parameters`, `signature`, `cores`, `walltime` и `run_mode` содержат соответственно следующие данные: идентификатор модуля (Имя\_модуля); списки формальных входных и выходных параметров модуля (Входные\_параметры>Выходные\_параметры); команду запуска модуля (Команда\_запуска), включающую имя исполняемой программы и опции ее запуска, в том числе регулярные выражения, определяющие структуры данных для параметров модуля и способы их использования; максимально допустимое время выполнения модуля в часах (Время\_останова); режим (Режим\_запуска), определяющий, запускается MPI-программа или нет.

Элемент `parameter` используется для спецификации объектов схемного уровня знаний – параметров предметной области ППП. Множество параметров включает два вида параметров: базовый параметр и параметр-список. В вычислительной системе базовый параметр представлен произвольным файлом данных неопределенной структуры. Параметр-список формируется на основе некоторого базового параметра, предназначается для представления множества вариантов значений (файлов данных) этого базового параметра и

их параллельной обработки. Вложенные элементы `name`, `extention` и `list` содержат соответственно следующие данные: идентификатор параметра (Имя\_параметра); расширение файла данных, представляющего параметр (Расширение); число элементов параметра (Число\_элементов) – указывается только для параметров-списков.

Элемент `operation` служит для спецификации объектов схемного уровня знаний – операций предметной области ППП. Вложенные элементы `name`, `parameters`, `run_condition`, `while_flag`, `module_name`, `split_condition` и `task_name` содержат соответственно следующие данные: идентификатор операции (Имя\_операции); списки входных и выходных параметров операции (`Входные_параметры`> `Выходные_параметры`); логический предикат (Условие\_запуска), определяющий необходимость запуска операции, все значения входных параметров которой известны; признак повторного запуска операции (Признак\_повторения); идентификатор модуля, реализующего операцию (Имя\_модуля); логический предикат (Условие\_расщепления), определяющий необходимость динамической декомпозиции подзадачи, решаемой с помощью операции; новая постановка задачи для динамической декомпозиции (Имя\_задачи).

Вложенные элементы `run_condition` и `split_condition` элемента `operation` реализуют знания производного слоя. В качестве логических предикатов используются функции, заданные на множестве параметров предметной области и возвращающие значения из множества  $\{0, 1\}$ .

Элемент `task` служит для спецификации постановки задачи, формулируемой в процедурной или не процедурной форме. Процедурная форма постановки задачи определяется списком операций, которые нужно выполнить для решения задачи. В не процедурной форме постановка задачи имеет вид: «по заданным значениям параметров  $x_1, x_2, \dots, x_n$  вычислить значения параметров  $y_1, y_2, \dots, y_m$ ». В случае не процедурной постановки задачи список операций определяется автоматически путем планирования на модели предметной области ППП. Вложенные элементы `name`, `parameters` и `operations` содержат соответственно следующие данные: идентификатор постановки задачи (Имя\_задачи); списки входных и выходных параметров постановки задачи (`Входные_параметры`> `Выходные_параметры`); список операций (Список\_операций), необходимых для решения задачи.

Проверка корректности и целостности описания предметной области ППП выполняется на этапах его трансляции с входного языка ИК ORLANDO в базу данных. Средства виртуализации взаимодействия пользователя с масштабируемыми ППП на основе сервис-ориентированного подхода представлены в [1].

**3. Применение ИК Orlando.** Рассмотрим ряд примеров разработки ППП с помощью ИК Orlando. Данные примеры предназначены для иллюстрации возможностей разрабатываемого комплекса по описанию вычислений. Примеры будут приводиться в текстовом и/или графическом виде.

Пример 1. Данный пример иллюстрирует описание ветвлений. Предположим, что существуют две программы перемножения матриц (одна для плотных матриц, другая для разреженных), и есть две матрицы  $A$  и  $B$ , которые необходимо перемножить. Признак разреженной матрицы хранится в начале файла, допустим 0 – соответствует разреженной матрице, а 1 – плотной. Размеры матрицы также хранятся в самом файле. Если хотя бы одна из матриц является разреженной, то следует использовать программу `multsparse`, иначе,

программу mult – перемножения двух матриц. Программы расположены на вычислительном кластере matrosov. Данные программы имеет следующую строку запуска: mult/multsparse -a <входной файл1> -b <входной файл2> -c <выходной файл>. Для использования их в системе Orlando необходимо создать два модуля:

<pre> &lt;module&gt;   &lt;name&gt;mult&lt;/name&gt;   &lt;parameter&gt;a,b&gt;c&lt;/parameter&gt;   &lt;signatura&gt;mult -a %1 -b %2 -c     %3&lt;/signatura&gt;   &lt;cores&gt;1&lt;/cores&gt;   &lt;walltime&gt;10&lt;/walltime&gt;   &lt;type&gt;process&lt;/type&gt;   &lt;server&gt;   &lt;servername&gt;matrosov&lt;/servername&gt;   &lt;folder&gt;/home/user/progs/&lt;/folder&gt; &lt;/server&gt; &lt;/module&gt; </pre>	<pre> &lt;module&gt;   &lt;name&gt;multsparse&lt;/name&gt;   &lt;parameter&gt;a,b&gt;c&lt;/parameter&gt;   &lt;signatura&gt;multsparse -a %1 -b %2 -c     %3&lt;/signatura&gt;   &lt;cores&gt;1&lt;/cores&gt;   &lt;walltime&gt;10&lt;/walltime&gt;   &lt;type&gt;process&lt;/type&gt;   &lt;server&gt;   &lt;servername&gt;matrosov&lt;/servername&gt;   &lt;folder&gt;/home/user/progs/&lt;/folder&gt; &lt;/server&gt; &lt;/module&gt; </pre>
---	---

Таким образом, мы зарегистрировали программы в проекте. Для их использования нам нужно создать параметры A, B, AB и операции Mult и Multsparse, связывающие воедино параметры, модули и условия их использования, а также постановку задачи.

<pre> &lt;parameter&gt;   &lt;name&gt;A&lt;/name&gt;   &lt;extention&gt;txt&lt;/extention&gt;   &lt;list&gt;&lt;/list&gt; &lt;/parameter&gt;  &lt;parameter&gt;   &lt;name&gt;B&lt;/name&gt;   &lt;extention&gt;txt&lt;/extention&gt;   &lt;list&gt;&lt;/list&gt; &lt;/parameter&gt;  &lt;parameter&gt;   &lt;name&gt;AB&lt;/name&gt;   &lt;extention&gt;txt&lt;/extention&gt;   &lt;list&gt;&lt;/list&gt; &lt;/parameter&gt;  &lt;operation&gt;   &lt;name&gt;Mult&lt;/name&gt;   &lt;input&gt;A,B&gt;AB&lt;/input&gt;   &lt;condition&gt;A_0_i*B_0_i==1&lt;/condition&gt; </pre>	<pre> &lt;while&gt;0&lt;/while&gt;   &lt;type&gt;module&lt;/type&gt;   &lt;module&gt;mult&lt;/module&gt;   &lt;list&gt;&lt;/list&gt; &lt;/operation&gt;  &lt;operation&gt;   &lt;name&gt;Multsparse&lt;/name&gt;   &lt;input&gt;A,B&gt;AB&lt;/input&gt;  &lt;condition&gt;A_0_i*B_0_i==0&lt;/condition&gt;   &lt;while&gt;0&lt;/while&gt;   &lt;type&gt;module&lt;/type&gt;   &lt;module&gt;multsparse&lt;/module&gt;   &lt;list&gt;&lt;/list&gt; &lt;/operation&gt;  &lt;task&gt;   &lt;name&gt;tmult&lt;/name&gt;   &lt;parameter&gt;A,B&gt;AB&lt;/parameter&gt;   &lt;plan_type&gt;1&lt;/plan_type&gt;   &lt;plan&gt;Mult,Multsparse&lt;/plan&gt; &lt;/task&gt; </pre>
--	---

На рис. 1 приведен информационный граф данного примера.

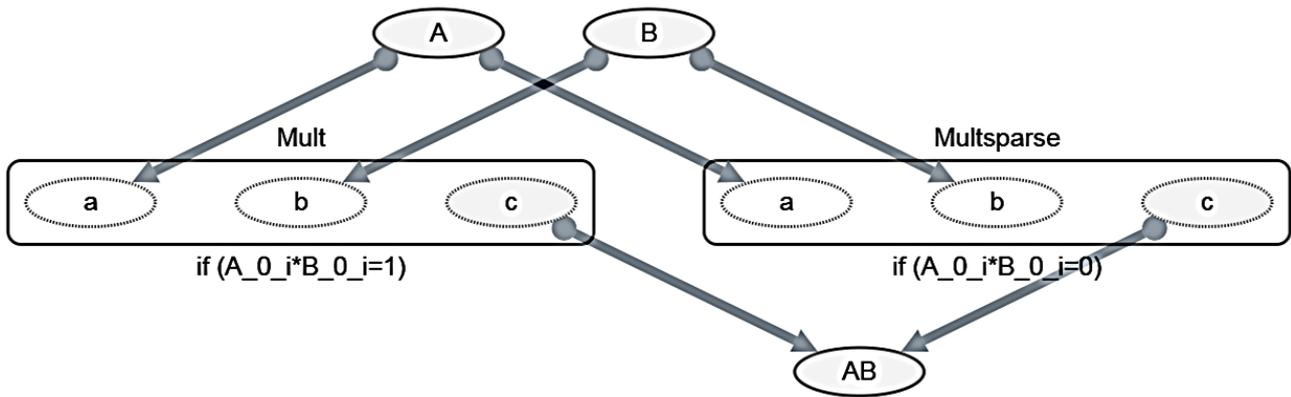


Рис. 1. Информационный граф пакета Matrix

Пример 2. Продемонстрируем возможности описания рекурсивных вычислений на примере суммирования множества матриц. Используем программу сложения двух матриц и организуем каскадное суммирование матриц с помощью рекурсии в рамках системы Orlando, для чего расширим первый пакет модулем sum, соответствующей операцией Sum и постановкой задачи summatr, в качестве параметров будем использовать ранее созданные параметры A, B и создадим параметр ApB (рис. 2).

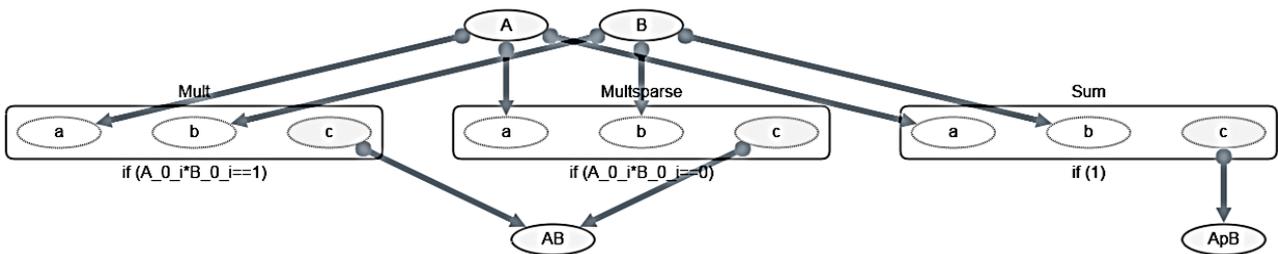
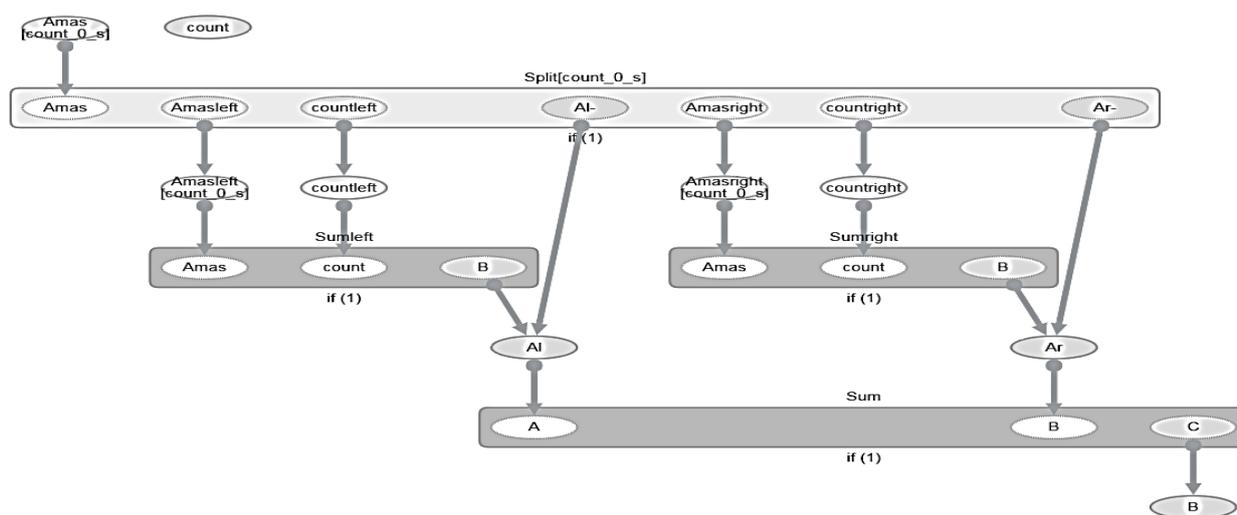


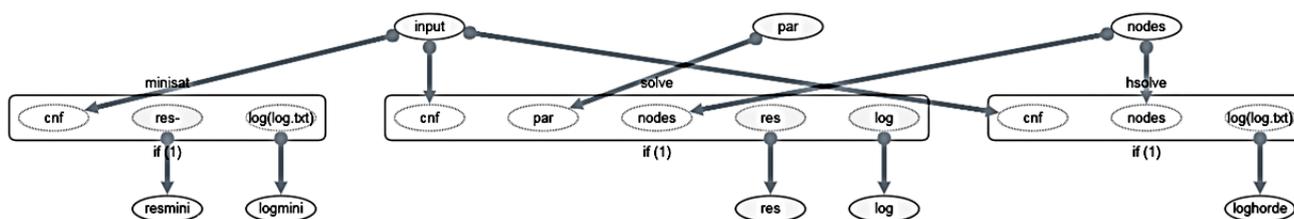
Рис. 2. Расширение пакета Matrix новой операцией

Создадим еще один проект для реализации каскадного суммирования через рекурсию. Схема данного проекта приведена на рис. 3. Для его реализации нам понадобится один модуль разрезающий массив Amas на две части Amasleft и Amasright. В случае, если какая-то из частей содержит только одну матрицу, то модуль дополнительно возвращает эту матрицу отдельным параметром (параметры, значения которых не может быть вычислено помечаются знаком “-“ в описании модуля). Далее при необходимости каждая из полученных частей суммируется с помощью этой же постановки задачи.



**Рис. 3.** Использование рекурсии для описания каскадного суммирования

Пример 3. В качестве последнего примера приведем задачу тестирования эффективности работы sat-солвера [1], разработанного авторами статьи. Для этого тестирования были созданы два проекта. Первый проект включает в себя три sat-солвера (рис. 4), второй реализует многовариантные вычисления (рис. 5). В рамках тестирования требовалось многократно запускать на решение одни и те же sat-задачи (более 400 задач, каждая из которых решалась sat-солверами на различном числе узлов), поэтому для оптимизации процесса передачи данных сами КНФ были размещены на вычислительном кластере, а в параметрах передавались только ссылки на файлы. На рисунках 4 – 5 приведены информационные графы данных пакетов. Операция *makepar* осуществляет обработку списка входных файлов и генерирует множество подзадач для решения каждой из них тремя солверами, в конце результаты собираются в общие файлы для удобства работы с ними с помощью операций *consolideres*.



**Рис. 4.** Пакет решения sat-задач

Во время проведения вычислительных экспериментов разработанные программные средства показали свою эффективность, как в плане сокращения трудозатрат на проведения данного эксперимента, так и в плане организации самих расчетов. Проведенный эксперимент подтвердил надежность ИК Orlando.

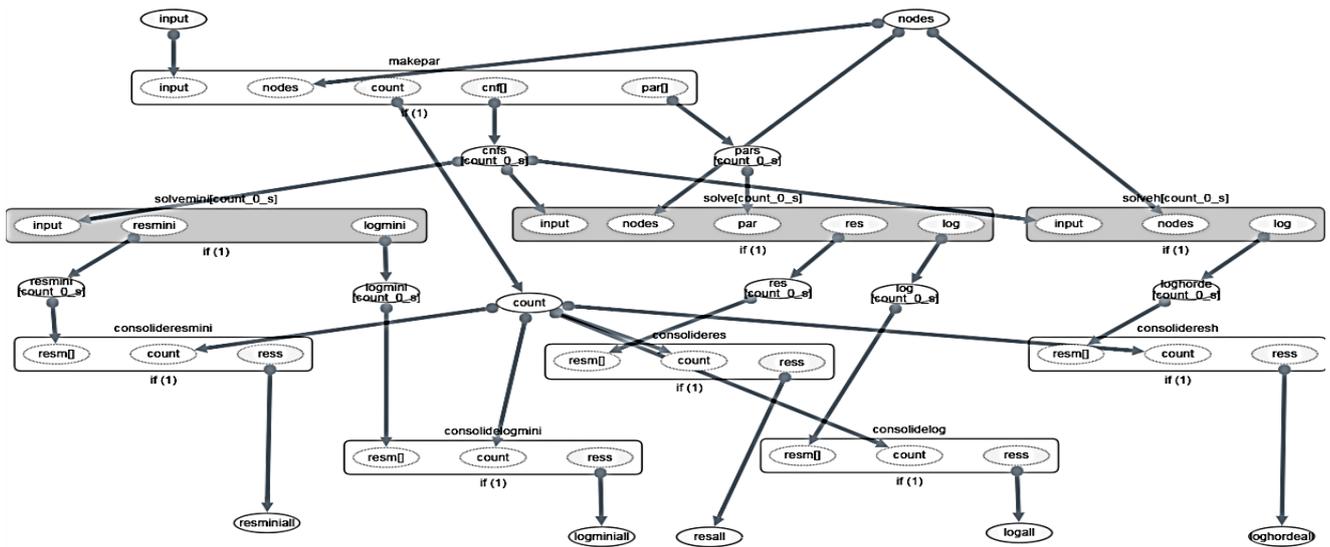


Рис. 5. Описание многовариантных расчетов

**Заключение.** Компактный, но вместе с тем достаточно выразительный входной язык и дополнительные инструменты ИК ORLANDO позволяют пользователю лаконично в декларативном стиле описывать предметные области сложной динамической структуры и выявлять в них внутренний параллелизм алгоритмов решения задач, что обеспечивает масштабируемость ППП в РВС. Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ, проекты № 15-29-07955-офи\_м и № 16-07-00931-а.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Богданова В.Г., Горский С.А., Пашинин А.А. Сервис-ориентированные инструментальные средства для решения задач булевой выполнимости // *Фундаментальные исследования*. 2015. № 2-6. С. 1151-1156.
2. Гегель В.П., Линева А.В. Проблемы и перспективы достижения экзафлопного уровня производительности суперкомпьютерных систем // *Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского*. 2012. № 3-1. С. 189-198.
3. Опарин Г.А., Феоктистов А.Г., Новопашин А.П., Горский С.А. Инструментальный комплекс ORLANDO TOOLS // *Программные продукты и системы*. 2007. № 4. С. 63-65.
4. Топорков В.В., Емельянов Д.М. Экономическая модель планирования и справедливого распределения ресурсов в распределенных вычислениях // *Программирование*. 2014. Т. 40. № 1. С. 54-65.
5. Топорков В.В., Емельянов Д.М., Потехин П.А. Формирование и планирование пакетов заданий в распределенных вычислительных средах // *Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Вычислительная математика и информатика*. 2015. Т. 4. № 2. С. 44-57.
6. Фраленко В.П., Агроник А.Ю. Средства, методы и алгоритмы эффективного распараллеливания вычислительной нагрузки в гетерогенных средах // *Программные системы: теория и приложения*. 2015. № 3. С. 73-92.
7. Talia D. *Workflow Systems for Science: Concepts and Tools* // *ISRN Software Engineering Vol.* 2013. URL: <http://dx.doi.org/10.1155/2013/404525> (дата обращения: 27.04.2016).

8. Tao J., Kolodziej J., Ranjan R., Jayaraman P., Buyya R. A Note on New Trends in Data-Aware Scheduling and Resource Provisioning in Modern HPC Systems // *Future Generation Computer Systems*. 2015. Vol. 51. Pp. 45-46.
- 

**UDK 004.4`2**

## **USING THE ORLANDO TOOLKIT TO DEVELOP PACKAGES OF DISTRIBUTED PROGRAMS**

**Sergey A. Gorsky**

Ph.D., research associate

Institute for System Dynamics and Control Theory of SB RAS  
134, Lermontov Str., 664033, Irkutsk, Russia, e-mail: gorsky@icc.ru

**Abstract.** Designing a computational model in a scalable applied software package, which describes the package possibilities for solving a certain class of complex problems in high-performance computing system, is non-trivial problem. It is assumed that a problem solving scheme is presented as a composition of program modules. A special declarative language is proposed for specifying the computational model and problem formulations. The computational model use provides the possibility of forming a job flow for a computer system and effective dynamic decomposition of the flow, depending on the loading system resources and state of the problem solving process.

**Keywords:** distributed computing, scalability, application packages

### *References*

1. Bogdanova V.G., Gorskiy S.A., Pashinin A.A. Servis-orientirovannye instrumental'nye sredstva dlja reshenija zadach bulevoj vpolnimosti [Service-oriented tools for solving Boolean problems] // *Fundamental'nye issledovanija = Fundamental research*. 2015. № 2-6. Pp. 1151-1156 (in Russian)
2. Gergel' V.P., Linev A.V. Problemy i perspektivy dostizhenija jekzaflopnogo urovnja proizvoditel'nosti superkomp'juternyh sistem [Exaflop performance of supercomputer: challenges and trends] // *Vestnik Nizhegorodskogo universiteta im. N.I. Lobachevskogo = Vestnik of Lobachevsky University of Nizhni Novgorod*. 2012. № 3-1. Pp. 189-198 (in Russian)
3. Oparin G.A., Feoktistov A.G., Novopashin A.P., Gorskiy S.A. Instrumental'nyj kompleks ORLANDO TOOLS [ORLANDO TOOLS] // *Programmnye produkty i sistemy = International journal "Programmnye produkty i sistemy" = Software & Systems*. 2007. № 4. Pp. 63-65 (in Russian)
4. Toporkov V.V., Emel'janov D.M. Jekonomicheskaja model' planirovanija i spravedlivogo razdelenija resursov v raspredelennyh vychislenijah [Economic model of planning and equitable sharing of resources in distributed computing] // *Programmirovanie = Programming and Computer Software*. 2014. T. 40. № 1. Pp. 54-65 (in Russian)

5. Toporkov V.V., Emel'janov D.M., Potehin P.A. Formirovanie i planirovanie paketov zadaniy v raspredelennyh vychislitel'nyh sredah [Job batch generation and scheduling in distributed computing environments] // Vestnik Juzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Vychislitel'naja matematika i informatika = Bulletin of the South Ural State University Series "Computational Mathematics and Software Engineering". 2015. –Т. 4. № 2. Pp. 44-57 (in Russian)
6. Fralenko V.P., Agronik A.Ju. Sredstva, metody i algoritmy jeffektivnogo rasparallelivanija vychislitel'noj nagruzki v geterogennyh sredah [Tools, methods and algorithms for effective parallelization of computational load in heterogeneous environments] // Programmnye sistemy: teorija i prilozhenija = Program Systems: Theory and Applications. 2015. № 3. Pp. 73-92 (in Russian)
7. Talia D. Workflow Systems for Science: Concepts and Tools // ISRN Software Engineering Vol. 2013. Available at: <http://dx.doi.org/10.1155/2013/404525> (accessed 27.04.2016).
8. Tao J., Kolodziej J., Ranjan R., Jayaraman P., Buyya R. A Note on New Trends in Data-Aware Scheduling and Resource Provisioning in Modern HPC Systems // Future Generation Computer Systems. 2015. Vol. 51. Pp. 45-46.

## СЕРВИС ДЛЯ РЕШЕНИЯ SAT-ЗАДАЧ НА ОСНОВЕ ГИБРИДНОГО ПОДХОДА

Колосов Александр Дмитриевич

Аспирант лаборатории «Параллельных и распределенных  
вычислительных систем», Институт динамики систем и теории управления  
имени В.М. Матросова СО РАН,

664033 г. Иркутск, ул. Лермонтова 134, e-mail: akolosov.irk@gmail.com

**Аннотация.** В статье представлен краткий обзор существующих SAT-решателей, распараллеленных с применением технологии Nvidia CUDA. Приводится описание собственного решателя, основанного на методе локального поиска. Описывается сервис для автоматизации решения задач булевой выполнимости. Представлены результаты экспериментов, полученные с помощью описанного сервиса.

**Ключевые слова:** SAT-задача, сервис, CUDA, sat-решатель.

**Введение.** Многие теоретические и практические задачи могут быть сведены к задаче выполнения булевых ограничений [9], обладающей высокой вычислительной сложностью, что приводит к необходимости использовать для ее решения высокопроизводительные вычислительные системы. В настоящее время наблюдается определенная тенденция в развитии вычислительных систем. С одной стороны, как и прежде, продолжается рост производительности компьютеров за счет увеличения числа процессорных ядер, а с другой стороны, становятся все более популярными такие гетерогенные системы, высокая производительность которых обусловлена применением вычислительных ресурсов принципиально новой архитектуры. Первое направление развития требует от алгоритмов большой степени параллелизма на однотипных процессорных ядрах, который на программном уровне реализуется с помощью специальных систем параллельного программирования. Второе направление требует от алгоритма более сложной многоуровневой параллельной модели, которая учитывает различные архитектуры используемых вычислительных ресурсов, в частности, графические ускорители. В силу этого необходим поиск новых методов решения задачи булевой выполнимости, которые можно было бы эффективно реализовать на основе гибридного подхода, сочетающего параллельные технологии обмена сообщениями и работы с общей памятью [5,1] с технологиями, поддерживающими проведение обычных вычислений на графических процессорах, как, например, технологией CUDA Nvidia [3]. Учитывая сложность такого гибридного подхода, представляется актуальным так же создание инструментальных средств, обеспечивающих поддержку разработки таких программных средств и доступ к ним предметных специалистов, без необходимости углубленного знания вычислительных архитектур и низкоуровневых средств разработки этих приложений, на основе сервис-ориентированного подхода [2, 4].

В статье приводится сравнительный анализ исследований, проводимых в рамках активно развивающегося подхода использования графических ускорителей (graphics

processing unit, GPU) для решения SAT-задач, имеющих широкое практическое применение. Рассматриваются основные аспекты реализации GPU-версий локальных и полных методов поиска, представленных в этих работах. Описывается авторский алгоритм решателя, основанный на методе локального поиска.

**Анализ существующих GPU-решателей.** Технология NvidiaCUDA широко используется для ускорения различного рода вычислений, данную технологию применяют во многих областях знаний, решение задач булевой выполнимости не стало исключением. Уже на протяжении долгого времени исследователи пытаются реализовать вычислительный потенциал графических ускорителей в SAT-задачах. Распараллеливаются как полные методы, так и методы, основанные на локальном поиске [7-15]. Что касается полных методов, большая часть таких современных решателей основана на алгоритме DPLL, который весьма плохо поддается распараллеливанию вообще и распараллеливанию с применением GPU в частности. Однако DPLL не является единственной составляющей решателя, значительная часть вычислительного времени уходит на распространение булевых ограничений – ВСП-процедуру. К относительно удачным вариантам ускорения полного DPLL решателя можно отнести, например MEPS (Minisat Enhanced with Survey Propagation) [10]. В данном решателе используется эвристика выбора переменной Survey Propagation [6], ускоренная с помощью GPU. Такой подход позволил получить ускорение в 2 с небольшим раза по сравнению с minisat. Другим примером полного алгоритма, ускоренного с помощью GPU, может служить CUD@SAT [8]. Данный решатель имеет три режима работы: 0 – все вычисления выполняются на GPU, 1 – ВСП-процедура ускоряется с помощью GPU, 2 – на определенном этапе, ветви дерева поиска распределяются по GPU-потокам. В работе [7] представлена интересная схема взаимодействия CPU и GPU, в данном решателе основная часть работы выполняется на GPU – на устройстве запускаются различные решатели, от полного перебора до DPLL. CPU в данном решателе используется для вспомогательных операций, таких как анализ конфликта. Для оптимизации работы GPU предусмотрен специальный конвертер, приводящий структуры данных CPU в вид, наиболее эффективный для использования на GPU. Помимо DPLL полные решатели используют другие алгоритмы, например в работе [13] представлен решатель D&C-3SAT, основанный на методе Divide-n-conquer, распараллеливаемый с помощью GPU. В работе [11] предложен вариант GPU-ускорения ВСП-процедуры для решателя D&C-3SAT. Наряду с полными методами решения задач булевой выполнимости активно ведутся работы по распараллеливанию методов, основанных на локальном поиске. В качестве примера можно привести работы [12, 14], в которых производится распараллеливание генетических алгоритмов. Также к алгоритмам, основанным на локальном поиске, ускоренным с помощью GPU, относится алгоритм автора, описанный ниже в данной статье.

На основании проведенного анализа можно сделать вывод, что графические ускорители в принципе подходят для ускорения решения задач булевой выполнимости, однако пока не создан GPU-решатель, способный многократно обгонять последовательные. Тем не менее, работы в данном направлении ведутся и, возможно, с появлением новых методов решения, а также новых поколений графических ускорителей, GPU-решатели займут своё место среди наиболее эффективных решений.

**GPU-решатель, основанный на методе локального поиска.** Известно, что методы полного поиска плохо поддаются распараллеливанию, поэтому для реализации был выбран

алгоритм локального поиска, по своей структуре схожий с *gsat*. Программа работает следующим образом (рис. 1):

- 1) считываются булевы ограничения в формате DIMACS CNF;
- 2) выделяется память под необходимые данные;
- 3) генерируется случайный вектор решения;
- 4) с помощью подстановки данного решения в КНФ, вычисляется количество невыполненных клауз и составляется их список
- 5) производится проверка условий выхода (нет невыполненных клауз, количество итераций достигло ограничения), если одно из условий выполняется, переход на пункт 11;
- 6) следуя принятой эвристике, выбирается атом для изменения значения на противоположное;
- 7) изменяется значение выбранного атома;
- 8) вычисляется количество и составляется список невыполненных клауз при подстановке текущего решения;
- 9) в случае, если текущее решение выдает меньшее число невыполненных клауз, чем лучшее решение на данный момент – текущее решение становится лучшим.
- 10) переход к пункту 6;
- 11) проверка найденного решения;
- 12) вывод найденного решения и результатов проверки.

Могут применяться различные эвристики выбора переменной, значение которой будет изменено на данном шаге. Например, полностью случайный выбор переменной – самая быстрая эвристика, но на практике применима только в качестве шума, который позволяет снизить вероятность попадания в локальный минимум. Так же известна эвристика, при использовании которой выбирается случайная переменная, входящая в невыполнимую клаузу. В базовом алгоритме *gsat* используется выбор переменной, изменение значения которой приводит к минимальному количеству невыполненных клауз. Такой алгоритм быстро доходит до минимума, чаще всего локального. Для достижения наилучшего результата на практике не принято использовать какую-либо эвристику в чистом виде. При практической реализации используются различные эвристики с разной вероятностью. Такой подход позволяет снизить вероятность попадания в локальный минимум.

**CPU+GPU реализация алгоритма.** В описанном выше алгоритме основные потери процессорного времени приходятся на подсчет количества и составление списка невыполненных клауз. Данный участок кода содержит в себе некоторый ресурс



Рис. 1. Этапы работы программы

параллелизма. Для ускорения вычислений была выбрана технология NvidiaCUDA. CPU+GPU - реализация алгоритма работает следующим образом (рис. 2):

- 1) как и в CPU-версии, программа считывает КНФ в формате DIMACS CNF;
- 2) выделяется память CPU и GPU;
- 3) случайным образом генерируется начальный вектор решения;
- 4) происходит копирование данных из памяти CPU в память GPU;
- 5) на GPU вычисляется количество и составляется список невыполненных клауз при подстановке начального решения;
- 6) на CPU производится проверка условий выхода (нет невыполненных клауз, количество итераций достигло ограничения), если одно из условий выполняется, переход на пункт 12;
- 7) следуя принятой эвристике, выбирается атом для изменения значения на противоположное;
- 8) изменяется значение выбранного атома;
- 9) на GPU вычисляется количество и составляется список невыполненных клауз при подстановке текущего решения;
- 10) в случае, если текущее решение выдает меньшее число невыполненных клауз, чем лучшее решение на данный момент, тем лучшим становится текущее решение;
- 11) переход к пункту 6;
- 12) проверка найденного решения;
- 13) вывод найденного решения и результатов проверки.

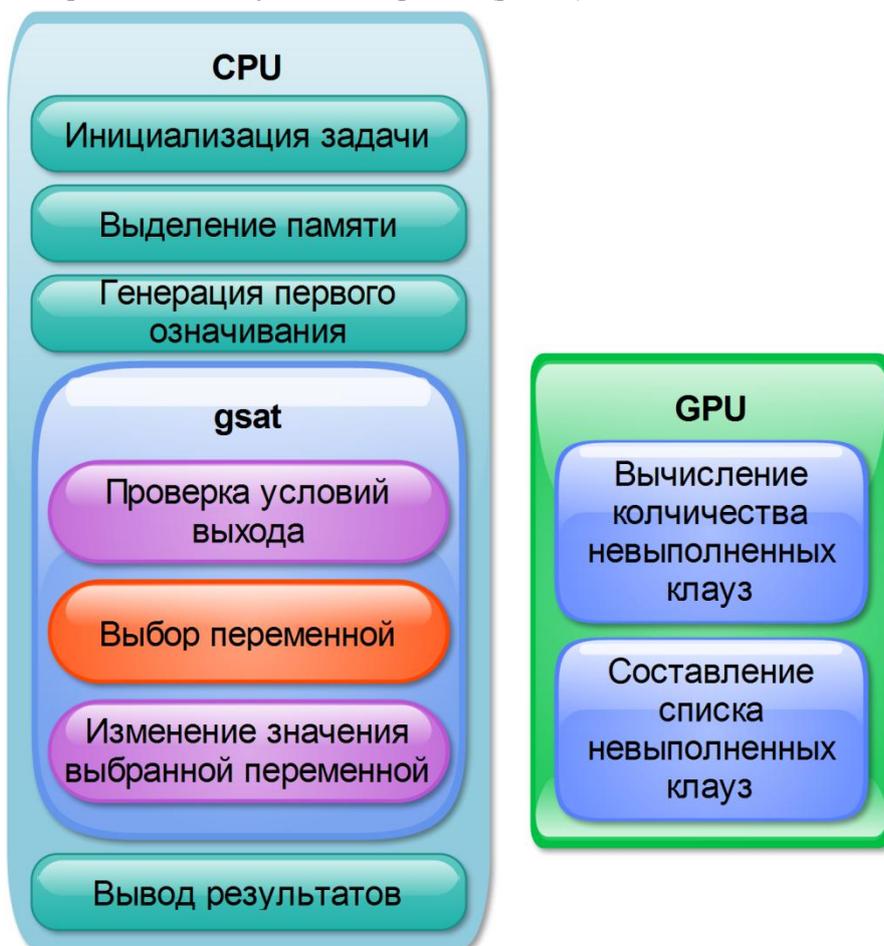


Рис. 2. Этапы работы GPU-реализации

**Использование памяти.** При программировании графических ускорителей всегда остро встаёт вопрос работы с памятью. Не всегда легко определить, какой из видов памяти позволит получить наибольшую эффективность при решении данной задачи. Кроме того, для получения наибольшего ускорения необходимо минимизировать обмен данными между CPU и GPU, а в идеальном случае полностью избежать промежуточного обмена данными. К сожалению, часто не представляется возможным не осуществлять обмен данными в процессе работы программы. В данной программе, помимо памяти CPU и GPU, используется так

называемая «нуль-копируемая память». Она представляет собой память, физически находящуюся в памяти хоста, к которой можно напрямую обращаться с устройства. По результатам тестов, использование нуль-копируемой памяти значительно ускоряет работу программы. На рис. 3 показано распределение данных по различным видам памяти.

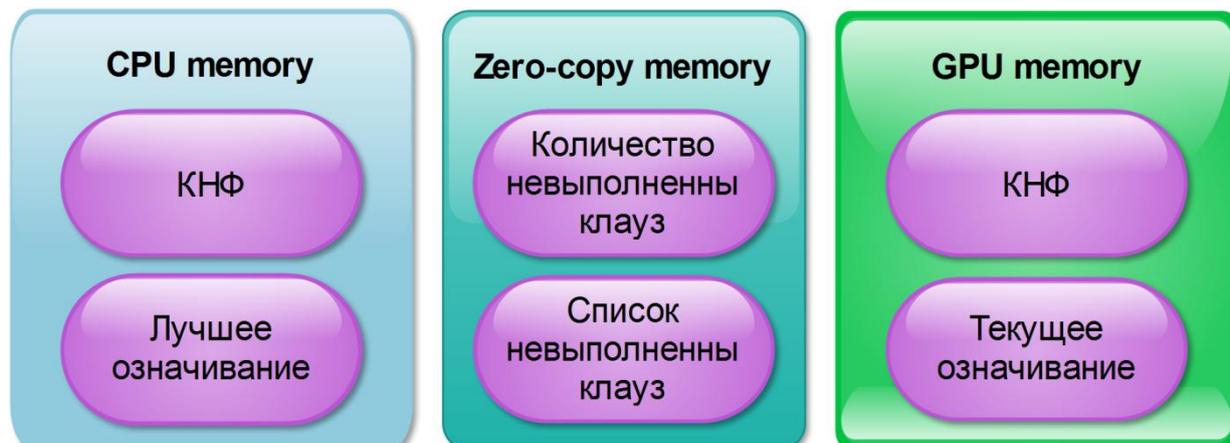


Рис. 3. Организация работы с памятью в GPU-реализации

Матрица КНФ однократно передаётся в глобальную память GPU перед началом основного цикла и остаётся там без изменений до окончания работы программы, используется только для чтения. Количество и список невыполненных клауз хранится в нуль-копируемой памяти. Это обусловлено тем, что эти данные изменяются каждую итерацию и невыгодно каждый раз инициировать передачу данных с GPU на CPU. Стоит отметить, что запись в нуль-копируемую память происходит в асинхронном режиме и требует обязательной синхронизации перед обращением к данной памяти. Текущий вектор решения хранится в глобальной памяти GPU. Изменение значения выбранного атома происходит с помощью запуска отдельного CUDA-ядра. Вектор текущего решения копируется в память CPU только в случае, если текущее решение оказалось качественнее лучшего.

**Сервис для автоматизации проведения вычислительных экспериментов.** На практике часто приходится проводить множество экспериментов, связанных с выбором наиболее подходящего решателя, подбором параметров решателя, большим количеством задач, требующих решения. В свете этого возникает потребность в автоматизации проведения экспериментов. Для этого с использованием инструментария HpcSoMas Framework [] был сконструирован сервис для решения задач булевой выполнимости. Сервис предназначен для сравнения эффективности SAT-решателей на тестовом наборе КНФ.

Сервис обеспечивает следующие возможности:

- Web-интерфейс для постановки задачи пользователя.
- Выбор решателя из списка.
- Редактирование списка решателей.
- Задание параметров запуска решателя.
- Выбор набора КНФ для решения.
- Генерация потока заданий, порожденных запросом пользователя.
- Мониторинг выполнения потока заданий пользователя.
- Информирование пользователя о статусе запроса.

- Обработка и визуализация результатов решения.

На рис. 4 представлен общий вид пользовательского web-интерфейса. Данный сервис существенно упрощает и ускоряет работу по решению SAT-задач. Одним из основных преимуществ является простота использования, для проведения экспериментов не нужно иметь доступ к кластерам, результаты вычислений обобщаются и визуализируются автоматически.

Рис. 4. Web-форма сервиса.

**Вычислительные эксперименты.** С помощью вышеописанного сервиса был проведен ряд экспериментов по сравнению быстродействия различных SAT-решателей. На рис. 4 и рис. 5 представлено сравнение скорости работы алгоритма gsat в режиме «только CPU» и «CPU+GPU». Для проведения тестов были выбраны случайно сгенерированные 3-КНФ. В качестве параметра для сравнения было выбрано время выполнения одной итерации. Сравнение по общему времени выполнения было бы некорректно, так как метод поиска зависит от генерации случайных величин и количество итераций при нескольких запусках может отличаться в несколько раз для одной и той же задачи.

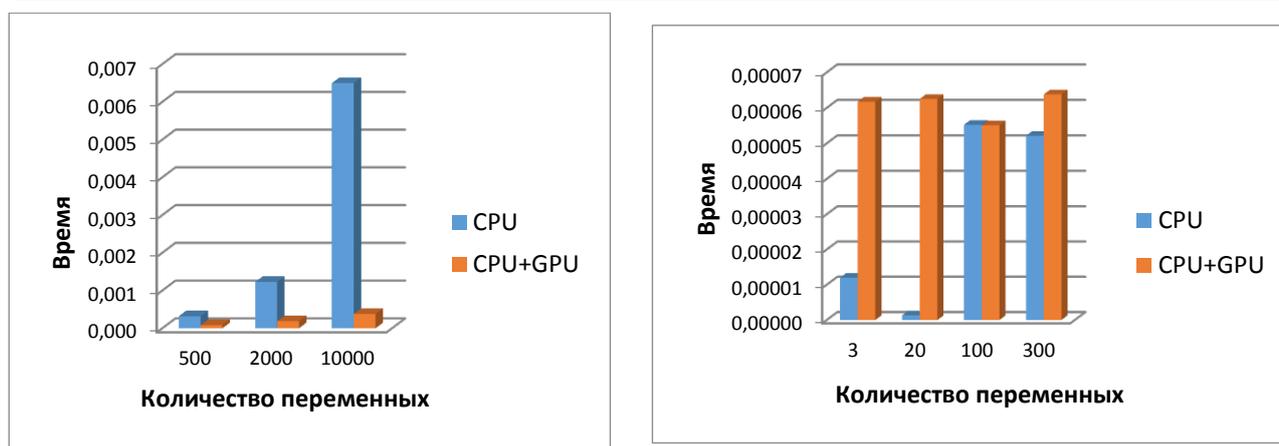
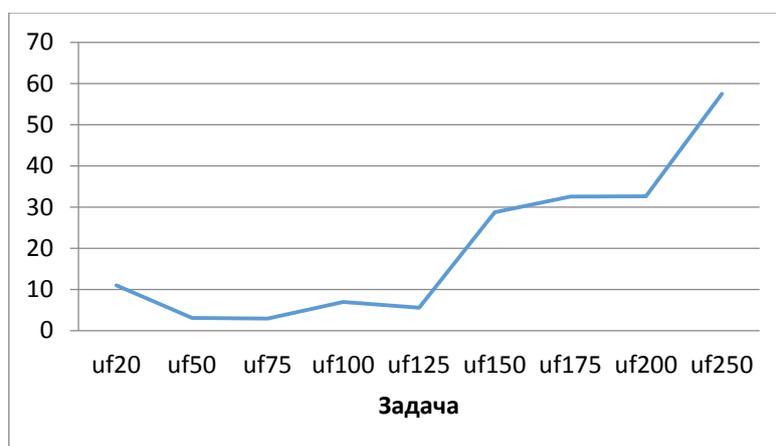


Рис. 5. Время выполнения одной итерации

На диаграммах (рис. 5) видно, что для небольших размерностей использование GPU неоправданно, это вызвано тем, что выигрыш от графического ускорителя не превышает накладные расходы, необходимые для работы GPU. Однако для больших размерностей использование GPU становится оправданным.

**Сравнение с GPU-реализацией генетического алгоритма.** На графике (рис. 6) представлен результат сравнения относительного времени решения задач с помощью генетического алгоритма [14] и с помощью описанного выше алгоритма `gsat+gpu`. Описанный в данной статье сервис позволил в автоматическом режиме выполнить многократное решение набора задач различных размерностей и автоматически вычислить средние значения. На графике хорошо видно, что `gsat+gpu` решает задачу значительно быстрее генетического алгоритма, причем преимущество возрастает с увеличением размерности задачи.

Рис. 6. Ускорение `gen-gpu/gsat-gpu`

**Заключение.** В работе рассмотрены наиболее удачные реализации решателей, распараллеленных при помощи GPU. Также приведён решатель, основанный на методе локального поиска, разработанный автором. Описан сервис, разработанный с использованием инструментария `HpcSoMasFramework`. С помощью данного сервиса проведено большое количество экспериментов, результаты которых были обработаны в автоматическом режиме. Сервис показал свою работоспособность и значительно упростил проведение экспериментов. К дальнейшим направлениям исследования можно отнести

расширение функциональности сервиса, а также разработку дополнительных инструментальных средств для решения дискретных комбинаторных задач на основе Sat-подхода.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Богданова В.Г., Горский С.А. Технология параллельного решения нелинейных систем булевых уравнений на вычислительном кластере // *Современные технологии. Системный анализ. Моделирование*. 2013. № 1 (37). С. 54-60.
2. Богданова В.Г., Горский С.А., Пашинин А.А. Сервис-ориентированные инструментальные средства для решения задач булевой выполнимости // *Фундаментальные исследования*. 2015. № 2 (часть 6). С. 1151-1156.
3. Боресков А.В., Харламов А.А. Основы работы с технологией CUDA // М.: ДМКПресс, 2010. 232 с. ISBN 978-5-94074-578-5.
4. Бычков И.В., Опарин Г.А., Феоктистов А.Г., Богданова В.Г., Корсуков А.С. Сервис-ориентированный подход к организации распределенных вычислений с помощью инструментального комплекса DISCENT // *Информационные технологии и вычислительные системы*. 2014. № 2. С. 7-15.
5. Опарин Г.А., Богданова В.Г. Инструментальные средства автоматизации параллельного решения булевых уравнений на многоядерных процессорах // *Программные продукты и системы*. 2012. № 1. С. 10-14.
6. Braunstein, A., Mezard, M., Zecchin, R. Survey propagation: An algorithm for satisfiability // *Random Structures and Algorithms*. 2005 (27) Pp.201–226.
7. Costa C.S. Parallelization of SAT Algorithms on GPUs. Technical report, INESC-ID, Technical University of Lisbon. 2013.
8. Dal Palù, Dovier A., Formisano A., and Pontelli E. CUD@SAT: SAT Solving on GPUs // *JETAI (Journal of Experimental & Theoretical Artificial Intelligence)*. 2015. V.27. Issue 3. Pp. 293-316.
9. Gu J., Purdom P.W., Franco J., and Wah B. Algorithms for the Satisfiability problem: a survey // *DIMACS Series on Discrete Mathematics and Theoretical Computer Science*, American Mathematical Society. 1997. V. 35. Pp. 19-151.
10. Gulati K., Khatri S. P. Boolean Satisfiability on a Graphics Processor // *In Proceedings of the 20th Great Lakes Symposium on VLSI (GLSVLSI'10)*. 2010. Pp. 123–126.
11. Hironori Fujii, Noriyuki Fujimoto. GPU Acceleration of BCP Procedure for SAT Algorithms // *The 2012 International Conference on Parallel and Distributed Processing Techniques and Applications (PDPTA'12)*. 16 July 2012. Las Vegas, 2012. Pp. 764-773.
12. Kolomycki M Use NVIDIA CUDA technology to create genetic algorithms with extensive population - 2013 - hgpu.org
13. Meyer Q., Schonfeld F., Stamminger M. et al. 3-SAT on CUDA: Towards a Massively Parallel SAT Solver // *High Performance Computing and Simulation (HPCS)*. 2010. Pp. 306-313.
14. Wang Y. NVIDIA CUDA Architecture-based Parallel Incomplete SAT Solver - 2010 - cs.rit.edu.
15. Z. Luo. G.A., Z. Yang, H. Liu et al. Computation of 3-SAT problem on Graphic Process Unit // *Proceedings of the International Symposium on Intelligent Computation and its Application*. – Wuhan: China University of Geosciences Press. 2005. Pp. 27-31.

## SERVICE FOR SOLVING OF SAT-PROBLEMS BASED ON A HYBRID APPROACH

Aleksandr D. Kolosov

Graduate student, Matrosov Institute for System Dynamics and Control Theory  
of Siberian Branch of Russian Academy of Sciences,  
134, Lermontov Str., 664033 Irkutsk, Russia,  
e-mail: [akolosov.irk@gmail.com](mailto:akolosov.irk@gmail.com)

**Abstract.** In this paper a brief survey of modern GPU SAT-solvers is provided. The local search solver designed by author is presented. The service for automatic solving of SAT-problems and results processing is presented. In the conclusion, experimental results obtained by the described service are presented.

**Keywords:** SAT, service, CUDA, sat-solver.

### References

1. Bogdanova V.G., Gorskij S.A. Tehnologija paralelnogo reshenija nelinejnyh sistem bulevykh uravnenij na vychislitel'nom klasterе [Parallel solving of nonlinear Boolean systems using computing cluster] // Modern technologies. System analysis. Modeling 2013. № 1 (37). Pp. 54-60. (in Russian)
2. Bogdanova V.G., Gorskij S.A., Pashinin A.A. Servis-orientirovannye instrumental'nye sredstva dlja reshenija zadach bulevoj vypolnimosti [Service-oriented tools for SAT-solving] // Fundamental research. 2015. № 2 (part 6). Pp. 1151-1156. (in Russian)
3. Borekov A.V., Harlamov A.A. Osnovy raboty s tehnologiej CUDA [Basics with CUDA technology] // M.:DMKPress, 2010. 232 p. ISBN 978-5-94074-578-5. (in Russian)
4. Bychkov I.V., Oparin G.A., Feoktistov A.G., Bogdanova V.G., Korsukov A.S. Servis-orientirovannyj podhod k organizacii raspredelennykh vychislenij s pomoshh'ju instrumental'nogo kompleksa DISCENT [Service-oriented approach to organization distributed computations using DISCENT complex] // Information technologies and computing systems. 2014. № 2. Pp. 7-15. (in Russian)
5. Oparin G.A., Bogdanova V.G. Instrumental'nye sredstva avtomatizacii paralelnogo reshenija bulevykh uravnenij na mnogojadernykh processorah [Tools for automatization parallel SAT-solving using multicore processors] // Program products and systems. 2012. № 1. Pp. 10-14. (in Russian)
6. Braunstein, A., Mezard, M., Zecchin, R. Survey propagation: An algorithm for satisfiability // Random Structures and Algorithms. 2005 (27). Pp.201–226.
7. Costa C.S. Parallelization of SAT Algorithms on GPUs. Technical report, INESC-ID, Technical University of Lisbon. 2013.
8. Dal Palù, Dovier A., Formisano A., and Pontelli E. CUD@SAT: SAT Solving on GPUs // JETAI (Journal of Experimental & Theoretical Artificial Intelligence). 2015. V.27. Issue 3. Pp. 293-316.
9. Gu J., Purdom P.W., Franco J., and Wah B. Algorithms for the Satisfiability problem: a survey // DIMACS Series on Discrete Mathematics and Theoretical Computer Science, American Mathematical Society. 1997. V. 35. Pp. 19-151.

10. Gulati K., Khatri S. P. Boolean Satisfiability on a Graphics Processor // In Proceedings of the 20th Great Lakes Symposium on VLSI (GLSVLSI'10). 2010. Pp. 123–126.
11. Hironori Fujii, Noriyuki Fujimoto. GPU Acceleration of BCP Procedure for SAT Algorithms // The 2012 International Conference on Parallel and Distributed Processing Techniques and Applications (PDPTA'12). 16 July 2012. Las Vegas, 2012. Pp. 764-773.
12. Kolomycki M Use NVIDIA CUDA technology to create genetic algorithms with extensive population - 2013 - hgpu.org
13. Meyer Q., Schonfeld F., Stamminger M. et al. 3-SAT on CUDA: Towards a Massively Parallel SAT Solver // High Performance Computing and Simulation (HPCS). 2010. P. 306-313.
14. Wang Y. NVIDIA CUDA Architecture-based Parallel Incomplete SAT Solver 2010 - cs.rit.edu.
15. Z. Luo. G.A., Z. Yang, H. Liu et al. Computation of 3-SAT problem on Graphic Process Unit // Proceedings of the International Symposium on Intelligent Computation and its Application. – Wuhan: China University of Geosciences Press. 2005. Pp. 27-31.

УДК 004.422

## СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ В КОРПОРАТИВНОМ ПОРТАЛЕ ТПУ

**Сухоплюева Виктория Сергеевна**

Магистрант, e-mail: [vss13@tpu.ru](mailto:vss13@tpu.ru)

**Сотников Максим Юрьевич**

Начальник отдела порталных решений, e-mail: [ravana@tpu.ru](mailto:ravana@tpu.ru)

**Кузнецов Дмитрий Юрьевич**

К.т.н., доцент кафедры Оптимизации систем управления,  
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,  
634034 г. Томск, пр. Ленина 30, e-mail: [dima@tpu.ru](mailto:dima@tpu.ru)

**Аннотация.** В статье рассмотрены несколько существующих готовых решений по HelpDesk. Рассмотрены достоинства и недостатки эти систем, а также приведено обоснование причин, по которым было принято решение о разработке собственной системы поддержки пользователей в Томском политехническом университете (ТПУ). Архитектура программного комплекса «Система поддержки пользователей ТПУ» представлена в виде диаграмм вариантов использования, состояний и компонентов, описанных на языке UML.

**Ключевые слова:** HelpDesk, UML, портал, архитектура приложения.

**Введение.** Сегодня корпоративные знания, как ресурс организации, приобретают первостепенное значение, но беда многих организаций – неспособность справиться с объемом собственной информации, распределенной по самым различным источникам. Оперативный доступ к актуальной в повседневной рабочей жизни информации из корпоративных и внешних источников значительно снижает временные затраты. Он может быть обеспечен использованием корпоративного портала.

Корпоративный портал — это информационная система, содержащая корпоративную информацию и сервисы и позволяющая обеспечить универсальный и персонализированный доступ к нужным информационным ресурсам предприятия [6]. Прежде всего, портал необходим для обеспечения корпоративного управления, а именно, должен отвечать тенденциям корпоративного управления и позволять автоматизировать бизнес-процессы предприятия [3]. Одним из важных бизнес-процессов организации является поддержка пользователей корпоративных информационных систем.

Целью проекта рассматриваемого в статье является создание системы поддержки пользователей в рамках единой информационной среды ТПУ и ее интеграция в корпоративный портал. Основными задачами проекта:

- Анализ готовых решений технической поддержки пользователей.
- Анализ интеграции готовых решений HelpDesk с корпоративным порталом Oracle WebCenter 11g.
- Обоснование разработки собственной системы технической поддержки.
- Разработка систему технической поддержки.
- Внедрение системы технической поддержки.

**Возможности корпоративных порталов.** Современный портал, как программный продукт, должен обладать следующими свойствами:

- SSO (Single Sign On) – технология, при которой пользователь для различных систем и бизнес сервисов входящих в портал проходит процедуру аутентификации только один раз, а именно при входе в портал.
- Интеграция (integration) – соединение функций и данных различных источников в новые компоненты, портлеты или Web-модули.
- Федерация (federation) – интеграция контента предоставляемого другими порталами.
- Кастомизация (customization) – возможность пользователя самостоятельно настраивать внешний вид сайта и свойства его окружения, выбирать необходимый ему контент;
- Персонализация (personalization) – это одна из возможностей портала подстраивать предоставляемую информацию в зависимости от уровня доступа пользователя или должности сотрудника;
- Контроль доступа (access control) – это одна из возможностей портала ограничивать доступ к контенту и сервисам в зависимости от роли пользователя, его работы и выполняемых функций. Обычно настраивается администратором портала;
- Оперативный поиск (enterprise search) - поиск необходимой информации по всем ресурсам среди структурированных и неструктурированных данных [7].

Портал представляет собой контейнер для web-приложений различных типов. В рамках данной статьи мы будем рассматривать архитектуру системы технической поддержки пользователей. Для начала разберемся с самим понятием «Системы технической поддержки».

**Функции системы поддержки.** Система технической поддержки (HelpDesk или Service desk) - информационная система, позволяющая оперативно решать вопросы, связанные с работой информационных систем и приложений, организовывать эффективное взаимодействие специалистов с пользователями, информировать о статусе решения проблемы, ответственных лицах, сроках выполнения запроса [4].

Системы технической поддержки обеспечивают:

- единую точку обращения к службе поддержки;
- шаблонный способ распределения заданий специалистам;
- контроль за последовательностью исполнения работ, потраченным временем и ресурсами;
- назначение приоритетов запросам в зависимости от его типа, конкретного пользователя или других обстоятельств;
- накопление и анализ запросов и их решений;
- накопление и анализ инцидентов и их решений;
- хранение базы знаний ранее обработанных запросов, позволяющее специалистам быстро разрешать проблемы, схожие с вопросами уже возникавшими ранее;
- отчетность по затратам времени и средств на выполнение запросов [5].

Service desk состоит из следующих логических компонентов:

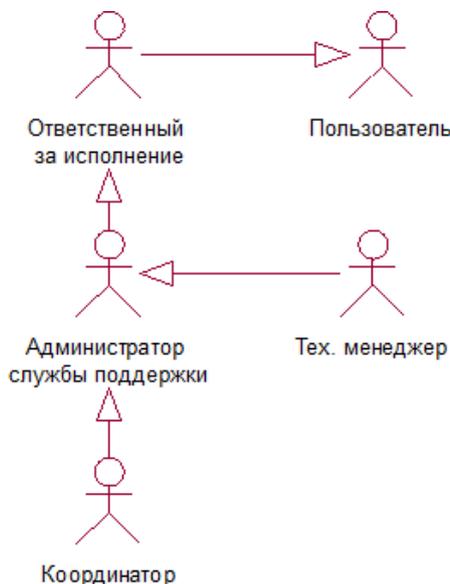
- модуль регистрации заявок об инцидентах;
- база данных заявок;
- система отслеживания статуса заявки и оповещения;
- база знаний;

- панель администрирования;
- модуль отчетности.

На рынке существует множество программных решений систем технической поддержки. Несмотря на все их достоинства, в ТПУ было принято решение разработать собственную систему технической поддержки пользователей. Этому способствовал целый ряд причин. Главной из них является трудоемкость при интеграции этих систем с корпоративный порталом ТПУ. Корпоративный портал ТПУ построен на базе Oracle WebCenter 11g. Все корпоративные приложения написаны на языке java. Доступ ко всем приложениям осуществляется посредством технологии SSO.

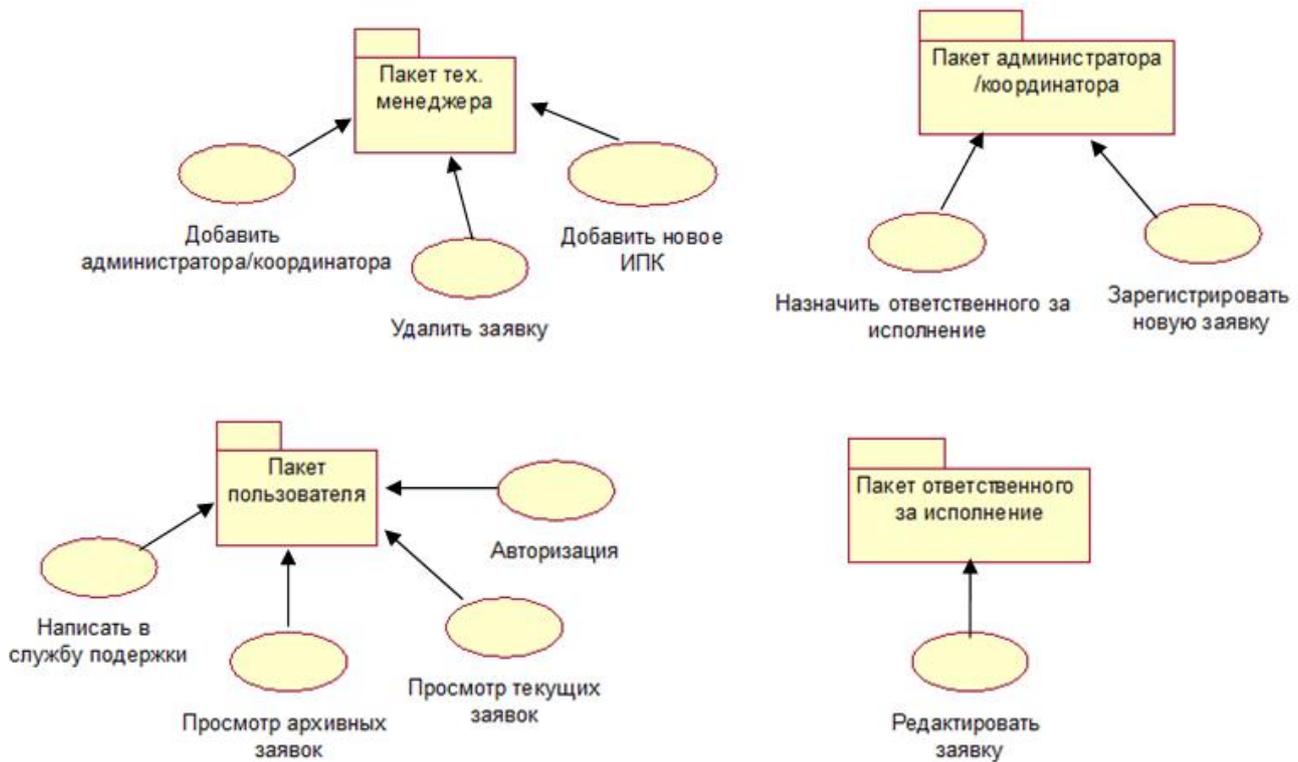
Большинство систем HelpDesk [4 – 5] имеют собственные схемы баз данных по работе с пользователями, а в ТПУ реализована своя схема [8]. Таким образом, в этих системах довольно трудоемко реализовать специфику, необходимую ВУЗу, несмотря на открытый код данных программных продуктов, также невозможна интеграция с Oracle WebCenter 11g. Таким образом, новизна проекта определяется созданием собственной системы поддержки пользователей в рамках единой информационной среды ВУЗа и корпоративного портала ТПУ.

**Архитектура программного комплекса «Система поддержки пользователей ТПУ».** Рассмотрим информационно – программный комплекс (ИПК) «Система поддержки пользователей ТПУ». На рис. 1. представлена диаграмма действующих лиц системы, описанная на языке UML [1, 2].



**Рис. 1.** Действующие лица системы

На рис. 2. представлена диаграмма функциональных возможностей системы, где каждый прецедент относится к конкретному пакету в соответствии с ролью пользователя.



**Рис. 2.** Пакеты функций приложения

В разработанной системе пять ролей пользователей, каждая из которых выполняет конкретные функции. Действующие лица системы:

1. Пользователь – студент или сотрудник ТПУ, имеющий доступ к функциям «Пакета пользователя».
2. Ответственный за исполнение – имеет доступ к функциям «Пакета пользователя» и «Пакета ответственного за исполнение».
3. Администратор службы поддержки – роль имеет доступ к функциям «Пакета пользователя», «Пакета ответственного за исполнение» и «Пакета администратора/координатора». Администратор отвечает за все направления, поддерживаемые службой поддержки.
4. Координатор – роль, идентичная администратору службы поддержки, но, в отличие от администратора, отвечает за одно конкретное направление службы поддержки.
5. Технический менеджер – имеет доступ к функциям «Пакета пользователя», «Пакета ответственного за исполнение», «Пакета администратора/координатора», и «Пакета тех. менеджера».

На рис. 3. изображена диаграмма состояний заявки. Диаграмма отражает возможные состояния объекта заявки, а также показывает роль пользователя, отвечающего за переход из одного состояния в другое.

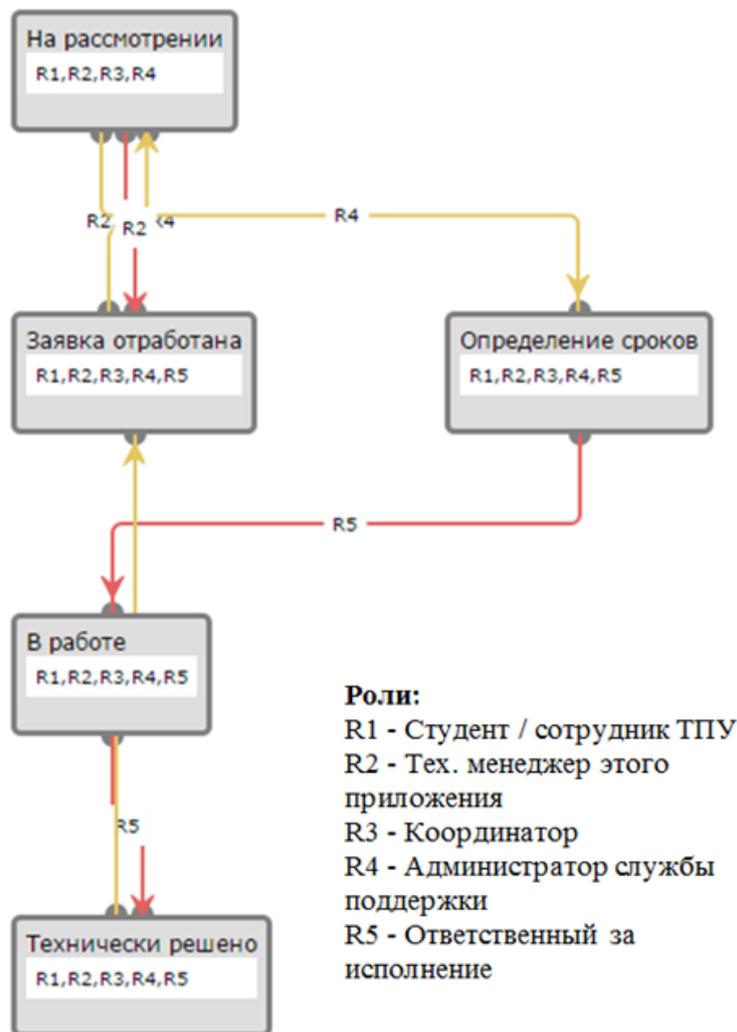


Рис. 3. Диаграмма состояний заявки

Первоначально заявке присваивается статус «На рассмотрении». Как только заявка поступает администратору службы поддержки или координатор регистрирует ее, определяет сроки и исполнителя. После этого статусу заявки присваивается значение «В работе». Если ответственный за исполнение решил задачу, то он отмечает, что заявка «Технически решена» и ей присваивается статус «Заявка отработана».

На рис. 4. представлена диаграмма компонентов системы. Диаграмма отражает основные компоненты приложения.

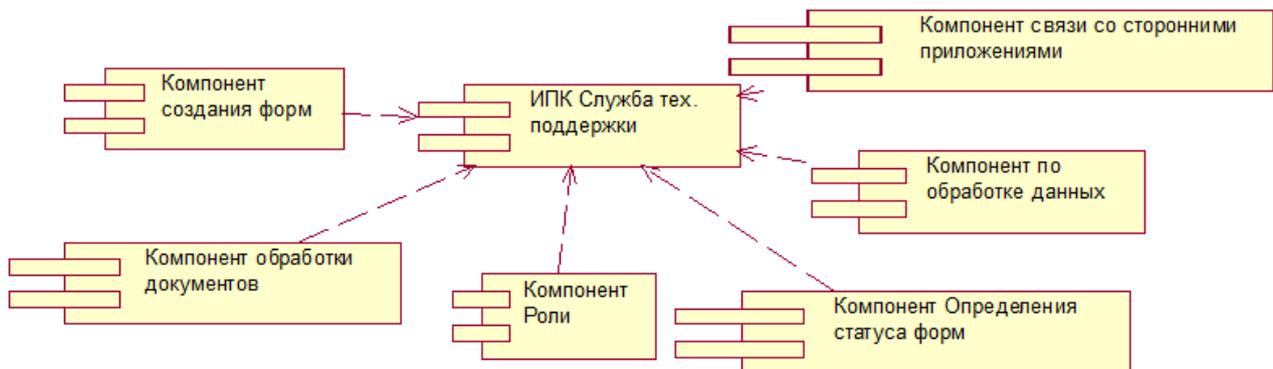


Рис. 4. Диаграмма компонентов

Для примера рассмотрим связь диаграммы компонентов с диаграммой вариантов использования. Компонент ролей реализует все функции приложения, связанные с действующими лицами системы, а также возможность добавления новых ролей, статусов и привилегий пользователей. Компонент создания форм позволяет создавать новые и изменять уже существующие формы в приложении. Компонент определения статуса форм реализует изменения статусов, описанных выше при помощи диаграммы состояний. Компонент обработки документов обеспечивает работу с файлами, прикрепляемыми пользователями в заявках. Компонент связи со сторонними приложениями обеспечивает переход по прямой ссылке из любого приложения в систему поддержки пользователей.

Система, построенная на основе данной архитектуры, не требует больших трудозатрат для модернизации и сопровождения, что является ее главным достоинством. Доступ к приложению службы поддержки осуществляется через личный кабинет сотрудника/студента или по прямой ссылке на приложение.

**Заключение.** В статье рассмотрены такие понятия, как «корпоративный портал» и «система технической поддержки». В результате проведенного анализа были сделаны выводы о том, что готовые системы технической поддержки затруднительно использовать в рамках корпоративного портала ТПУ, в итоге принято решение о создании собственной системы поддержки пользователей. Архитектура системы описана в виде моделей UML, а именно диаграмм вариантов использования, состояний и компонентов. Данный программный продукт внедрен и активно используется в Национальном исследовательском Томском политехническом университете. Данная статья может быть полезной для специалистов, занимающихся корпоративными информационными системами, а также для специалистам, оказывающих техническую поддержку.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Буч Г., Рамбо Д., Джекобсон А. Язык UML. Руководство пользователя. ДМК Пресс, Пер. с англ., 2007. 496 с.
2. Вязилов Е.Д. Архитектура, методы и средства Интернет-технологий. М. «КомКнига» УРСС. 2009. 512 с.
3. Сеидова А.С., Сухоплюева В.С., Ротарь В.Г. Этапы и тенденции корпоративного управления в России [Электронный ресурс] // Информационные технологии в науке, управлении, социальной сфере и медицине: сборник научных трудов III Международной научной конференции, 23-26 мая 2016 г., Томск 2 ч.. 2016. Ч. 1. С. 402-405.
4. Системы HELP DESK [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.oftcomp.ru/automation-of-business/shd/>, свободный (дата обращения: 05.06.2016).
5. Системы Helpdesk (Service Desk) // ITSM online URL: <http://www.itsmonline.ru/helpdesk/> (дата обращения: 07.06.2016).
6. Сухоплюева В.С., Кузнецов Д.Ю. Архитектура программного комплекса "профиль студента" [Электронный ресурс] // Информационные технологии в науке, управлении, социальной сфере и медицине : сборник научных трудов III Международной научной конференции, 23-26 мая 2016 г., Томск 2 ч.. 2016. Ч. 1. С. 212-213.
7. Энтэрпрайз порталы. Часть 1. Определение Web-портала, энтэрпрайз портала, CMS/WCM и их назначение. Существующие стандарты для Portlet API. Основные

производители порталов. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://habrahabr.ru/post/125568/>, свободный. (дата обращения: 04.06.2016).

8. HELPDESK — КАКУЮ ВЫБРАТЬ СИСТЕМУ ПОДДЕРЖКИ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ? // Боровой журнал. [Электронный ресурс]. – <http://blog.sprinthost.ru/2011/07/28/helpdesk-how-to-choose/>, свободный (дата обращения: 06.06.2016).
- 

**UDK 004.422**

## **SUPPORT SYSTEMS USERS CORPORATE PORTAL TPU**

**Victoria S. Sukhoplyueva**

Master of Engineering, e-mail: [vss13@tpu.ru](mailto:vss13@tpu.ru)

**Maxim Yu. Sotnikov**

Head of Department portal decision, e-mail: [ravana@tpu.ru](mailto:ravana@tpu.ru)

**Dmitriy Yu. Kuznetsov**

Ph.D., docent of Department Control system optimization, National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, 30 Lenin Ave., 634034, e-mail: [dima@tpu.ru](mailto:dima@tpu.ru)

**Abstract.** The paper considers some Helpdesk solutions. Every system has advantages and disadvantages. Also there is justification for the reasons that it was decided to develop own support system for TPU users. Architecture of software «TPU Users Support System» is presented of use case, state and component diagrams described in UML language.

**Key words:** Helpdesk, UML, portal, application architecture.

### **References**

1. Buch G., Rambo D., Dzhekobson A. Yazyk UML. Rukovodstvo polzovatelya [UML language. User guide ]. DMK Press, 2007. 496 p. (in Russian).
2. Vyazilov E.D. Arhitektura metody i sredstva Internet-tehnologij [Architecture, methods and means of Internet technologies ]. M. KomKniga URSS. 2009. 512 p. (in Russian).
3. Seidova A.S., Suhoplyueva V.S., Rotar V.G. Etapy i tendencii korporativnogo upravleniya v Rossii [Stages and tendencies of corporate management in Russia] // Informacionnye tekhnologii v nauke upravlenii socialnoj sfere i medicine sbornik nauchnyh trudov III Mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii 23-26 maya 2016 g Tomsk CH. 1. Pp. 212-213. [Elektronnyj resurs] (in Russian).
4. SISTEMY HELP DESK OFT group [Elektronnyj resurs]. - <http://blog.sprinthost.ru/2011/07/28/helpdesk-how-to-choose/>. (in Russian).
5. Sistemy Helpdesk Service Desk ITSM online URL нал. [Elektronnyj resurs]. – <http://blog.sprinthost.ru/2011/07/28/helpdesk-how-to-choose/>. (in Russian).
6. Suhoplyueva V.S., Kuznecov D.Yu. Arhitektura programmno kompleksa «profil studenta» [Architecture software package "student profile"] [Elektronnyj resurs] / / Informacionnye tekhnologii v nauke upravlenii socialnoj sfere i medicine sbornik nauchnyh trudov III Mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii 23-26 maya 2016 gor. Tomsk. 2016 CH. 1. Pp. 212-213. (in Russian).

7. EHnterprajz portaly CHast 1 Opredelenie Web-portala ehnterprajz portala CMS WCM i ih naznachenie Sushchestvuyushchie standarty dlya Portlet API Osnovnye proizvoditeli portalov [Enterprise portals. Part 1: Determination of the Web-portal, enterprise portal, CMS / WCM and their purpose. Existing standards for the Portlet API. The main producers of portals. ] [Elektronnyj resurs]. - <http://habrahabr.ru/post/125568>. (in Russian).
8. HELPDESK KAKUYU VYBRAT SISTEMU PODDERZHKI POLZOVATELEJ Bortovoj zhurnal [Elektronnyj resurs]. - <http://blog.sprinthost.ru/2011/07/28/helpdesk-how-to-choose/>. (in Russian).

### Заявка на участие

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

### Ключевые даты

До 7 апреля	Регистрация на сайте и отправка тезисов
До 7 апреля	Рассылка приглашений (по мере поступления и рассмотрения заявок)
До 15 марта	Принем статей:
До 15 апреля	2-й выпуск (издание – апрель 2017 г.)
До 1/25 июля	3-й выпуск (издание – июль 2017 г.)
До 25 ноября	4-й выпуск (издание – ноябрь 2017)
До 7 апреля	1-й выпуск (издание – февраль 2018)
29 июня	Оплата участия в конференции
29-30 июня	Заезд и регистрация участников в Иркутске
1 июля	Школа-семинар научной молодежи (Иркутская сессия)
2-7 июля	Трансфер «Иркутск – Тогот»
8 июля	Работа конференции и школы-семинара научной молодежи
	Трансфер «Тогот – Иркутск»

### Условия проведения конференции

Традиционная XXII Байкальская Всероссийская с международным участием конференция, включающая школу-семинар научной молодежи, проводится на Байкале, на Малом море, ориентировочно на турбазе «Тогот», сайт турбазы <http://www.togot.ru>

**Инфраструктура.** База отдыха «Тогот» расположена в 250 км от г. Иркутска, на побережье Мухорского залива озера Байкал. Территория базы охраняется и огорожена от въезда постороннего транспорта. Есть сотовая связь. От МРС (10 км от места проведения) курсируют маршрутки до г. Иркутска. Имеется возможность организации пешеходных, водных и автомобильных экскурсий (в т.ч. на о. Ольхон) (в последний день конференции).

Размещение в благоустроенных коттеджах, в каждом из которых имеются стандартные двдвоенные номера (удобства на 2 номера) и номера люкс с отдельным входом. Услуги проживания без питания турбаза не предоставляет. Места распределяются по мере регистрации. Стоимость проживания с трехразовым питанием приведена в таблице.

Варианты размещения: проживание с трехразовым питанием для одного человека в сутки (руб.)	2-х местное проживание в номере	Одно-местное проживание в номере	3-х местное проживание в номере
3-х местный номер с балконом с видом на Байкал	2150	–	–
3-й местный номер без вида на Байкал	–	–	1650
Люкс с отдельным входом	2600	3700	–

Доставка участников. Выезд из г. Иркутска на Байкал 1 июля в 8.00 от ИСЭМ СО РАН. Ингородские участники, прибывающие в Иркутск 1 июля позже 8.00, согласовывают сроки доставки с оргкомитетом. Возвращение в г. Иркутск 8 июля (выезд с турбазы в 10.00, время в пути ориентировочно 5 часов). Подъезд к базе по грунтовой дороге (при трансфере предусматривается пересадка с большого автобуса на другой автобус).

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

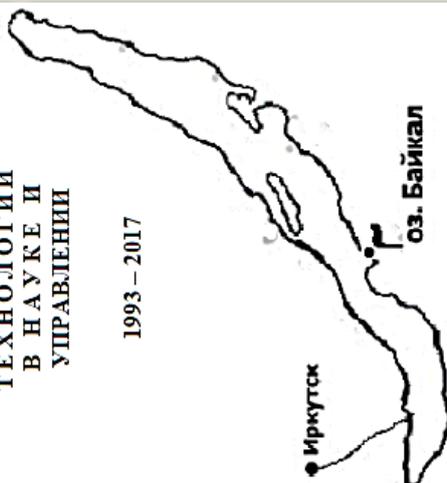
Все расходы оплачиваются общей суммой по безналичному расчету, проходящей по смете как оргвзнос (ст. 226), с оформлением договора. Для заключения договора надо сообщить свои реквизиты. Места на т/б бронируются только при наличии оплаты. При поздней оплате размещение на основной т/б не гарантируется, может быть предложено размещение на соседней неблагоустроенной базе.

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

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

ИНФОРМАЦИОННЫЕ И  
МАТЕМАТИЧЕСКИЕ  
ТЕХНОЛОГИИ  
В НАУКЕ И  
УПРАВЛЕНИИ

1993 – 2017



Иркутская сессия  
29-30 июня  
Байкальская сессия  
1 - 8 июля  
2017

**Издание Трудов конференции**

В 2017 г., как и в предыдущем, Труды конференции издаются как одноименное периодическое издание (научный журнал «Информационные и вычислительные технологии в науке и управлении»), которому присвоен международный индекс ISSN), 4 раза в год, в связи с чем устанавливаются следующие сроки подачи.

Для публикации до конференции: до 15 марта (публикация во втором номере) или до 15 апреля (публикация в третьем номере).

Публикация после конференции: до 1 июля (привести с собой) или до 25 июля (прислать после конференции) (публикация в четвертом номере), до 25 ноября – публикация в первом номере следующего года. Тематика периодического издания совпадает с тематикой конференции.

Для публикации статьи необходимо подписать авторской соглашением во время регистрации на сайте (подтвердить согласие на публикацию статьи в журнале и размещение полного текста статьи в E-Library).

Статьи рецензируются, при наличии замечаний могут быть возвращены авторам для доработки. Для аспирантских статей требуется рекомендация (или соавторство) руководителя.

Предусматриваются как очное, так и заочное участие в конференции (только публикация, с частичной оплатой орговноса), но при большом количестве статей предпочтение будет отдаваться очным участникам.

Требования к оформлению статей те же, что в 2016 г. (приводятся в отдельном файле).

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

Требования к оформлению статей те же, что в 2016 г. (приводятся в отдельном файле и на сайте конференции).

Выпуски журналов 2016 г. размещены в E-Library и на сайте института:  
<http://isem.irk.ru/news/news2016-12-21/> - четвертый выпуск.

**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.

**Адрес оргкомитета:** 664033 Иркутск, Лермонтова, 130, ИСЭМ СО РАН  
 e-mail: [imf@isem.irk.ru](mailto:imf@isem.irk.ru)  
 Web-сайт: <http://imf.isem.irk.ru>

**Телефоны оргкомитета:**  
 Макагонова Надежда Николаевна  
 Копайгородский Алексей Николаевич  
 (3952) 500-646 доп. 440  
 Массель Алексей Геннадьевич  
 +7 914 927 12 41

**Программный комитет конференции**

- Председатель-координатор:  
 Массель Л.В., д.т.н., ИСЭМ СО РАН, Иркутск
- Сопредседатели программного комитета:  
 Абрамешко С.В., академик РАН, Иркутск  
 НАН Беларуси, Минск  
 Белорусский гос. ун-т  
 Воеводин В.В., чл.-корр. РАН, Москва, НИВЦ МГУ  
 Вороний Н.И., чл.-корр. РАН, Иркутск, ИСЭМ СО РАН  
 Довской В.И., академик РАН, Новосибирск, Красноярский АН, Россия  
 Крмышполь, Таврический ИВТ СО РАН  
 Сямферополь, Таврический ун-т им. В.И. Вернадского
- Члены программного комитета:  
 Андрианов А.Н., д.ф.-м.н., Москва, ИПМ РАН  
 Аршинский Л.В., д.т.н., Иркутск, ИрГУПС  
 Москва, ИПМ РАН  
 Бухаровский А.В., д.т.н., Томск, ТПУ  
 Берестнева О.Г., д.т.н., Томск, ТПУ  
 Санкт-Петербург, НИУ ИТМО  
 Вольфенгаген В.Э., д.т.н., Москва, МИФИ  
 Грибова В.В., д.т.н., Владивосток, ИАЛУ ДВО РАН  
 Елисеев С.В., д.т.н., Иркутск, ИрГУПС  
 Иркутск, ИрГУПС  
 Москвитчев В.В., д.т.н., Красноярск, СКБТ «Наука» СО РАН  
 Карпенко А.П., д.ф.-м.н., Москва, МГУ им. Баумана  
 Москва, МГУ им. Баумана  
 Смирнов С.В., д.т.н., Самара, ИПУСС РАН  
 Чубаров Л.Б., д.ф.-м.н., Новосибирск, ИВТ СО РАН  
 Уфа, УГАТУ

**Оргкомитет конференции**

- Председатель: Массель Л.В., д.т.н., ИСЭМ СО РАН  
 Зам. председателя: Бахвалов С.В., к.т.н., ИрГУ  
 Ученый секретарь конференции:  
 Макагонова Н.Н., к.т.н., ИСЭМ СО РАН  
 Ученый секретарь школы научной молодежи:  
 Массель А.Г., к.т.н., ИСЭМ СО РАН

- Члены оргкомитета:  
 ИСЭМ СО РАН  
 ИрГУ  
 Аршинский В.Л., к.т.н.  
 Ворождова Т.Н., к.т.н.  
 Иванов Р.А., к.т.н.  
 Бахвалова З.А., к.т.н.  
 Копайгородский А.Н., к.т.н.  
 Дедюхина О.А.  
 Лемперт А.А., к.ф.-м.н., ИДСТУ СО РАН

### Правила приема статей в журнал

Начиная с 2016 г., труды конференции «Информационные и математические технологии в науке и управлении» издаются как одноименное периодическое издание (научный журнал, которому присвоен международный индекс ISSN), 4 раза в год (январь, март, июль, октябрь). Оргкомитетом конференции заключен лицензионный договор с E-library. Начиная с 2016 г., с авторами заключаются авторские соглашения, полные тексты статей помещаются в E-library с индексацией в РИНЦ.

Тематика журнала совпадает с тематикой 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).

Статьи участников, приславших свои статьи к 20 февраля и/или 25 марта, публикуются до начала конференции. Статьи участников конференции, присланные к 25 июня (или привезенные с собой на конференцию), публикуются после конференции (в текущем году). Статьи, присланные к 25 сентября, публикуются в следующем (2017) году. Предусматриваются как очное, так и заочное участие в конференции (только публикация, с частичной оплатой оргвзноса), но при большом количестве статей предпочтение будет отдаваться очным участникам (статьи заочных участников могут быть перенесены в следующий выпуск).

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 заочных участников, не зарегистрированных на сайте, могут быть приняты при наличии авторского соглашения (твердая копия или скан-копия).

С 2016 г. вводится более строгое рецензирование статей. При рецензировании статей обращается внимание на соответствие тематике журнала, научный уровень работы, ссылки на предшествующие работы (желательно не менее 11-15 ссылок), соответствие требованиям к оформлению статей. Для оценки научного уровня работы рекомендуется в заключении статьи выделять новизну и оригинальность методов и/или результатов. Для аспирантов, студентов, магистрантов требуется рекомендация (или соавторство) руководителя.

Требования к оформлению статей по сравнению с предыдущими годами изменены и приводятся в отдельных файлах (требования и шаблон статьи) на сайте конференции <http://imt.isem.irk.ru>. По возникающим вопросам можно обращаться в Оргкомитет конференции e-mail: [imt@isem.irk.ru](mailto:imt@isem.irk.ru)