Information and mathematical technologies in science and management

ISSN 2413 - 0133

Scientific journal

ИНФОРМАЦИОННЫЕ И МАТЕМАТИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ В НАУКЕ И УПРАВЛЕНИИ

Научный журнал

№ 2 (6)

© Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева
Сибирского отделения Российской академии наук

2017

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, ИРНИТУ
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

Раб. тел.: 8 (3952) 500-646 доп. 440 — Макагонова Н.Н., e-mail: mak@isem.irk.ru

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

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 10.05.2017 г. Тираж 100 экз.
© Издательство ИСЭМ СО РАН

Содержание

ПРЕДИСЛОВИЕ РЕДАКТОРА **7**

Методы искусственного интеллекта

Ходашинский И.А., Анфилофьев А.Е., Бардамова М.Б., Сарин К.С.
Метаэвристические методы отбора информативных классифицирующих признаков **11**

Гергет О.М., Девятых Д.В.
Бионическая модель для идентификации биологических систем **21**

Дородных Н.О., Николайчук О.А., Юрин А.Ю.
Автоматизированное создание продукционных баз знаний на основе деревьев событий **30**

Клименко О.А., Рычкова Е.В., Шабальников И.В.
Корпоративный портал Сибирского отделения РАН: модель, аналитика, вебометрика **44**

Математическое моделирование

Александров А.В., Бенеш П.Б., Малышев А.А., Отставнова В.А.
Математическое моделирование электрических схем на основе специализированной отечественной САПР с использованием функции распараллеливания вычислений **51**

Марченко О.В., Соломин С.В., Лебедев А.В.
Математическое моделирование энергосистем с возобновляемыми источниками энергии **57**

Дунаев М.П.
Математическое и физическое моделирование электромобиля **65**

Романчуков С.В., Берестнева Е.В., Маклакова Т.Г.
Анализ социологических данных на основе корреляционного и факторного анализа **72**

Поддержка принятия решений

Харитонов В.А., Кривогина Д.Н., Сафонов Н.И.
Укрощение субъективности в задачах автоматизации и управления технологическими процессами **79**

Виноградов Г.П., Ганичев А.В., Кошкина Г.В.
Принятие решений с выбираемой структурой представлений в условиях неопределенности **88**

Ерженин Р.В.
Интеллектуальная поддержка принятия решений в процессе аудита федеральных информационных систем и проектов **95**

Истомина А.А., Бадеников В.Я., Истомин А.Л.
Поддержка принятия решений при управлении многономенклатурными запасами в условиях неопределенности **104**

Программные системы

Рейзмунт Е.М.
Разработка инструментальных средств анализа живучести и безопасности оболочечных конструкций технических объектов **113**

Локотко А.В., Певзнер А.С., Яковлева Н.В.
Программный комплекс сбора, обработки и хранения данных аэродинамического эксперимента **123**

Запрягаев В.И., Кавун И.Н., Певзнер А.С., Тютин А.А., Яковлева Н.В.
Автоматизированное рабочее место оператора гиперзвуковой аэродинамической трубы Т-326 **132**

Дунаев А.М.
Автоматизация синтеза оптимального алгоритма диагностирования преобразователей частоты **143**

Информационное письмо о XXII Всероссийской Байкальской конференции
«Информационные и математические технологии в науке и управлении» **152**

Правила приема статей в журнал **154**

Content

EDITOR'S FOREWORD **7**

Methods of artificial intelligence

Hodashinsky I.A., Anfilofiev A.E., BardamovaM.B., Sarin K.S.
Metaheuristic strategies for relevant feature selection **11**

Gerget O.M., Devjatykh D.V.
Bionic models for identification of biological systems **21**

Dorodnykh N.O., Nikolaychuk O.A., Yurin A.Yu.
Automated creation of rule-based knowledge bases on the basis of event trees **30**

Klimenko O.A., Rychkova E.V., Shabalnikov I.V.
Corporate portal of the siberian branch of the russian academy of sciences: model, analytics, webometrics **44**

Mathematical modeling

Aleksandrov A.V., Benesh P.B., Malushev A.A., Otstavnova V.A.
Mathematical modeling of electrical circuits in Russian specialized cad with paralleling function **51**

Marchenko O.V., Solomin S.V., Lebedev A.V.
Mathematical modeling of energy systems With renewable energy sources **57**

Dunaev M.P.
Mathematical and physical modeling of electric car **65**

Romanchukov S.V., Berestneva E.V., Maklakova T.G.
Analysis of survey data using correlation and factor analysis **72**

Decision support

Kharitonov V.A., Krivogina D.N., Safonov N.I.
Detection of subjectivity in tasks of automation and management of technological processes **79**

Vinogradov G.P., Ganichev A.V., Koshkina G.V.
Decision making with the selected structure of representations in conditions of uncertainty **88**

Erzhenin R.V.
Intellectual support of decision-making in process of audit federal information systems and projects **95**

Istomina A.A., Badenikov V.Y., Istomin A.L.
Support decision-making for inventory management under uncertainty **104**

Software systems

Reizmunt E.M.
Development of instrumental analysis tools of survivability and safety for shell structures of technical objects **113**

Lokotko A.V., Pevzner A.S., Yakovleva N.V.
Program complex of data acquisition, processing and storage applied to an aerodynamic experiment **123**

Zapryagaev V.I., Kavun I.N., Pevzner A.S., Tjutin A.A., Yakovleva N.V.
Automated workplace of the operator of the hypersonic wind tunnel T-326 **132**

Dunaev A.M.
Automation of synthesis of the optimal algorithm of frequency converters diagnostics **143**

Information letter on the 22nd All-Russian Baikal Conference
«Information and Mathematical Technologies in Science and Management» **152**

Call for papers **154**

ПРЕДИСЛОВИЕ РЕДАКТОРА

Уважаемые читатели и участники традиционной XXII Байкальской Всероссийской с международным участием 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 второй выпуск 2017 г., который включает четыре раздела. Первый раздел, «Методы искусственного интеллекта», открывается статьей Ходашинского И.А., Анфилофьева А.Е., Бардамовой М.Б., Сарина К.С. Метаэвристические методы отбора информативных классифицирующих признаков (Томск, ТУСУР). В статье рассматривается задача отбора информативных признаков с использованием метаэвристических методов. Рассматриваются два типа метаэвристик: бинарные и непрерывные, адаптированные для поиска бинарных решений, предлагаютсяя методы бинаризации метаэвристик (сигмоидные и клиновидные функции преобразования), а также критерии отбора в зависимости от целей. В следующей статье, Гергет О.М. и Девятых Д.В., «Бионическая модель для идентификации биологических систем» (Томск, ТПУ) предлагается решение задачи поддержки принятия решения с использованием бионической модели, в основе которой лежат энергоинформационные подходы, нейронные сети и генетические алгоритмы. Описывается подход, посредством которого осуществляется выбор управляющего воздействия для минимизации риска возникновения неблагоприятного исхода. Приведено краткое описание программного обеспечения, реализованного на языке программирования Python. В статье Дородных Н.О., Николайчук О.А., Юрина А.Ю. «Автоматизированное создание продукционных баз знаний на основе деревьев событий» (Иркутск, ИДСТУ СО РАН) рассмотрен авторский подход, основанный на выделении структурных элементов деревьев событий и их преобразовании в конструкции целевого языка представления знаний, в частности, CLIPS. Приведены описание основных этапов подхода, анализируемых конструкций рассматриваемого формата деревьев событий, а также пример преобразования. Раздел завершается статьей Клименко О.А., Рычковой Е.В., Шабальникова И.В. «Корпоративный портал Сибирского отделения РАН: модель, аналитика, вебометрика» (Новосибирск, ИВТ СО РАН). В статье рассмотрены вопросы разработки корпоративного портала СО РАН (www.sbras.ru) на основе свободно распространяемой системы управления контентом с открытым кодом на платформе Drupal. При построении

портала отражены связь между различными научными дисциплинами и междисциплинарность исследований, которые выполняются в Сибирском отделении РАН.

Второй раздел, «Математическое моделирование», открывается статьей Александрова А.В., Бенеша П.Б., Малышева А.А., Отставновой В.А. «Математическое моделирование электрических схем на основе специализированной отечественной САПР с использованием функции распараллеливания вычислений» (Москва, ФГУП «ВНИИА им. Н.Л. Духова»). В статье представлены результаты исследования процессов моделирования аналоговых электрических схем в отечественной специализированной САПР радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) с помощью различных типов анализа. САПР “Симика” позволяет выполнять распараллеливание рассмотренных видов анализа и, таким образом, ускорять процесс проведения моделирования. В следующей статье, Марченко О.В., Соломина С.В., Лебедева А.В. «Математическое моделирование энергосистем с возобновляемыми источниками энергии» (Иркутск, ИСЭМ СО РАН), рассмотрена оптимизационная математическая модель для исследования экономической эффективности энергосистем с возобновляемыми источниками энергии. Модель описывает энергосистему произвольной конфигурации, включающую технологии преобразования, транспорта и аккумулирования энергии. Особенность модели – возможность исследования систем сложной структуры с преобразованием и аккумулированием энергии без предварительного задания алгоритмов управления элементами системы. Приведен пример применения модели для выбора оптимальной структуры энергосистемы, использующей энергию солнца, ветра, древесной биомассы, а также аккумуляторы электрической энергии и синтез-газа. В статье Дунаева М.П. «Математическое и физическое моделирование электромобиля» (Иркутск, ИРНИТУ) рассмотрено моделирование электромобиля с использованием пакета MatLab (Toolbox Simulink). Выполнено сравнение статических и динамических тяговых характеристик электромобиля, полученных при проведении исследовании электромобиля с помощью математической и физической моделей. Раздел завершается статьей аспирантов Романчукова С.В., Берестневой Е.В., Маклаковой Т.Г. «Анализ социологических данных на основе корреляционного и факторного анализа» (Томск, ТПУ), в которой представлены результаты обработки экономических и социологических данных, собранных на территории Томской области во время выполнения проекта "Социокультурный портрет региона". Для анализа из всей совокупности данных были выбраны показатели, которые характеризовали ощущение защищенности от различных опасностей (экологических бедствий, произвола чиновников, бедности и др.) и степень доверия или недоверия (суду, губернатору, полиции и т.п.). Обработка социологических данных была выполнена с помощью методов корреляционного и факторного анализа, имеющихся в пакете SPSS.

Третий раздел, «Поддержка принятия решений», открывается статьей Харитонова В.А., Кривогиной Д.Н., Сафонова Н.И. «Укрощение субъективности в задачах автоматизации и управления технологическими процессами» (Пермь, Пермский национальный исследовательский политехнический университет). В статье обсуждаются авторские технологии моделирования индивидуальных предпочтений и их композиций, цель которых – использование субъектно-ориентированной многокритериальной оптимизации в задачах ценообразования, принятия согласованных решений, а также автоматизации и управления технологическими процессами производства. Следующая статья, Виноградова Г.П., Ганичева А.В., Кошкиной Г.В. «Принятие решений с выбираемой структурой

представлений в условиях неопределенности» (Тверь, Тверской государственный технический университет), посвящена вопросам принятия решений в слабоструктурированных средах, где важную роль играют субъективные представления о структуре ситуации выбора и способы формирования на их основе правил принятия решений. Показано, что в случае удовлетворенности агента результатами выбора обратная связь не содержит сигнала о необходимости их корректировки, что порождает ряд проблем при идентификации модели выбора агента. В статье Ерженина Р.В. «Интеллектуальная поддержка принятия решений в процессе аудита федеральных информационных систем и проектов» (Москва, ООО «Научно-практический госучет») рассматривается актуальная проблема оценки эффективности информационных систем (ИС) в секторе государственного управления. На основании анализа основных подходов Счетной палаты РФ к аудиту федеральных информационных систем, информационно-аналитической системы удаленного проведения внешнего государственного аудита и стандарта по аудиту федеральных информационных систем и проектов предложен онтологический подход к решению задачи поддержки принятия решений в этой области. Построенная в системе Protégé онтология поддержки принятия решений по оценке информационных систем включает в себя метаонтологию и онтологию предметной области, содержащие понятия предметной области аудита информационных систем и проектов. Раздел завершается статьей Истоминой А.А., Баденикова В.Я., Истомина А.Л. «Поддержка принятия решений при управлении многономенклатурными запасами в условиях неопределенности» (Ангарск, Ангарский государственный технический университет) предложена многоэтапная процедура выработки решений по управлению многономенклатурными запасами в условиях неопределенности, суть которой заключается в том, что на первых этапах строятся прогнозные модели спроса на запасы, а затем, на основе полученных прогнозных значений спроса, решается задача управления запасами, построенная на основе теории массового обслуживания.

Заключительный раздел, «Программные системы», открывается статьей Рейзмунт Е.М. «Разработка инструментальных средств анализа живучести и безопасности оболочечных конструкций технических объектов». В статье рассматриваются алгоритмы и вычислительные средства, разработанные для решения прикладных задач живучести и безопасности и направленные на анализ аварийных разрушений, оценку риска повторного возникновения аварий технических объектов, параметрическое моделирование сварных соединений с дефектами, анализ чувствительности конструкций к дефектам, повреждениям и запроектным воздействиям, оценку живучести и безопасности, структурной избыточности, потенциальной энергии деформации сварных соединений. Следующие две статьи представлены сотрудниками Института теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича СО РАН (Новосибирск). В статье Запрягаева В.И., Кавун И.Н., Певзнер А.С., Тютина А.А., Яковлевой Н.В. «Автоматизированное рабочее место оператора гиперзвуковой аэродинамической трубы Т-326» описаны гиперзвуковая аэродинамическая труба Т-326, размещенная в ИТПМ СО РАН, и автоматизированное рабочее место (АРМ) оператора установки, включающее систему сбора и сохранения в базе данных информации, необходимой для управления установкой (выход на режим, поддержание режима). В статье Локотко А.В., Певзнер А.С., Яковлевой Н.В. «Программный комплекс сбора, обработки и хранения данных аэродинамического эксперимента» описан программный комплекс, который обеспечивает оперативную подготовку (выбор соответствующего измерительного

оборудования, калибровку датчиков) и проведение экспериментальных исследований; централизованное хранение экспериментальных данных в базе данных и оперативный анализ как первичных, так и обработанных данных. Программный комплекс внедрен на трех аэродинамических установках ИТПМ СО РАН и позволяет использовать базу данных за 1999 – 2016 годы (результаты более 4000 экспериментов). Завершается раздел статьей Дунаева А.М. «Автоматизация синтеза оптимального алгоритма диагностирования преобразователей частоты» (Иркутск, ИРНИТУ). В статье рассмотрен подход к программной автоматизации процесса нахождения оптимального логического алгоритма диагностирования преобразователей частоты по функциональной схеме. Описана алгоритмизация основных этапов построения оптимальной последовательности выполнения элементарных проверок функциональных блоков диагностируемого устройства, приведён пример работы созданного приложения автоматизированного синтеза алгоритма.

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 последний месяц весны, когда мы все уже в ожидании лета, в ожидании новых встреч и новых открытий. Мы желаем, чтобы эти ожидания Вас не обманули. Помните, что Вас ждет Байкал, который готов поделиться с Вами своей энергией!

До встречи на нашей Байкальской конференции в июле 2017-го!

Л.В. Массель

УДК 004.8

МЕТАЭВРИСТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОТБОРА ИНФОРМАТИВНЫХ КЛАССИФИЦИРУЮЩИХ ПРИЗНАКОВ

Ходашинский Илья Александрович
Д.т.н., профессор, ТУСУР, e-mail: hodashn@rambler.ru
Анфилофьев Александр Евгеньевич
Аспирант, ТУСУР, e-mail: yowwi00@gmail.com
Бардамова Марина Борисовна
Студентка, ТУСУР, e-mail: 722bmb@gmail.com
Сарин Константин Сергеевич
Ассистент, ТУСУР, e-mail: sks@security.tomsk.ru
Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники (ТУСУР), 634050 г. Томск, пр. Ленина 40

Аннотация. Проблема отбора информативных признаков решается в различных областях научных исследований: распознавании образов, статистике, интеллектуальном анализе данных. Цель отбора признаков – уменьшение исходного множества признаков без потери прогностической точности формируемой модели исследуемого явления. Отбор признаков является NP-трудной задачей, гарантировано оптимальное решение может быть найдено только путем полного перебора. Использование метаэвристических методов позволяет получить субоптимальные решения без необходимости исследовать все пространство решения. Наличие или отсутствие признака в системе классификации может быть задано бинарной оппозицией: 0 или 1. Тогда проблема отбора признаков может быть сформулирована как поиск в дискретном двоичном пространстве с целью снижения размерности. В нашей работе рассматриваются два типа метаэвристик: бинарные и непрерывные, адаптированные для поиска бинарных решений. Рассматриваются методы бинаризации метаэвристик (сигмоидные и клиновидные функции преобразования), а также критерии отбора признаков в зависимости от целей.
Ключевые слова: метаэвристики, отбор признаков, классификаторы

Введение. Классификация – это разделение объектов в пространстве признаков по классам на основе ретроспективных данных, для которых известны значения меток классов. Цель классификации состоит в сопоставлении входному вектору одной из меток классов. Классификатор, реализующий отображение векторов признаков в метки класса, представляет собой алгоритм классификации данных.

Эффективность алгоритмов классификации существенно зависит от набора признаков, используемых для описания классифицируемых объектов. Однако не все признаки имеют отношение к построению классификатора, нерелевантные или избыточные признаки могут отрицательно влиять на точность классификации, в этом случае эти признаки должны быть удалены из обучающего множества с помощью методов отбора

признаков. Кроме того, сокращение количества признаков может улучшить понимание моделей классификации [3].

Отбор признаков заключается в поиске оптимального, меньшего по числу элементов подмножества признаков без существенной потери точности классификации. Таким образом, задача отбора признаков может быть сформулирована как задача оптимизации с двумя критериями: минимизацией числа классифицирующих признаков и минимизацией ошибки классификации. Решение указанной задачи позволит уменьшить размер анализируемых данных и потребление вычислительных ресурсов, повысить интерпретируемость полученного результата благодаря лучшему пониманию причинно-следственных связей между объектами и классами.

Проблемы, которые необходимо решать разработчикам методов отбора признаков: 1) экспоненциальный рост различных вариантов подмножеств признаков; 2) переобучение на отобранном подмножестве признаков; 3) субоптимальность большинства методов отбора признаков.

Процедура отбора признаков находит применение в таких областях, как прогнозирование и кластеризация, распознавание образов и изображений, машинное обучение и моделирование сложных технологических процессов, обнаружение вторжений и анализ генома [12, 13].

Цель данной работы заключается в кратком анализе применения метаэвристических методов отбора признаков при построении классифицирующих систем.

Постановка задачи. Пусть $<X, F_0, C>$ – классифицируемый набор данных, где $X = \{x_1, \ldots, x_{|X|}\}$ – непустое конечное множество объектов или наблюдений; $F_0 = \{f_1, \ldots, f_n\}$ – непустое конечное множество признаков (атрибутов, входных переменных), таких, что $f: X \to V_f$ для любого $f \in F_0$; V_a – множество допустимых значений признака f; $C = \{c_1, c_2, \ldots, c_m\}$ – непустое конечное множество меток классов.

Задача отбора признаков заключается в поиске на заданном множестве признаков F_0 такого их оптимального подмножества F_{opt} ($|F_{\text{opt}}| < |F_0|$), которое не приводило бы к существенному уменьшению точности классификации.

Построение классификатора предполагает наличие двух выборок – обучающей Tr и тестовой Ts:

$$Tr = \{(x_i, c_j) \mid j = 1,\ldots,m, i = 1,\ldots,|Tr|\}, \quad Ts = \{(x_i, c_j) \mid j = 1,\ldots,m, i = 1,\ldots,|Ts\},$$

$$Tr \cap Ts = \varnothing, \ |X| = |Tr| + |Ts|.$$

Классификатор – это функция $c: X \to C$; значение $c_i = c(\mathbf{f}; \boldsymbol{\theta})$ является меткой для вектора признаков $\mathbf{f}$; $\boldsymbol{\theta}$ – вектор параметров классификатора.

Важной характеристикой классификатора является точность. Оценка точности классификации (acc) определяется следующим образом:

$$acc() = 100\% \cdot \frac{1}{N} \sum_{p=1}^{|N|} \begin{cases} 1, & \text{если } c_p = c(\mathbf{x}_p, \boldsymbol{\theta}) \\ 0, & \text{иначе} \end{cases}, \ p = 1,2,\ldots,N$$

В процессе построения классификатора можно выделить два основных этапа: предобработка, включающая отбор признаков, и обучение. Сформированное на этапе отбора признаков подмножество должно быть достаточным для адекватного представления всех

классов, присутствующих в обучающих выборках. Обучение классификатора предполагает нахождение таких параметров $\boldsymbol{\theta}$, при которых точность была бы максимальной.

Процесс отбора признаков состоит из следующих основных этапов:

1) генерация подмножества потенциальных кандидатов-признаков,

2) оценка сформированного подмножества,

3) если сформированное подмножество удовлетворяет критерию релевантности или условию остановки, то окончание процесса, иначе возврат к этапу 1 для генерации нового подмножества потенциальных кандидатов.

Генерация подмножества признаков. Можно выделить следующие стратегии формирования подмножеств информативных классифицирующих признаков: полный перебор, эвристические методы, метаэвристические методы.

Отбор признаков является NP-трудной задачей, гарантированно оптимальное решение может быть найдено только путем *полного перебора*. Поскольку число признаков может достигать сотен, количество возможных комбинаций растет экспоненциально. Следовательно, генерация подмножества признаков методом полного перебора возможна только для наборов данных с небольшим числом исходных признаков.

К *эвристическим методам* можно отнести случайный поиск и жадные алгоритмы. Случайные методы отбора признаков являются простыми и эффективными с точки зрения вычислений, позволяющими формировать подмножества признаков заданного размера. Сгенерированные случайным образом подмножества признаков независимы друг от друга. По этой причине подмножества могут оцениваться параллельно, тем самым значительно сокращая общее время отбора. Случайный поиск подмножества признаков используется в ансамблевых методах для решения: проблемы пропущенных значений [5], обучения нейронных сетей [4], распознавания рукописного текста [2].

Жадные стратегии поиска кажутся особенно предпочтительными с точки зрения вычислений и устойчивости к переполнению. Они бывают двух видов: с добавлением и удалением признаков. При отборе с добавлением признаки включаются по одному в формируемое подмножество, тогда как при отборе с удалением исключение начинается с полного множества всех признаков и постепенно исключаются наименее перспективные. Однако жадный алгоритм не учитывает сложных взаимодействий между несколькими признаками и их влияние на точность классификации. Удаление атрибута, который имеет малую корреляцию с целевой функцией, может привести к ухудшению итоговой эффективности из-за нелинейных отношений между признаками и целевой функцией.

Использование *метаэвристических методов* позволяет получить субоптимальные решения без необходимости исследовать все пространство решения, управляя поиском, когда следующий шаг в процессе поиска частично основан на предыдущих шагах.

Оценка подмножества признаков. Методы оценки подмножества признаков можно разделить на два больших класса:

I) методы фильтрации, которые оценивают подмножество признаков независимо от классификатора, как правило, на основе некоторых статистических показателей связи между объектами, принадлежащими к различным классам;

II) методы обертки, которые основаны на результатах работы конкретного классификатора.

Методы фильтрации, как правило, быстрее, чем методы обертки, так как последние требуют нового обучения используемого классификатора при каждой оценке нового подмножества признаков. Кроме того, оценки на основе фильтров носят более общий характер, так как они используют статистическую информацию о данных, в то время как методы обертки зависят от используемого классификатора.

Метаэвристические методы. *Эволюционные алгоритмы*. Типичным представителем указанного класса алгоритмов является *генетический алгоритм*, который представляет собой процедуру поиска, основанную на трех операторах: отбора, скрещивания и мутации. Особь (решение) в популяции – это бинарный вектор, в котором каждый бит указывает на наличие (1) или отсутствие (0) признака в подмножестве. При бинарном кодировании каждого признака значение бита определяет, применяется ли этот признак в классификации. На подмножестве признаков, указанных в хромосоме, осуществляется обучение классификатора, полученная при этом точность используется для вычисления пригодности данного классификатора. Используемые в режиме оберток генетические алгоритмы применялись для поиска подмножеств объектов в сочетании с несколькими методами классификации, такими, как нейронные сети, деревья решений, *k*-ближайшие соседи, байесовские классификаторы [3].

В [9] предложен подход к отбору признаков, основанный на иерархических генетических алгоритмах с двойным кодированием представления хромосом и оригинальной функцией оценки. В работе ставится задача на заданном множестве признаков A_0 найти оптимальное подмножество A_{opt}, максимизирующее долю правильной классификации при одновременной минимизации числа признаков в подмножестве A_{opt}. Двухкритериальную задачу авторы сводят к однокритериальной, используя следующую функцию:

$$fit(F_{opt}) = k_1 f(A_{opt}) - k_2 \frac{|F_{opt}|}{|F_0|},$$

где функция $f(F_{\text{opt}})$ – точность классификации, вычисляемая на основе метода ближайшего соседа (1-*NN*); k_1, $k_2 \in [0,1]$ – веса параметров правильной классификации и числа признаков, соответственно. В предлагаемом генетическом алгоритме каждое решение представлено двумя хромосомами, длина которых $|F_0|$. Каждый ген первой хромосомы является двоичным числом, а каждый ген второй является действительным числом из диапазона [0,1]. Первая хромосома указывает на наличие признаков, а вторая хромосома представляет оценку доверия данному признаку.

Другим представителем класса эволюционных алгоритмов является *дифференциальная эволюция*. В этом алгоритме, также как в генетическом, генерируется некоторое множество особей (бинарных векторов). На каждой итерации порождается новое поколение, полученное из предыдущего применением специальной процедуры, объединяющей в себе операции мутации и скрещивания. Число векторов в каждом поколении неизменно и является параметром метода. В [17] дифференциальная эволюция используется для оптимизации двух целевых функций: количества признаков и показателя качества ансамбля классификаторов.

Алгоритм муравьиной колонии [6] является дискретной метаэвристической процедурой, в основе которой лежат наблюдения за поведением муравьев, в частности, способность муравьев при передвижении выделять феромон и использовать его в качестве

маркера при поиске пищи. Таким образом, чем большее количество муравьев выбирает некоторый путь, или чем чаще один и тот же муравей будет ходить по этому пути, тем выше концентрация феромона на данном пути, а значит, можно считать, что количество феромона пропорционально качеству искомого решения.

В [11] предложен отбор признаков по методу обертки на основе бинарного алгоритма муравьиной колонии. Признаки являются узлами полносвязного графа. На этом графе каждый узел имеет два подузла, один для указания присутствия признака в подмножестве, другой для указания отсутствия признака. Муравьи должны пройти все узлы-признаки, и в конце итерации каждый муравей сформирует бинарный вектор, длина которого равна числу признаков. Сформированное подмножество признаков оценивается классификатором, выполненным на основе метода *k*-ближайших соседей. Качество решения используется для обновления таблиц феромона.

Бинарный алгоритм муравьиной колонии имеет относительно высокую вычислительную сложность. Надежность и эффективность его зависят от исходной эвристической информации. Генетический алгоритм не нуждается в какой-либо эвристической информации. Однако он имеет низкую скорость сходимости на поздних этапах эволюции. Воспользовавшись тем, что генетический алгоритм и бинарный алгоритм муравьиной колонии используют двоичное кодирование, авторы работы [18] объединили их в единый алгоритм. Множество признаков формирует полносвязный граф, в котором узел имеет два подузла, указывающих на наличие или отсутствия признака в подмножестве. В качестве классификатора авторы использовали машину опорных векторов, вычисляющую значение точности классификации для каждого подмножества признаков. Так как конечной целью отбора признаков является получение высокой точности классификации с использованием меньшего количества признаков, целевая функция отбора признаков определялась следующим образом [18]:

$$fit(i) = \frac{acc(i)}{1 + \lambda \cdot n(i)},$$

где $fit(i)$ – значение целевой функции i-го муравья (решения); $n(i)$ – число отобранных признаков; $acc(i)$ – точности классификации; λ весовой коэффициент (λ = 0,01).

Гармонический поиск. Популяционный алгоритм под названием *гармонический поиск* имитирует процесс импровизации музыкантов, меняющих интенсивность звука и ищущих лучшее звучание произведения [8]. Алгоритм работает на базе гармонической памяти, содержащей гармоники. Гармоника в алгоритме представлена бинарным вектором, элементы которого указывают на наличие или отсутствие признака в выбранном подмножестве. Известны два способа формирования новой гармоники: инвертированием текущего бита и заменой текущего бита значением бита лучшей гармоники, присутствующей в гармонической памяти. В [1] эти два способа используются в режиме обертки для отбора признаков нечеткого классификатора. Авторы работы [10] для отбора признаков используют метод обертки, включающий алгоритм гармонического поиска и классификатор на основе ансамбля деревьев решений (Optimum-Path Forest classifier). В работе [10] применен метод фильтра для отбора признаков на основе алгоритма гармонического поиска и взаимной корреляции. Авторы работы [19] отмечают, что оригинальный гармонический поиск использует статические параметры, значение которых трудно определить без предварительных тестовых прогонов, для устранения указанных недостатков авторы

предлагают динамически настраивать параметры гармонического поиска; предложенный подход, по мнению авторов, является универсальным и может быть использован в методах фильтров и оберток.

Гравитационный алгоритм основан на идее представления популяции векторов в виде системы частиц, между которыми действуют силы притяжения [7]. В оригинальной версии алгоритма силы притяжения рассчитываются по первому закону Ньютона; в качестве массы используется нормированное значение фитнесс-функции, а в качестве расстояния – эвклидово расстояние между векторами. Далее для каждой частицы подсчитывается ускорение по второму закону Ньютона и скорость как сумма ускорения и случайной компоненты от скорости, вычисленной на предыдущей итерации. Перемещение частицы осуществляется на величину, равную скорости. Таким образом, частицы, являющиеся лучшими с точки зрения фитнесс-функции, обладают наибольшей массой и, как следствие, притягивают к себе более мелкие частицы, но, так как силы притяжения действуют на все частицы, то двигаются и тяжелые частицы, тем самым осуществляя локальный поиск. В бинарной версии гравитационного алгоритма также рассчитываются все физические характеристики частиц; в качестве расстояния между частицами используется расстояние Хемминга. Перемещение в пространстве, как и в алгоритме роящихся частиц, осуществляется с использованием функции преобразования.

Алгоритм роящихся частиц является одним из наиболее часто используемых эвристических алгоритмов, в том числе и для решения проблемы отбора признаков. Простота и сравнительно небольшие вычислительные затраты делают этот алгоритм популярным в решении широкого круга задач непрерывной оптимизации. Бинарная версия этого алгоритма введена для решения проблем бинарной оптимизации. Основой указанной версии является функция преобразования, которая отображает непрерывное пространство поиска в двоичное пространство. Функция преобразования определяет вероятность изменения значения элементов вектора с 0 на 1 и наоборот, заставляя частицы двигаться в двоичном пространстве [14]. Функции преобразования, используемые в бинарных алгоритмах роящихся частиц, благодаря своей форме делятся на два типа: *S*-образные (сигмоидные) и *V*-образные.

В [16] изложены следующие концепции выбора передаточной функции, преобразующей значение скорости частицы в значение вероятности:

• диапазон изменения передаточной функции должен быть ограничен интервалом [0,1];

• передаточная функция должна обеспечивать высокую вероятность изменения положения для большого абсолютного значения скорости; частицы, имеющие большие абсолютные значения для их скоростей, вероятно, далеки от наилучшего решения, поэтому они должны менять свои позиции на следующей итерации;

• возвращаемое значение передаточной функции должно увеличиваться по мере увеличения скорости; частицы, которые отходят от лучшего решения, должны иметь большую вероятность изменения своих векторов положения, чтобы вернуться к своим предыдущим позициям;

• возвращаемое значение передаточной функции должно уменьшаться по мере уменьшения скорости.

Эти концепции гарантируют, что передаточная функция может отображать процесс поиска в пространстве непрерывного поиска в бинарное пространство поиска, сохраняя при этом аналогичные концепции поиска для конкретного метаэвристического роевого алгоритма [18].

Заключение. В статье исследуется проблема применения метаэвристических алгоритмов оптимизации для отбора признаков при построении классификаторов. Указанная проблема относится к классу NP-трудных, поэтому для ее решения хорошо подходят метаэвристические методы, реализуются эти алгоритмы чаще всего в методе обертки. Такой подход при большом объеме данных требует больших временных затрат. Одним из традиционных способов уменьшения времени обработки больших объемом данных является распараллеливание метаэвристических алгоритмов.

Важную роль при построении классификаторов и отборе признаков играют применяемые для этого целевые функции, в состав которых включаются число отобранных признаков и точность классификации.

В связи с тем, что большая часть метаэвристических методов разработана для непрерывной оптимизации, а отбор признаков относится к задачам бинарной оптимизации, многие авторы используют функции преобразования для перехода от непрерывных метаэвристик к бинарным.

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

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ходашинский И.А., Мех М.А. Построение нечеткого классификатора на основе методов гармонического поиска // Программирование. 2017. №1. С. 54–65.
2. Bertolami R., Bunke H. Multiple Classifier Methods for Offline Handwritten Text Line Recognition // Haindl M., Kittler J., Roli F. (eds) Multiple Classifier Systems. MCS 2007. Lecture Notes in Computer Science. Vol. 4472. Heidelberg: Springer-Verlag. 2007. Pp. 72–81.
3. Cantu-Paz E. Feature Subset Selection with Hybrids of Filters and Evolutionary Algorithms // Studies in Computational Intelligence, Vol. 33, Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag. 2006. Pp. 291–314.
4. Che J., Wu Q., Dong H. A Random Feature Selection Approach for Neural Network Ensembles: Considering Diversity // International Conference on Computational Intelligence and Software Engineering. IEEE. 2010. Pp. 1–4.
5. DePasquale J., Polikar R. Random Feature Subset Selection for Ensemble Based Classification of Data with Missing Features / Haindl M., Kittler J., Roli F. (eds) Multiple Classifier Systems. MCS 2007. Lecture Notes in Computer Science. Vol. 4472. Heidelberg: Springer-Verlag. 2007. Pp. 251–260.
6. Dorigo M., Maniezzo V., Colorni A. Ant System: Optimization by Colony of Cooperating Agents // IEEE Transaction Systems, Man and Cybernetics. Part B. 1996. Vol. 26. Pp. 29–41.
7. Esmat Rashedi GSA: A Gravitational Search Algorithm // Department of Electrical Engineering. Shahid Bahonar University of Kerman. 2009. 18 p.

8. Geem Z.W., Kim J.H., Loganathan G.V. A new heuristic optimization algorithm: Harmony search // Simulation. 2001. Vol. 76. Pp. 60–68.
9. Hamdania T. M., Won J.-M., Alimi A. M., Karray F. Hierarchical genetic algorithm with new evaluation function and bi-coded representation for the selection of features considering their confidence rate // Applied Soft Computing. 2011. Vol. 11. Pp. 2501–2509.
10. Huang Y.-F., Lin S.-M., Wu H.-Y., Li Y.-S. Music genre classification based on local feature selection using a self-adaptive harmony search algorithm // Data & Knowledge Engineering. 2014. Vol. 92. Pp. 60–76.
11. Kashef S., Nezamabadi-pour H. An advanced ACO algorithm for feature subset selection // Neurocomputing. 2015. Vol. 147. Pp. 271–279.
12. Kohavi R., John G.H. Wrappers for feature subset selection // Artificial Intelligence. 1997. Vol. 97. Pp. 273–324.
13. Liu H., Yu L. Toward Integrating Feature Selection Algorithms for Classification and Clustering // IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering. 2005. Vol. 17. Pp. 491–502.
14. Mirjalili S., Lewis A. S-shaped versus V-shaped transfer functions for binary particle swarm optimization // Swarm and Evolutionary Computation. 2013. Vol. 9. Pp. 1–14.
15. Ramos C.C.O., Souza A.N., Chiachia G., A.X. Falcao, Papa J.P. A novel algorithm for feature selection using Harmony Search and its application for non-technical losses detection // Computers & Electrical Engineering. 2011. Vol. 37. Pp. 886–894.
16. Rashedi E., Nezamabadi-pour H., Saryazdi S. BGSA: binary gravitational search algorithm // Natural Computing. 2009. Vol. 9. Pp. 727–745.
17. Sikdar U. K., Ekbal A., Saha S. MODE: multiobjective differential evolution for feature selection and classifier ensemble // Soft Computing. 2015. Vol. 19. Pp. 3529–3549.
18. Wan Y., Wang M., Ye Z., Lai X. A feature selection method based on modified binary coded ant colony optimization algorithm // Applied Soft Computing. 2016. Vol. 49. Pp. 248–258.
19. Zheng L., Diao R., Shen Q. Self-adjusting harmony search-based feature selection // Soft Computing. 2015. Vol. 19. Pp. 1567–1579.

UDK 004.8

METAHEURISTIC STRATEGIES FOR RELEVANT FEATURE SELECTION IN CLASSIFICATION

Ilya A. Hodashinsky
Dr., Professor, e-mail: hodashn@rambler.ru
Alexander E. Anfilofiev
Graduate student, e-mail: yowwi00@gmail.com
Marina B. Bardamova
Student, e-mail: 722bmb@gmail.com
Konstantin S. Sarin
Assistant, e-mail: sks@security.tomsk.ru
Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics,
40 Lenina Prospect, Tomsk, Russia 634050, Russia

Abstract. In this paper, we provide an overview of some of the methods and approach of feature selection. This is an NP-hard problem and so the use of metaheuristic strategies is very appropriate to solve it. Feature selection is a process of selecting the optimum subset from initial feature list, and the list is evaluated based on certain criteria. Feature selection problem need binary algorithms for their solution. Metaheuristics such as genetic algorithm, ant colony optimization, harmony search have binary versions, which make them capable of performing in binary spaces. The binary version of continuous metaheuristics is based on transfer functions that are used to map a continuous search space to a binary one.

Keywords: metaheuristics, feature selection, classifiers.

Reference

1. Hodashinsky I.A., Mekh M.A. Fuzzy Classifier Design Using Harmonic Search Methods // Programming and Computer Software. 2017. Vol. 43. Pp. 37–46. (in Russian)
2. Bertolami R., Bunke H. Multiple Classifier Methods for Offline Handwritten Text Line Recognition // Haindl M., Kittler J., Roli F. (eds) Multiple Classifier Systems. MCS 2007. Lecture Notes in Computer Science. Vol. 4472. Heidelberg: Springer-Verlag. 2007. Pp. 72–81.
3. Cantu-Paz E. Feature Subset Selection with Hybrids of Filters and Evolutionary Algorithms // Studies in Computational Intelligence, Vol. 33, Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag. 2006. Pp. 291–314.
4. Che J., Wu Q., Dong H. A Random Feature Selection Approach for Neural Network Ensembles: Considering Diversity // International Conference on Computational Intelligence and Software Engineering. IEEE. 2010. Pp. 1–4.
5. DePasquale J., Polikar R. Random Feature Subset Selection for Ensemble Based Classification of Data with Missing Features / Haindl M., Kittler J., Roli F. (eds) Multiple Classifier Systems. MCS 2007. Lecture Notes in Computer Science. Vol. 4472. Heidelberg: Springer-Verlag. 2007. Pp. 251–260.

6. Dorigo M., Maniezzo V., Colorni A. Ant System: Optimization by Colony of Cooperating Agents // IEEE Transaction Systems, Man and Cybernetics. Part B. 1996. Vol. 26. Pp. 29–41.
7. Esmat Rashedi GSA: A Gravitational Search Algorithm // Department of Electrical Engineering. Shahid Bahonar University of Kerman. 2009. 18 p.
8. Geem Z.W., Kim J.H., Loganathan G.V. A new heuristic optimization algorithm: Harmony search // Simulation. 2001. Vol. 76. Pp. 60–68.
9. Hamdania T. M., Won J.-M., Alimi A. M., Karray F. Hierarchical genetic algorithm with new evaluation function and bi-coded representation for the selection of features considering their confidence rate // Applied Soft Computing. 2011. Vol. 11. Pp. 2501–2509.
10. Huang Y.-F., Lin S.-M., Wu H.-Y., Li Y.-S. Music genre classification based on local feature selection using a self-adaptive harmony search algorithm // Data & Knowledge Engineering. 2014. Vol. 92. Pp. 60–76.
11. Kashef S., Nezamabadi-pour H. An advanced ACO algorithm for feature subset selection // Neurocomputing. 2015. Vol. 147. Pp. 271–279.
12. Kohavi R., John G.H. Wrappers for feature subset selection // Artificial Intelligence. 1997. Vol. 97. Pp. 273–324.
13. Liu H., Yu L. Toward Integrating Feature Selection Algorithms for Classification and Clustering // IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering. 2005. Vol. 17. Pp. 491–502.
14. Mirjalili S., Lewis A. S-shaped versus V-shaped transfer functions for binary particle swarm optimization // Swarm and Evolutionary Computation. 2013. Vol. 9. Pp. 1–14.
15. Ramos C.C.O., Souza A.N., Chiachia G., A.X. Falcao, Papa J.P. A novel algorithm for feature selection using Harmony Search and its application for non-technical losses detection // Computers & Electrical Engineering. 2011. Vol. 37. Pp. 886–894.
16. Rashedi E., Nezamabadi-pour H., Saryazdi S. BGSA: binary gravitational search algorithm // Natural Computing. 2009. Vol. 9. Pp. 727–745.
17. Sikdar U. K., Ekbal A., Saha S. MODE: multiobjective differential evolution for feature selection and classifier ensemble // Soft Computing. 2015. Vol. 19. Pp. 3529–3549.
18. Wan Y., Wang M., Ye Z., Lai X. A feature selection method based on modified binary coded ant colony optimization algorithm // Applied Soft Computing. 2016. Vol. 49. Pp. 248–258.
19. Zheng L., Diao R., Shen Q. Self-adjusting harmony search-based feature selection // Soft Computing. 2015. Vol. 19. Pp. 1567–1579.

УДК 004.93'12

БИОНИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ БИОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Гергет Ольга Михайловна
К.т.н., доцент, научный сотрудник, e-mail: gerget@tpu.ru
Девятых Дмитрий Владимирович
Программист кафедры «Программной инженерии», e-mail: ddv.edu@gmail.com
Томский политехнический университет, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30

Аннотация. В статье рассмотрена схема решения задачи поддержки принятия решений на основе обработки биомедицинских данных. С этой целью разработана бионическая модель, в основе которой лежат энергоинформационные подходы, нейронные сети и генетические алгоритмы. Апробация системы поддержки принятия решения на основе бионической модели проводилась на данных, характеризующих состояние беременных женщин. В статье представлен подход, посредством которого осуществляется выбор управляющего воздействия для минимизации риска возникновения неблагоприятного исхода. Управляющее воздействие (новый тип гиперпараметра) используется в качестве дополнительного входного сигнала, а его значения определяются методом конфигурации гиперпараметров. Приведено краткое описание программного обеспечения, реализованного на языке программирования Python.

Ключевые слова: энергоинформационный подход, нейронные сети, генетический алгоритм, бионическая модель, оптимизация гиперпараметров.

Введение. В настоящее время актуальным является вопрос совершенствования технологий интеллектуальной поддержки принятия решений по минимизации риска возникновения неблагоприятных ситуаций [4, 12, 13]. Направление разработки систем поддержки принятия решений в медицине является продолжением и развитием дифференциальной диагностики.

Наиболее перспективным подходом для совершенствования систем диагностики является использование технологий анализа данных и машинного обучения. В частности решения, основанные на глубоком обучении (Deep Learning), комитете моделей (GradientBoosting), алгоритмах случайного леса (RandomForest) [7, 15] показывают хорошие результаты. Однако решения, внедряемые на практике и основанные на использовании данных технологий, носят эпизодический и скорее научно-исследовательский характер. В связи с этим была поставлена цель разработать систему поддержки принятия решения для идентификации функционального состояния биосистем в контексте идеи энергоинформационных процессов.

Рассмотрим схему поддержки принятия решений:

1. В момент времени t_i сформировать образ объекта исследования на основании значений признаков, характеризующих функциональное состояние биообъекта.

2. Рассчитать интегральные показатели $I_{адапт}$ для момента времени t_i. Построить интегральные кривые.

3. Осуществить прогноз изменений признаков во времени (с различным горизонтом прогнозирования).

4. Определить прогнозное функциональное состояние. Рассчитать прогнозные значения I*адапт и функциональные резервы.

5. Выполнить процедуру поиска оптимальных управляющих воздействий в моменты времени ti+1, ti+2, …

6. Отобразить возможные варианты управляющих воздействий для выбора оптимального.

Для решения задачи поддержки принятия решения разработана бионическая модель, в основе которой лежат энергоинформационный подход, генетические и нейронные системы.

1. Материалы и методы. Под бионическими моделями будем понимать математические модели, а также их программные реализации, построенные по принципу функционирования и организации биосистем.

Удобным способом реализации подхода для идентификации развивающихся систем является представление биообъекта посредством бионической модели, построенной на принципе взаимодействия нейронных сетей (NS), генетических алгоритмов (GA) и энергоинформационных систем (I). Таким образом, каждый биообъект описывается бионической моделью вида <NS, GA, I, A> , где A - алгоритмы настройки моделей.

Синтез NS, GA, I в бионических моделях позволяет системам обмениваться информацией и передавать в качестве входных воздействий на другую подсистему значения своих характеристик, что повышает качество функционирования и интрепретируемость.

2. Интегральная оценка функционального состояния на основе энергоинформационного подхода. Нормальное функционирование биосистемы протекает при малых отклонениях факторов от равновесного состояния, которые задают гомеостатическую область. Нарушение условий саморегуляции в области гомеостаза свидетельствует о деградации системы и характеризуется выходом за границы допустимых значений функциональных переменных. Это означает, что оценку качества динамической биосистемы разумно формировать на основе энергоинформационных показателей, что позволит выявлять не только функциональные особенности организма в различных условиях, но и делать выводы об адаптационных возможностях на основе проведения дозонологических обследований и соответствующего моделирования.

На основании реализации и анализа методов построения интегральных оценок в системе поддержки принятия решений использован подход [6], в котором рассматривается информационная мера, как мера предпочтительности поведения биообъекта.

Выбор обоснован анализом результатов, полученных с помощью:

1) интегрального критерия, в основе которого лежит оценка меры близости областей наблюдаемого и предпочтительного (референтного) состояний в пространстве признаков, где мера близости нормирована в метрике Махаланобиса на внутримножественное расстояние области референтного состояния [5];
2) интегрального критерия, в основе которого информационная мера Кульбака рассматривается как мера предпочтительности поведения биообъекта [1, 2].

3. Прогнозирование функционального состояния на основе бионических моделей. С целью прогнозирования изменения признаков, характеризующих состояние биосистемы во времени, а также функционального состояния организма при выборе того или

иного управляющего воздействия, в системе поддержки принятия решений на основе бионической модели выбраны нейронные сети. Это обусловлено: высокой эффективностью прогнозирования; возможностью реализации комитета моделей для выбора оптимального прогноза и использования рекурсивных нейронных сетей для вектора переменной структуры.

Пусть имеется объект, функциональное состояние которого характеризуется различными признаками x_i, и способами влияния u на функциональное состояние. Функциональное состояние определяется на основе энергоинформационного подхода.

Считаем, что значение i-го признака в момент времени t+1 определяется следующей схемой: $x_i(t+1) = f(x_i(t), x_i(t-1), \dots, u_j)$

Задача сводится к решению задачи прогнозирования временного ряда. С этой целью формируем n нейронных сетей (каждая нейронная сеть для каждого признака) и на основе имеющейся выборки данных осуществляем обучение.

Реализация алгоритмов прогнозирования осуществляется на основе рекуррентных динамических нейронных сетей (Recurrent Neural Networks) [11, 14], посредством которых можно получить точную идентификацию поведения. Основным преимуществом использования данного подхода является реализация идеи «sequence-to-sequence learning», а именно вектор произвольной длины на входе, вектор произвольной длины на выходе.

4. Формирование управляющего воздействия и минимизация риска перехода в неблагоприятное функциональное состояние. Функциональное состояние объекта в каждый момент времени характеризуется интегральным показателем $I_{адапт}$, который является функцией от значений признаков. Кроме этого, для каждого объекта исследования заданы значения управляющего воздействия $U = u_1, u_2, \dots$. Считаем, что для заданного горизонта управления заданы желаемые значения $I_{кр}(\mathrm{t}), \mathrm{t} \in [\mathrm{t}_0, \mathrm{t}_k]$ в каждый момент времени. Задана функция потерь [12], которая рассчитывается как разница между желаемым значением функционального состояния и реальным состоянием в определенный момент времени $C_t = I_{\text{кр}} - I_{\text{адапт}}$. В этом случае функционал оптимизации может быть представлен в виде:

$$J(x;u) = \frac{1}{k}\sum_{i=t_0}^{t_k} \left(I^*_{\text{адапт}\,i} - I_{\text{кр}\,i} \right)^2 \to \min,$$

где $J(x;u)$- целевая функция; $I^*_{\text{адапт}_i}$ - прогнозные значения интегрального показателя.

5. Гиперпараметры модели и методы их оптимизации. Основой для моделирования индивидуальных медицинских процессов выступает нейросетевая модель, адаптивные нелинейные и динамические свойства которой могут быть использованы для извлечения большего количества знаний, заключенных во множестве информации, полученной в ходе диагностики и лечения.

Свойства нейросетевой модели могут быть отражены в виде параметров (весовые коэффициенты, изменяющиеся в процессе обучения), и гиперпараметров (все свойства модели, которые остаются неизменными в процессе обучения). Базовыми подходами к выбору гиперпараметров являются экспертные заключения или проход по сетке (grid-search). При экспертной оценке поиск модели осуществляется в некоторой области, вокруг точки в пространстве гиперпараметров. Проход по сетке осуществляет перебор всевозможных комбинаций моделей в заданном диапазоне значений гиперпараметров. Недостатком таких

подходов является то, что происходит обучение большого количества заведомо неудачных моделей.

Достижения в области глубокого обучения [10, 11] в настоящее время являются востребованными при моделировании динамических процессов.

Если рассмотреть проблему глубокого обучения с позиции обратного распространения ошибки, то становится очевидным наличие в сети затухания градиентов. В самом деле, для частного случая, когда максимум производной достигается в нуле и равен 0.25, а начальная инициализация подчиняется стандартному нормальному закону распределения, можно определить затухание следующим образом:

$$\frac{\partial E}{\partial b_1} = f'(\upsilon_1)\overbrace{w_2 f'(\upsilon_2)}^{<0.25}\ldots\overbrace{w_{n-1} f'(\upsilon_{n-1})}^{<0.25} w_n \frac{\partial E}{\partial \upsilon_n},$$

где: $\frac{\partial E}{\partial b_1}$ – локальный градиент нейрона первого слоя; υ – активационный потенциал; w – весовой параметр нейросетевой модели; f' – производная активационной функции по υ. Подобный эффект обращения градиентов в ноль возникает при использовании любой активационной функции или способа инициализации весовых коэффициентов, так как проистекает из линейности обратного прохода по сети. Генетические же алгоритмы, не требующие вычисления градиентов нейронов, могут равномерно обучать нейроны, вне зависимости от их принадлежности к слою.

Оптимизация гиперпараметров, к которым мы относим управляющие воздействия, может быть решена с применением генетических алгоритмов. Благодаря механизму скрещивания, мутации и корректного формирования популяций можно существенно сократить процесс поиска гиперпараметров по сравнению с алгоритмами прохода-по-сетке. Применение генетического алгоритма заключается в формировании вариантов управляющего воздействия на основе, полученных с помощью предлагаемого энергоинформационного подхода, характеристик функционального состояния пациента с целью минимизации риска возникновения неблагоприятного исхода.

6. Программная реализация. В настоящее время ведется работа по реализации программного обеспечения системы поддержки принятия решений по принципу многомерной сети. Каждая ячейка сети содержит значение, отражающее эффективность решения конкретной задачи, достигнутое при определенных гиперпараметрах модели и примененного численного метода.

В нейросетевой модели в качестве гиперпараметров рассматриваем: количество слоев и нейронов в них; тип активационных функций и значения их коэффициентов, а также способ взаимодействия между нейронами.

Гиперпараметры обучающего алгоритма включают в себя: шаг обучения; тип начальной инициализации параметров; целевую функцию; механизм регуляризации; способ разделения обучающих данных на обучающую/тестовую/валидационную выборки; тип нормализации данных.

Программный комплекс допускает использование некоторых гиперпараметров в качестве входных сигналов. Для обозначения таких гиперпараметров используется термин «управляющее воздействие». При прогнозировании значения некоторой величины $x(t)$ ее

значение определяется как на основе предыдущих значений: $x(t\text{-}1)$, $x(t\text{-}2)$, …, $x(t\text{-}p)$, так и контролируемого воздействия $u(t)$. В контексте некоторой медицинской задачи $u(t)$ можно интерпретировать как лечебно-корректирующее воздействие на организм.

Оптимизация гиперпараметров в рамках программного комплекса осуществляется с помощью генетического алгоритма, значение фиттинг-функции которого определяется разницей интегральных показателей.

Программное обеспечение (ПО) системы поддержки принятия решений реализуется на высокоуровневом языке программирования Python. ПО состоит из главного модуля и второстепенных: pybrain, numpy, pandas, scikit_learn, которые можно подключить при выполнении кода главного модуля. Второстепенные модули предоставляют готовые модели прогнозирования, в том числе и нейросетевые, а также алгоритмы их обучения. В основном модуле осуществляется: загрузка двух dataframe с наборами исходных данных и гиперпараметров, которые затем подаются в качестве аргументов конструкторам экземпляров классов «Модель» и «Учитель», и заполнение ячеек grid.

7. Результаты. Апробация системы поддержки принятия решений на основе бионической модели проводилась на данных, характеризующих состояние беременных женщин в течение 3-х триместров беременности. В качестве управляющего воздействия u(t) рассматривались коррекционные комплексы [2, 3]: 1) физические упражнения, дыхательная гимнастика, музыкальная терапия, аквагимнастика; 2) физические упражнения, дыхательная гимнастика, лекарственная терапия; 3) аквагимнастика, дыхательная гимнастика.

На первом этапе исследования были рассчитаны интегральные показатели и построены интегральные кривые (рис. 1).

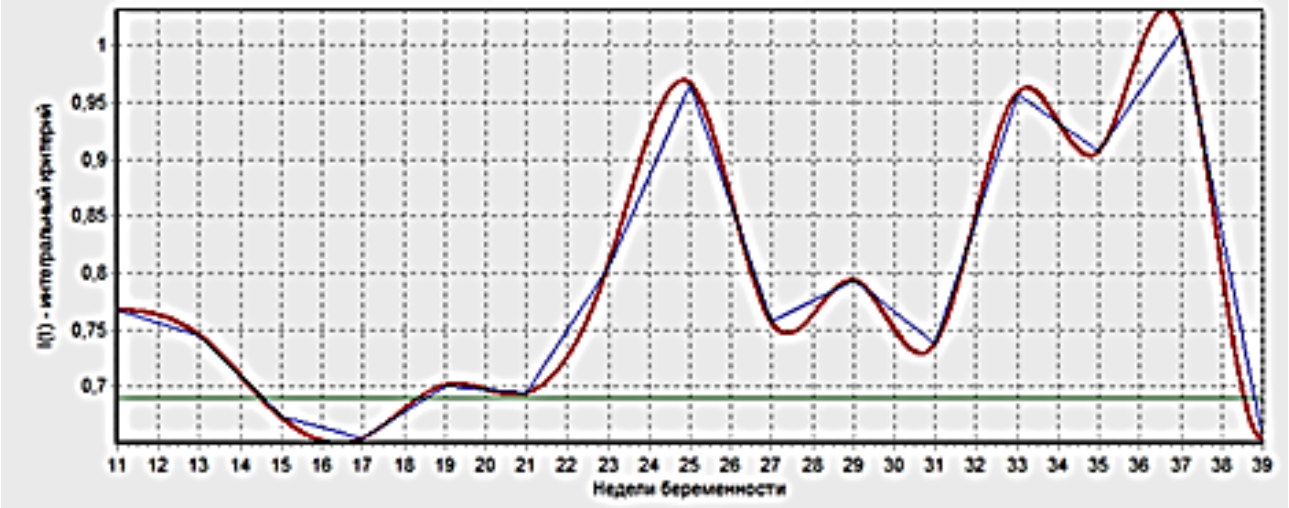

Рис. 1. Интегральная кривая, где в качестве признаков x_i были исследованы показатели крови женщины

На втором этапе с помощью нейронных сетей были получены прогнозные значения показателей (в частности показателей крови женщины), характеризующих функциональное состояние женщины, и рассчитаны прогнозные значения $\boldsymbol{I}^{*}_{\text{адапт}_i}$.

На следующем этапе исследования на основе генетического подхода, минимизируя риск отклонения интегрального показателя [1], характеризующего состояние управляемого объекта, от желаемого значения (магистрали нормального функционирования), были

подобраны корректирующие мероприятия. В таблице 1 приведены результаты реализации данного подхода.

Таблица 1. Варианты управляющего воздействия, подобранные с целью минимизации риска возникновения неблагоприятного исхода

Триместр	Значения функции потерь C_t, рассчитанные по показателям женщины из основной группы с соматическим заболеванием		
	1 коррекционный комплекс	2 коррекционный комплекс	3 коррекционный комплекс
1	0,4	0,7	0,1
2	0,2	0,7	0,3
3	0,1	0,5	0,4

По результатам, приведенным в таблице для конкретного объекта исследования, можно сделать вывод, что комплекс оптимальных корректирующих мероприятий в соответствии с триместрами должен включать 3-1-1 коррекционные комплексы.

Заключение. Использование энергоинформационного подхода, нейронных сетей и генетических алгоритмов в машинном обучении приводит к созданию бионической модели, обучение которой может осуществляться при совместном использовании градиентных и бионических алгоритмов. При исследовании влияния независимых переменных на зависимые учитывается значение управляющего воздействия.

Успешный выбор параметров и гиперпараметров модели и алгоритма обучения позволит минимизировать риск отклонения между реальными и желаемыми интегральными показателями, что даст возможность подобрать оптимальное управляющее воздействие на организм.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гергет О.М., Кочегуров А.И. Использование энергетических и информационных показателей в оценке состояния функционирования медицинских систем // Известия Томского политехнического университета. 2012. Т. 321. № 5. С. 117–120.
2. Гергет О.М., Берестнева О.Г., Пеккер Я.С. Автоматизированная информационная система оценки адаптации развивающихся систем // Проблемы информатики. 2011. № 2. С. 76–82.
3. Кривоногова Т.С., Евтушенко И.Д., Тренькаева Н.А., Гладких Л.К., Гергет О.М. Комплексный подход к оздоровлению беременных женщин. Томск. 2008. 183 с.
4. Массель Л.В., Массель А.Г. Интеллектуальные вычисления в исследованиях направлений развития энергетики // Известия Томского политехнического университета. 2012. Т.321. №5. С. 135–140.
5. Фокин В.А. Статистическое моделирование данных при оценке состояния биологических систем // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2004. Т. 307, №5. С. 136–138
6. Фокин В.А., Пеккер Я.С., Берестнева О.Г., Гергет О.М. Интегральные методы оценки состояния сложных систем // Известия Томского политехнического университета. 2012. Т. 321. № 5. С. 120–124.

7. Carmesin, H. (1994). Multilinear back-propagation convergence theorem. Physics Letters A. 188(1). Pp. 27–31.
8. D. Dasgupta. An immunological approach и их применение. 2006
9. D. Dasgupta, S. Forrest, P. Helman. An immunological approach to change detection: algorithms, analysis and implications. In Proceedings of the IEEE Symposium on Computer Security and Privacy. IEEE Computer Society Press. Los Alomitos. CA. 1996.
10. Hastie T., Tibshirani R., Friedman J. The Elements of Statistical Learning: Data Mining, Inference, and Prediction. 2009. 745 p.
11. Goodfellow I., Bengio Y., Courville A. Deep Learning. Book in preparation for MIT Press.
12. Shcherbakov M., Kamaev V., Shcherbakova N. Automated Electric Energy Consumption Forecasting System Based On Decision Tree Approach // 7th IFAC Conference on Manufacturing Modelling, Management, and Control. 2013. Volume 46. Issue 9. Pp. 1027–1032.
13. Yurchenko M.A., Kochegurova E.A., Fadeev A.S., Piletskaya A.Y. Calculation of performance indicators for passenger transport based on telemetry information // Engineering Technology, Engineering Education and Engineering Management : proceedings of the International Conference on Engineering Technologies, Engineering Education and Engineering Management (ETEEEM 2014), China, November 15-16, 2014. London: Taylor & Francis Group. 2015. Pp. 847–851.
14. Wang, H. and Song, G. (2014). Innovative NARX recurrent neural network model for ultra-thin shape memory alloy wire. Neurocomputing. 134. Pp. 289–295.
15. http://scikit-learn.org/stable/modules/generated/sklearn.ensemble.RandomForestClassifier.html

---

UDK 004.93'12

BIONIC MODELS FOR IDENTIFICATION OF BIOLOGICAL SYSTEMS

Olga M. Gerget
Ph.D., docent, e-mail: gerget@tpu.ru
Dmitry V. Devjatykh
Programmer, e-mail: ddv.edu@gmail.com
Tomsk Polytechnic University, 30, Lenina ave., Tomsk, 634050, Russia

Abstract. This article proposes a clinical decision support system that processes biomedical data. For this purpose a bionic model has been designed based on neural networks and genetic algorithms. The developed system has been tested on data from pregnant women. The paper focuses on the approach to enable selection of control actions that can minimize the risk of adverse outcome. The control actions (hyperparameters of a new type) are further used as an additional input signal. Its values are defined by a hyperparameter optimization method. A software developed with Python is briefly described.

Keywords: Energy-information approach, neural networks, genetic algorithm, bionic model, optimization of hyperparameters.

References

1. Gerget O.M., Kochegurov A.I. Ispol'zovanie jenergeticheskih i informacionnyh pokazatelej v ocenke sostojanija funkcionirovanija medicinskih sistem [Use of energy and information indicators in assessing the state of functioning of medical systems] // Izvestija Tomskogo politehnicheskogo universiteta = Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. 2012. T. 321. № 5. Pp. 117–120. (in Ruaaian)
2. Gerget O.M., Berestneva O.G., Pekker Ja.S.Avtomatizirovannaja informacionnaja sistema ocenki adaptacii razvivajushhihsja sistem [Automated information system for assessing the adaptation of developing systems] // Problemy informatiki = Problems of Informatics. 2011. № 2. Pp. 76–82. (in Ruaaian)
3. Krivonogova T.S., Evtushenko I.D., Tren'kaeva N.A., Gladkih L.K., Gerget O.M. Kompleksnyj podhod k ozdorovleniju beremennyh zhenshhin [An integrated approach to the recovery of pregnant women] Tomsk. 2008. 183 p. (in Ruaaian)
4. Massel' L.V., Massel' A.G. Intellektual'nye vychislenija v issledovanijah napravlenij razvitija jenergetiki [Intellectual computations in researches of energy development directions] // Izvestija Tomskogo politehnicheskogo universiteta = Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. 2012. T.321. №5. Pp. 135–140 (in Ruaaian)
5. Fokin V.A. Statisticheskoe modelirovanie dannyh pri ocenke sostojanija biologicheskih sistem [Statistical modeling of data in assessing the state of biological systems] // Izvestija Tomskogo politehnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov = Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering. 2004. T. 307. №5. Pp. 136–138. (in Ruaaian)
6. Fokin V.A., Pekker Ja.S., Berestneva O.G., Gerget O.M. Integral'nye metody ocenki sostojanija slozhnyh sistem [Integral methods for assessing the state of complex systems] // Izvestija Tomskogo politehnicheskogo universiteta = Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. 2012. T. 321. № 5. Pp. 12–124. (in Ruaaian)
7. Carmesin, H. (1994). Multilinear back-propagation convergence theorem. Physics Letters A. 188(1). Pp. 27–31.
8. D. Dasgupta. An immunological approach и их применение. 2006
9. D. Dasgupta, S. Forrest, P. Helman. An immunological approach to change detection: algorithms, analysis and implications. In Proceedings of the IEEE Symposium on Computer Security and Privacy, IEEE Computer Society Press, Los Alomitos,. CA. 1996.
10. Hastie T., Tibshirani R., Friedman J. The Elements of Statistical Learning: Data Mining, Inference, and Prediction. 2009. 745 p.
11. Goodfellow I., Bengio Y., Courville A. Deep Learning. Book in preparation for MIT Press.
12. Shcherbakov M., Kamaev V., Shcherbakova N. Automated Electric Energy Consumption Forecasting System Based On Decision Tree Approach // 7th IFAC Conference on Manufacturing Modelling, Management, and Control. 2013. Volume 46. Issue 9. Pp. 1027–1032.

13. Yurchenko M.A., Kochegurova E.A., Fadeev A.S., Piletskaya A.Y. Calculation of performance indicators for passenger transport based on telemetry information // Engineering Technology, Engineering Education and Engineering Management : proceedings of the International Conference on Engineering Technologies, Engineering Education and Engineering Management (ETEEEM 2014). China. November 15-16. 2014. London: Taylor & Francis Group. 2015. Pp. 847–851
14. Wang, H. and Song, G. (2014). Innovative NARX recurrent neural network model for ultra-thin shape memory alloy wire. Neurocomputing. 134. Pp. 289–295.
15. http://scikit-learn.org/stable/modules/generated/sklearn.ensemble.RandomForestClassifier.html

УДК 004.89

АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ СОЗДАНИЕ ПРОДУКЦИОННЫХ БАЗ ЗНАНИЙ НА ОСНОВЕ ДЕРЕВЬЕВ СОБЫТИЙ

Дородных Никита Олегович
Программист, e-mail: tualatin32@mail.ru
Николайчук Ольга Анатольевна
Д.т.н., в.н.с. e-mail: nikoly@icc.ru
Юрин Александр Юрьевич
К.т.н., зав. лабораторией «Информационных технологий исследования природной и техногенной безопасности», e-mail: iskander@icc.ru
Институт динамики систем и теории управления имени В.М. Матросова СО РАН,
664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 134,

Аннотация. Рассмотрен подход к автоматизированному созданию продукционных баз знаний на основе анализа авторской нотации деревьев событий. Подход основан на выделении структурных элементов деревьев событий и их преобразовании в конструкции целевого языка представления знаний, в частности, CLIPS. Приведены описание основных этапов подхода, анализируемых конструкций рассматриваемого формата деревьев событий, а также пример преобразования.

Ключевые слова: получение знаний, базы знаний, деревья событий, трансформация моделей, генерация кода, CLIPS.

Введение. В настоящее время разработка новых методов и подходов к созданию интеллектуальных систем и, в частности, проблемно-ориентированных систем прогнозирования техногенных чрезвычайных ситуаций остается перспективной областью научных исследований [10, 12, 16]. Базовым компонентом (ядром) таких систем является база знаний (БЗ), представленная на определенном языке представления знаний (ЯПЗ) [6]. Основную сложность при разработке БЗ представляет этап формализации (программная реализация) [3]. Эффективность данного процесса может быть повышена путем автоматической генерации кода БЗ на основе трансформации различных концептуальных моделей (например, диаграмм классов UML, концепт-карт и т.д.) [5, 8].

На сегодняшний день существует множество различных языков (стандартов) для представления концептуальных моделей предметной области (например, DFD, IDEF0, IDEF5, UML и т.д.), а также разрабатываются нотации для отражения специфических особенностей моделей представления знаний (например, RVML [15]). Графические (визуальные) нотации данных языков, прежде всего, ориентированы на системных аналитиков, программистов, инженеров по знаниям и т.д. Если говорить о специалистах той или иной предметной области (специалистов не в области проектирования программных систем), то они предпочитают модели, имеющие общесистемную направленность и ориентированные на систематизацию знаний или поддержку принятия решений (например, концептуальные карты, диаграммы Венна и Ишикавы, семантические модели [11] и т.д.). К

таким моделям можно отнести «деревья отказов» и «деревья событий», применяемые в области анализа отказов и риска технических систем (fault tree analysis, event tree analysis) [4]. Результаты моделирования в данных, можно сказать «предметных», нотациях, с одной стороны, содержат специальные знания, которые необходимо использовать для автоматизации решения предметных задач, с другой стороны, являются удобным и понятным для специалиста-предметника способом представления знаний.

Для построения деревьев событий и отказов существуют различные программные системы, выполняющие роль редакторов деревьев, а также осуществляющие расчеты на основе обработки данных деревьев (вероятность отказа, риск опасного события и др.), в частности:

- RELEX Windchill FTA (Relax Software Corporation) [22];
- Risk Spectrum (Relcon AB) [24];
- SAPHIRE (INEL) [26];
- RAM Commander ETA (A.L.D.Group) [21];
- Reliability Workbench incorporating FaultTree+ (ISOGRAPH) [23];
- ПК АСМ СЗМА (ОАО «СПИК СЗМА») [13] и др.

Результаты анализа данных редакторов деревьев позволяют выделить следующие их недостатки:

- отсутствие возможности синтеза программных кодов на основе построенных деревьев;
- отсутствие единого общепринятого формата (стандарта текстовой нотации) представления деревьев отказов и событий, при этом большинство из рассмотренных систем используют XML-подобные форматы, которые между собой не совместимы.

Принимая во внимание выделенные недостатки, можно сделать вывод о том, что данные системы не предполагают дальнейшее использование знаний, заключенных в созданных специалистами деревьях, и направлены на решение частных задач. Поэтому задача автоматизации синтеза кода БЗ на основе преобразования концептуальных «предметных» моделей и, в частности, деревьев отказов и событий, является актуальной.

Таким образом, целью данной работы является создание подхода к автоматизированной разработке продукционных БЗ на основе анализа деревьев событий, применяемых в области анализа отказов и риска технических систем. В качестве целевого ЯПЗ выбран CLIPS (C Language Integrated Production System) [17], как один из наиболее широко используемых языков и инструментальных сред для разработки продукционных экспертных систем благодаря своей скорости, эффективности и бесплатности.

Необходимо отметить, что задача анализа деревьев событий и их преобразования в БЗ, может быть сведена к задаче трансформации моделей. В общем случае трансформация моделей представляет собой процесс автоматической генерации целевой модели по исходной модели, в соответствии с набором правил трансформации (преобразования). При этом под правилом преобразования подразумевается описание того, как одна или более конструкций на исходном языке моделирования может быть преобразована (mapping) в одну или более конструкций на целевом языке моделирования [20].

Трансформация моделей является одной из основных составляющих модельно-ориентированного (модельно-управляемого) подхода к разработке программного обеспечения (Model-Driven Engineering, MDE) [18]. В рамках данного подхода, процесс разработки программного обеспечения представляет собой последовательное преобразование моделей с разным уровнем детализации, где на завершающем этапе генерируется исходный код программы.

Формализовать постановку задачи можно следующим образом: необходимо определить оператор преобразования концептуальной модели T :

$$T : CM^{ET} \to KB, \qquad (1)$$

где CM^{ET} – исходная концептуальная модель (дерево событий); KB – целевая БЗ, при этом $KB = \left\langle Code^{CLIPS} \right\rangle$.

Для решения поставленной задачи предлагается использовать ранее разработанную технологию [2] и ее реализацию в виде веб-ориентированной программной системы (Knowledge Base Development System, KBDS) [9]. Технология обеспечивает поддержку создания программных компонентов (модулей), предназначенных для трансформации исходных концептуальных моделей, представленных в формате XML, в код БЗ на целевом ЯПЗ (в частности, CLIPS).

1. Структура деревьев событий. Дерево событий (ДС) – алгоритм рассмотрения событий, исходящих от основного события (аварийной ситуации). ДС используется для определения и анализа последовательности (вариантов) развития аварии, включающей сложные взаимодействия между техническими системами обеспечения безопасности. При его построении используется прямая логика. В общем случае данный метод можно использовать и для анализа отказов, аварий и чрезвычайных ситуаций, где в качестве основного события рассматривается исходное состояние, т.е. состояние технического объекта в момент начала его эксплуатации.

Авторами предложено расширить существующую модель ДС и визуальную нотацию их представления для получения более полной информации об исследуемых процессах развития отказов и аварий [1]. В частности, на основании результатов системного анализа проблемы исследования динамики технического состояния механической системы выделены стадии развития обозначенных процессов (субмикроуровень, микроуровень, мезоуровень, макроуровень) и элементы их описания (механизм и кинетика). В свою очередь кинетика, рассматриваемая как последовательность событий, должна быть детализирована описанием параметров (характеристик) событий. В результате в обобщенном виде получен шаблон дерева, описывающий стадии, последовательность событий (кинетика) и механизмы их возникновения (рис. 1).

При отсутствии описаний элементов дерева, расширяющих классическую нотацию, мы получим общепринятое на данный момент дерево.

Особо необходимо сказать о механизме процесса (в предлагаемой визуальной нотации – это треугольник). Механизм процесса – это совокупность свойств объекта и факторов, воздействующих на него. Механизм может быть описан в виде продукции (правила) следующей структуры (шаблона правила) [1]:

ЕСЛИ (Свойство объекта$_1$ **И** ... **И** Свойство объекта$_n$) **И**

(Воздействующий фактор$_1$ **И** ... **И** Воздействующий фактор$_n$)

ТО Механизм *j*-стадии развития *i*-исследуемого процесса **И** (Событие$_1 \circ \ldots \circ$ Событие$_n$), где $\circ$ – некоторая логическая операция, $\circ \in \{\wedge, \vee, \oplus\}$.

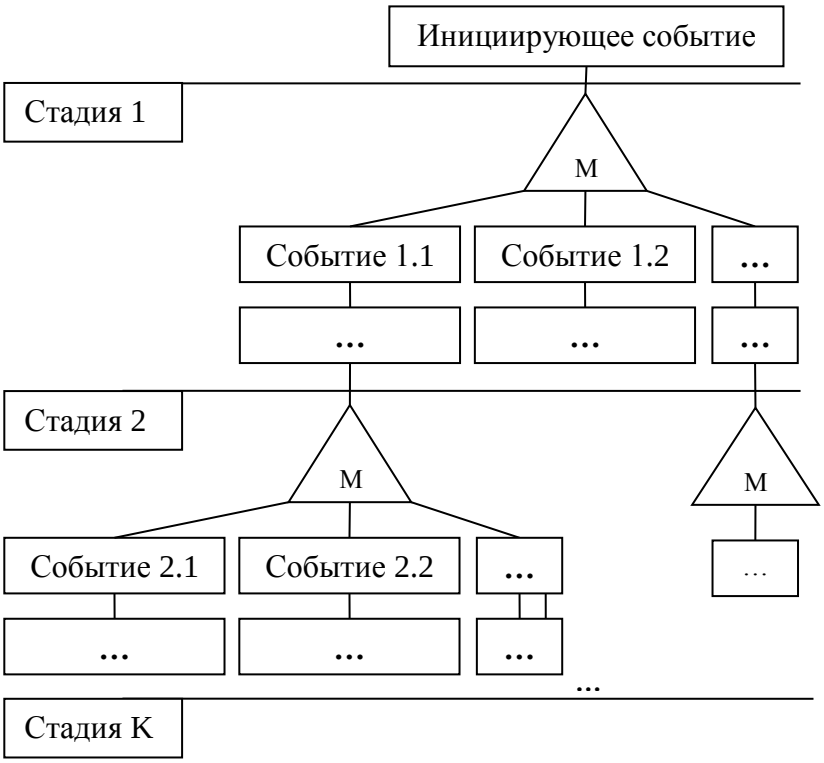

Рис. 1. Шаблон расширенной модели ДС

Метамодель (abstract syntax) расширенной модели ДС, определяющая в абстрактной форме основные концепты, из которых состоит ДС, представлена на рисунке 2. Построенная метамодель соответствует мета-метамодели Ecore [19] и в дальнейшем используется в качестве исходной метамодели при разработке правил трансформации (модели трансформации), описывающих соответствия между элементами данной метамодели и целевой метамодели БЗ.

На настоящее время не существует единого общепринятого формата (стандарта текстовой нотации) для представления ДС, пригодного для машинной обработки. Учитывая это, а также исходя из специфики расширения модели ДС дополнительными элементами (механизм и кинетика), принято решение о разработке собственного формата (спецификации) сериализации ДС на XML. Формат XML является универсальным и наиболее распространенным способом интеграции программных систем и обеспечения обмена информацией между приложениями.

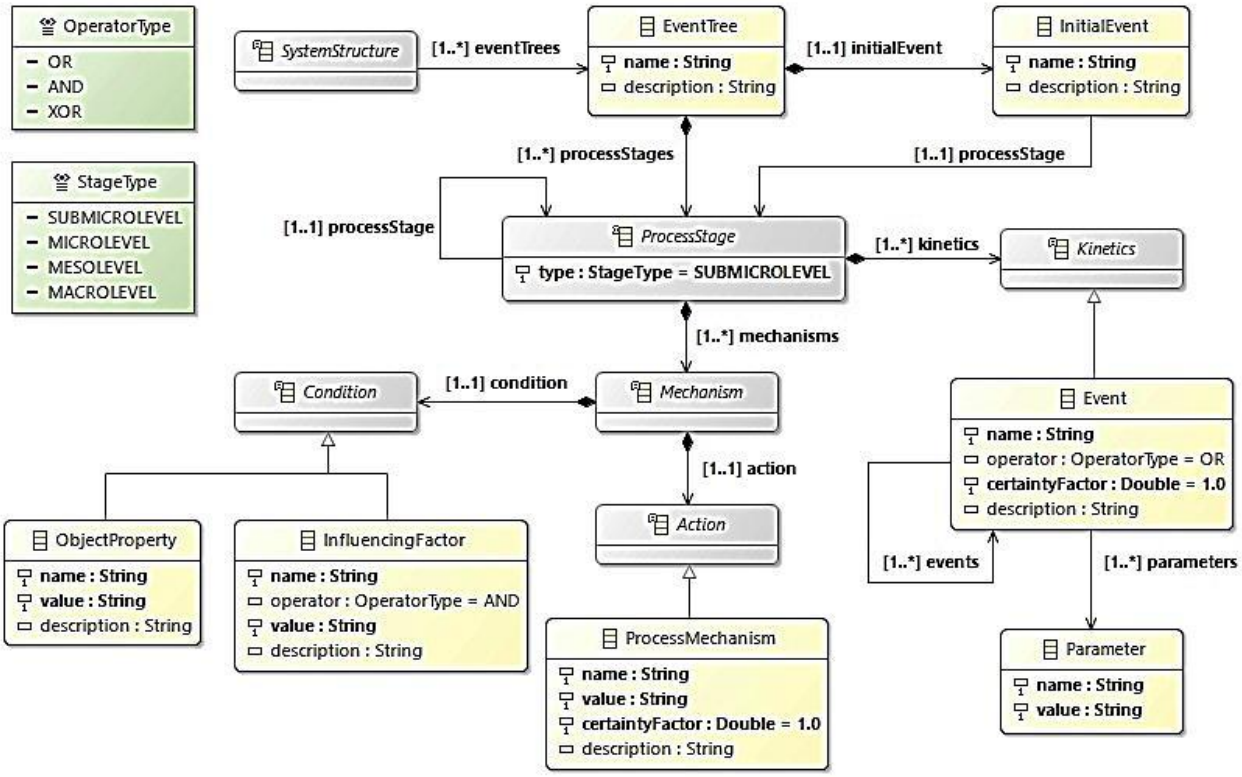

Рис. 2. Метамодель расширенной модели ДС

Описание разработанного XML-формата (concrete syntax) расширенной модели ДС, определяющее основные XML-конструкции, представлено в таблице 1.

Таблица 1. XML-формат представления расширенной модели ДС

Элементы XML-структуры ДС	Описание
System	Информация об исследуемом объекте, например, завод, линия, отделение, механическая система.
Component	Информация о структурной иерархии исследуемого объекта
Element	Информация о структурном элементе механической системы
EventTree	Общая информация о ДС
ProcessStage	Общая информация о стадии процесса
InitialEvent	Информация об инициирующем событии
Mechanism	Общая информация о механизме процесса
ObjectProperty	Информация о свойстве объекта (элемента системы)
InfluencingFactor	Информация о воздействующем факторе
ProcessMechanism	Информация о механизме стадии развития исследуемого процесса
Kinetics	Общая информация о кинетике
Event	Информация о конкретном событии
Parameter	Информация о параметрах события
Operator	Логический оператор: И, ИЛИ, исключающее ИЛИ

2. Алгоритм преобразования деревьев событий. Для решения поставленной задачи (1) специализируем обобщенный алгоритм трансформации концептуальных моделей в код БЗ, описанный в работе [8]. Основной задачей разработанного алгоритмического обеспечения является преобразование (mapping) элементов расширенной модели ДС, представленной в формате XML, в конструкции ЯПЗ CLIPS, что может быть представлено в виде последовательности действий (рис. 3).

На этапах 1 и 2 такого преобразования средствами внешних программ (редакторов), пользователь (эксперт) строит ДС, описывающее последовательность событий некоторой аварийной ситуации, и представляет (сохраняет) его в формате XML. На этапе 3 процесса анализа XML-структуры ДС выделяются элементы дерева и их отношения. Далее (этап 4) на их основе автоматически формируется (генерируется) модель продукций, как универсальное представление знаний в виде продукционных правил, независящее от используемого ЯПЗ (например, CLIPS, JESS, Drools, RuleML, SWRL и т.д.). Данная модель может содержать правила с несколькими условиями и разными типами операторов (например, «and», «or», «not»). Описание модели продукции приводится в [14]. При помощи специальной графической нотации – Rule Visual Modeling Language (RVML) [15, 25] предоставляется возможность визуализации, модификации (проверки) полученных продукций (этап 5). На этапе 6 происходит генерация кода БЗ в формате CLIPS на основе сформированной модели продукций.

Таким образом, уточним оператор преобразования концептуальной модели из (1):

$$T = \langle T_{CM-RM}, T_{RM-KB} \rangle, \qquad (2)$$

$$T_{CM-RM} : M_{XML}^{ET} \to M^{PR}, \; T_{RM-KB} : M^{PR} \to Code^{CLIPS}$$

где T_{CM-RM} – оператор преобразования ДС в модель продукций; T_{RM-KB} – оператор модели продукций в код БЗ на ЯПЗ CLIPS; M_{XML}^{ET} – представление расширенной модели ДС в XML-формате; M^{PR} – представление полученных знаний в виде модели продукций; $Code^{CLIPS}$ – код БЗ на ЯПЗ CLIPS.

3. Реализация алгоритма. Реализация разработанного алгоритмического обеспечения осуществлялась с использованием специализированной технологии автоматизации разработки программных компонентов интеллектуальных систем (систем, основанных на знаниях), обеспечивающих генерацию кода БЗ на основе трансформации концептуальных моделей [2] и соответствующего программного средства – Knowledge Base Development System (KBDS) [9].

В частности, разработан экспериментальный программный компонент для генерации модели продукций на основе трансформации ДС. Процесс разработки соответствует этапам создания программного компонента (алгоритму), описанным в [2]. Поэтому далее кратко приведем основные этапы создания данного программного компонента:

- создание нового проекта программного компонента;
- построение (генерация) метамодели, описывающая исходные ДС (рис. 2);
- создание модели трансформации, которая описывает соответствия (правила трансформации) между элементами исходной метамодели ДС и целевой

метамодели представления знаний (модель продукций), и привязывание ее к создаваемому программному компоненту;

- формирование правил трансформации с использованием редактора;
- генерация кода модели трансформации на предметно-ориентированном декларативном языке – TMRL (Transformation Model Representation Language) [2, 7];
- уточнение TMRL-кода модели трансформации (добавление сложных правил определения, отражающих, например, омонимию отношений между элементами исходной и целевой метамодели);
- финальная сборка (синтез) программного компонента (настройка типового программного компонента) на основе сгенерированной модели трансформации и выбранных блоках анализатора и генератора (в соответствии с выбранным типом программного компонента).

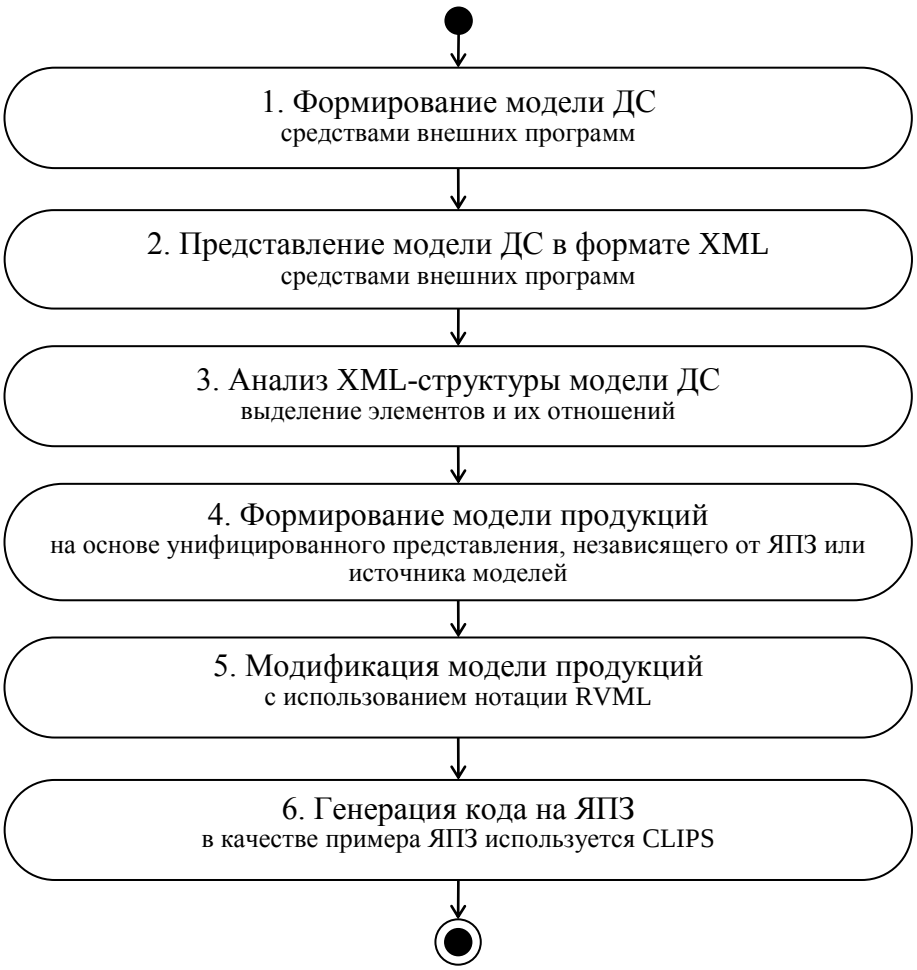

Рис. 3. Алгоритм синтеза кода БЗ на основе ДС

4. Пример формирования продукций на основе деревьев событий. Рассмотрим пример автоматизированного формирования продукций на примере фрагмента ДС, описывающего стадию повреждения деградационного процесса – коррозионная усталость фланцевого соединения (Ду 6) в трубопроводе обвязки компрессора (рис. 4).

Если деталь (материал (вид – сталь;
легированность – низколегированная;
технологическая наследственность – дефекты изготовления ИЛИ
повреждаемость поверхности вследствие воздействия агрессивной среды)))
И
воздействующий фактор (рабочая технологическая среда – активная; чередование свойств среды – да)
И
воздействующий фактор (механические нагрузки (вид – переменные; частота циклов - высокая (> 60 цикл/мин)))
ТО Механизм повреждения ДП – **Механизм повреждения «Коррозионная усталость»**

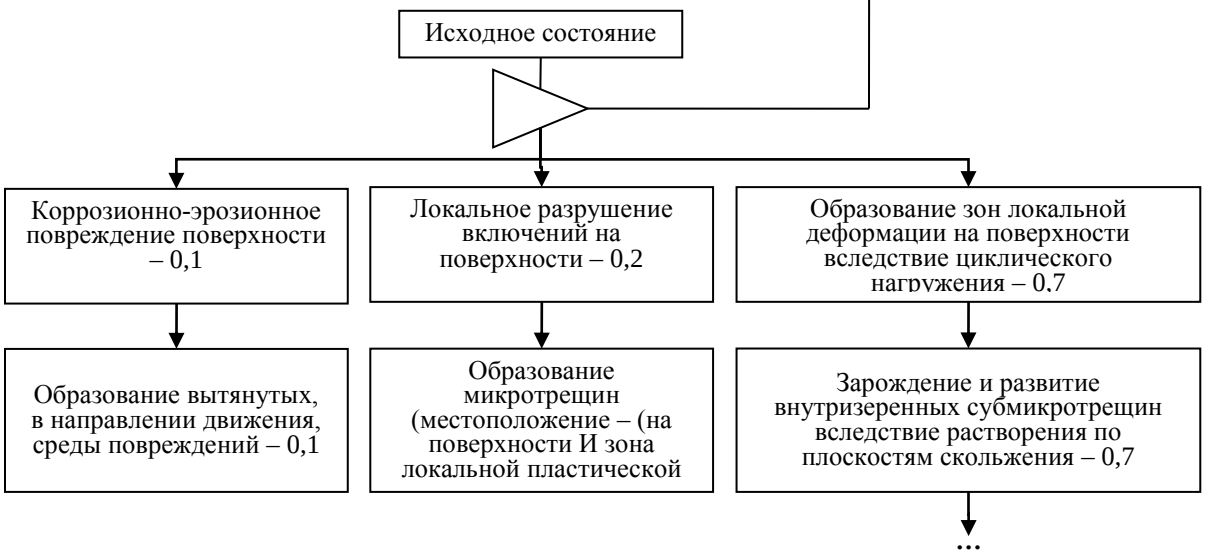

Рис. 4. Пример фрагмента ДС коррозионной усталости

Графическому представлению ДС (рис. 4) соответствует фрагмент XML-документа (листинг 1). При этом выделены ключевые конструкции (табл. 1), на основе которых осуществлялось извлечение необходимых элементов ДС.

Листинг 1. Фрагмент XML-кода дерева событий, описывающего формирование процесса коррозионной усталости

```
<EventTree id="ET-1" name="Дерево событий" element="ELM-1">
  <InitialEvent id="IE-1" name="Отказ фланцевого соединения Ду 6"/>
</EventTree>
<Mechanism id="MEC-1" name="Механизм повреждения" event="IE-1">
  <Operator id="OPR-1" name="AND">
    <ObjectProperty id="OP-1" name="Вид материала" value="сталь"/>
    <ObjectProperty id="OP-2" name="Легированность"
value="низколегированна сталь"/>
    <ObjectProperty id="OP-3" name="Технологическая наследственность"
value="дефекты изготовления ИЛИ повреждаемость поверхности вследствие
воздействия агрессивной среды"/>
    <InfluencingFactor id="IF-1" name="Рабочая технологическая среда"
value="активная"/>
    <InfluencingFactor id="IF-2" name="Вид механических нагрузок"
value="переменные"/>
    <InfluencingFactor id="IF-3" name="Частота циклов механических
нагрузок" value="высокая (> 60 цикл/мин)"/>
  </Operator>
  <ProcessMechanism id="PM-1" name="Коррозионная усталость"/>
```

```
      </Mechanism>
      <Kinetics id="KIN-1" name="Кинетика повреждения" mechanism="MEC-1">
        <Operator id="OPR-3" name="OR">
          <Event id="EVN-1" name="Коррозионно-эрозионное повреждение
поверхности" certainty-factor="0,1">
            <Event id="EVN-2" name="Образование вытянутых, в направлении
движения, среды повреждений" certainty-factor="0,1"/>
          </Event> …
        </Operator>
      </Kinetics>
```

На основе извлеченных элементов ДС сгенерирована модель продукций, которая может быть представлена в нотации RVML (рис. 5), для их дальнейшего уточнения и проверки.

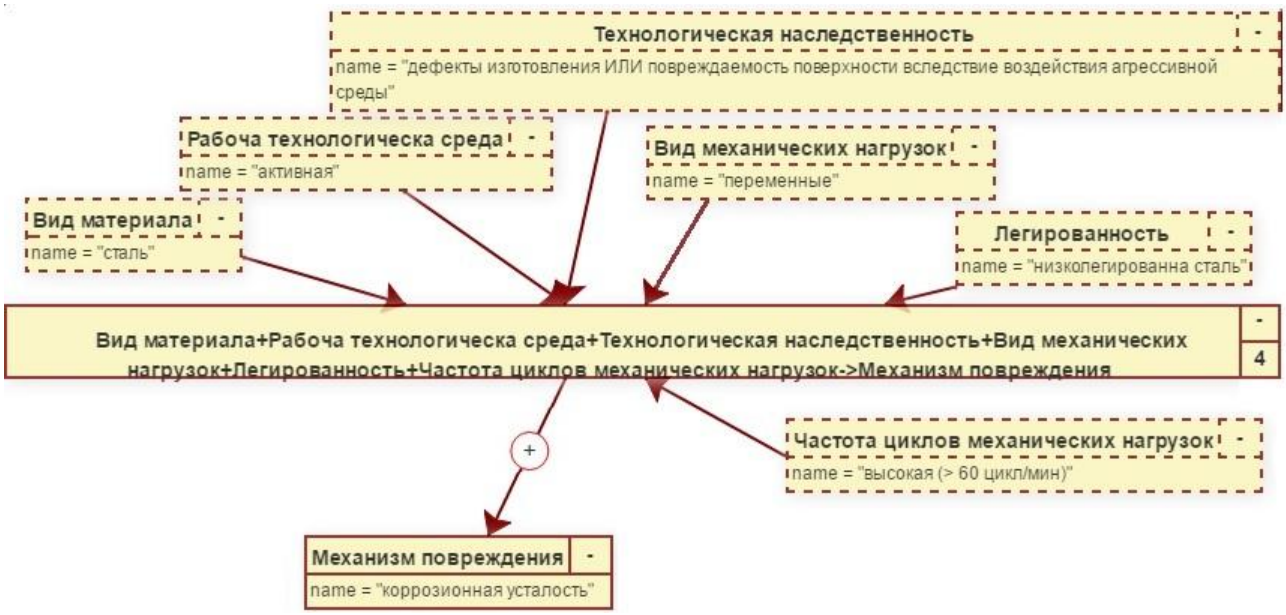

Рис. 5. Пример полученной продукции в нотации RVML

Далее приводится фрагмент листинга сгенерированного кода БЗ в формате CLIPS, на основе трансформации полученной модели продукций (листинг 2).

Листинг 2. Фрагмент CLIPS-кода БЗ, описывающего формирование процесса коррозионной усталости

```
(defrule Vid materiala+Rabocha tehnologicheska sreda+Tehnologicheskaya
nasledstvennost+Vid mehanicheskih nagruzok+Legirovannost+Chastota ciklov
mehanicheskih nagruzok->Mehanizm povrezhdeniya
    (declare (salience 4))
    (Vid materiala  (name "stal")  )
    (Rabocha tehnologicheska sreda  (name "aktivnaya")  )
    (Tehnologicheskaya nasledstvennost  (name "defekty izgotovleniya ILI
povrezhdaemost poverhnosti vsledstvie vozdeystviya agressivnoy sredy")  )
    (Vid mehanicheskih nagruzok  (name "peremennye")  )
    (Legirovannost  (name "nizkolegirovanna stal")  )
    (Chastota ciklov mehanicheskih nagruzok  (name "vysokaya (> 60
cikl/min)")  )
```

```
=>
  (assert
    (Mehanizm povrezhdeniya  (name "korrozionnaya ustalost")  ) ) )
```

Заключение. В настоящей работе предлагается подход к автоматизированной разработке продукционных БЗ для проблемно-ориентированных систем прогнозирования техногенных чрезвычайных ситуаций. Подход основан на анализе структурных элементов ДС, расширенных конструкциями механизма процесса и кинетики, и их преобразования в конструкции целевого ЯПЗ CLIPS. Такой подход позволяет, с одной стороны, избежать ошибок программирования на этапе формализации знаний за счет автоматической кодогенерации и сократить время, затрачиваемое на разработку БЗ, с другой – приблизить специалистов-предметников к непосредственной разработке интеллектуальных компонентов проблемно-ориентированных программных систем, позволяя им создавать программный код, оперируя понятными предметно-ориентированными моделями.

Разработанный подход реализован в виде экспериментального программного компонента (конвертера), который может быть использован в качестве автономного модуля в составе других программных (интеллектуальных) средств. Компонент разрабатывался с использованием специальной технологии [2] и средства (KBDS) [9].

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ (проекты № 15-07-05641, 16-37-00122) и Совета по грантам Президента Российской Федерации, государственная поддержка ведущих научных школ Российской Федерации (НШ-8081.2016.9).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Берман А.Ф., Николайчук О.А., Павлов Н.Ю., Юрин А.Ю. Методы и средства автоматизированного построения деревьев событий и отказов // Автоматизация и современные технологии. 2013. №9. С. 8–16.
2. Бычков И.В., Дородных Н.О., Юрин А.Ю. Подход к разработке программных компонентов для формирования баз знаний на основе концептуальных моделей // Вычислительные технологии. 2016. Т. 21. №4. С. 16–36.
3. Гаврилова Т.А., Кудрявцев Д.В., Муромцев Д.И. Инженерия знаний. Модели и методы. СПб.: Лань. 2016. 324 с.
4. ГОСТ Р 51901.5-2005. Менеджмент риска. Руководство по применению методов анализа надежности. М.: Стандартинформ, 2005. 101 с.
5. Грищенко М.А., Дородных Н.О., Николайчук О.А., Юрин А.Ю. Применение модельно-управляемого подхода для создания продукционных экспертных систем и баз знаний // Искусственный интеллект и принятие решений. 2016. №2. С. 16–29.
6. Джарратано Дж., Райли Г. Экспертные системы: принципы разработки и программирования, 4-е издание : пер. с англ. М.: Вильямс, 2007. 1152 с. [Giarratano J.C., Riley G.D. Expert Systems: Principles and Programming. 4th ed. Course Technology. 2004. 288 p.]

7. Дородных Н.О., Коршунов С.А., Юрин А.Ю. Концепция подхода к созданию программных компонентов генерации баз знаний на основе трансформации концептуальных моделей // Информационные и математические технологии в науке и управлении. 2016. №2. С. 111–120.
8. Дородных Н.О., Юрин А.Ю. Использование диаграмм классов UML для формирования продукционных баз знаний // Программная инженерия. 2015. №4. С. 3–9.
9. Дородных Н.О. Web-based software for automating development of knowledge bases on the basis of transformation of conceptual models // Материалы VII Международной научно-технической конференции OSTIS-2017. Минск: БГУИР. 2017. С. 145–150.
10. Массель Л.В., Массель А.Г. Интеллектуальные вычисления в исследованиях направлений развития энергетики // Известия Томского политехнического университета. 2012. Т.321. №5. С. 135–140.
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. Специальный выпуск. С. 37–44.
12. Ноженкова Л.Ф., Ничепорчук В.В., Ноженков А.И. Создание комплексной системы безопасности региона на основе системной интеграции технологий // Информатизация и связь. 2013. №2. С. 122–124.
13. Программный комплекс АСМ СЗМА (ПК АРБИТР). Режим доступа: http://www.szma.com/pkasm.shtml (дата обращения 16.02.2017).
14. Юрин А.Ю., Грищенко М.А. Редактор баз знаний в формате CLIPS // Программные продукты и системы. 2012. №4. С. 83–87.
15. Юрин А.Ю. Нотация для проектирования баз знаний продукционных экспертных систем // Объектные системы. 2016. №12. С. 48–54.
16. Berman A.F., Nikolaychuk O.A., Yurin A.Yu., Pavlov A.I. A methodology for the investigation of the reliability and safety of unique technical systems. Part O: Journal of Risk and Reliability. 2014. vol. 228. №1. Pp. 29–38.
17. CLIPS: A Tool for Building Expert Systems. Режим доступа: http://www.clipsrules.sourceforge.net (дата обращения 16.02.2017).
18. Cretu L.G., Florin D. Model-Driven Engineering of Information Systems: Principles, Techniques, and Practice. Apple Academic Press, 2014. 350 p.
19. Ecore structure description (Metamodelling Language). Режим доступа: http://download.eclipse.org/modeling/emf/emf/javadoc/2.9.0/org/eclipse/emf/ecore/package-summary.html (дата обращения 16.02.2017).
20. Kleppe A., Warmer J., Bast W. MDA Explained: The Model-Driven Architecture: Practice and Promise. 1st ed. Addison-Wesley Professional, 2003. 192 p.
21. RAM Commander ETA V8.5. Режим доступа: http://aldservice.com/Event-Tree-Analysis-ETA.html (дата обращения 16.02.2017).
22. RELEX Windchill FTA. Режим доступа: http://www.relexsoftware.it/ptc-windchill/windchill-fta (дата обращения 16.02.2017).

23. Reliability Workbench incorporating FaultTree+. Режим доступа: https://www.isograph.com/software/reliability-workbench/ (дата обращения 16.02.2017).
24. Risk Spectrum. Режим доступа: http://www.riskspectrum.com/en/risk (дата обращения 16.02.2017).
25. Rule Visual Modeling Language (RVML). Режим доступа: http://www.knowledge-core.ru/index.php?p=rvml (дата обращения 16.02.2017).
26. Systems Analysis Programs for Hands-on Integrated Reliability Evaluations (SAPHIRE). Режим доступа: https://saphire.inl.gov (дата обращения 16.02.2017).

UDK 004.89

AUTOMATED CREATION OF RULE-BASED KNOWLEDGE BASES ON THE BASIS OF EVENT TREES

Nikita O. Dorodnykh
Programmer, e-mail: tualatin32@mail.ru
Olga A. Nikolaychuk
Ph.D., e-mail: grey.for@gmail.com
Alexander Yu. Yurin
Ph.D., Head. Laboratory of Information technology for investigation of techno-genic safety, e-mail: iskander@icc.ru
Matrosov Institute for System Dynamics and Control Theory of Siberian Branch of Russian Academy of Sciences (ISDCT SB RAS), 134, Lermontov Str., 664033, Irkutsk, Russia

Abstract. The paper describes an approach for automated creation of rule-based knowledge bases on the basis of analysis of the author’s notation of event trees. The approach is based on the extraction of structural elements from the event trees and converting them to the target constructions of knowledge representation language, in particular, CLIPS. The description of main approach stages, the analyzed structures of event trees in the XML-format, and an example of transformation are considered.
Keywords: knowledge acquisition, knowledge bases, event trees, model transformation, code generation, CLIPS.

References

1. Berman A.F., Nikolaychuk O.A., Pavlov N.Y., Yurin A.Yu. Metody i sredstva avtomatizirovannogo postroenija derev'ev sobytij i otkazov [Methods and tools of computer-aided synthesis of event and failure trees] // Avtomatizacija i sovremennye tehnologii = Automation and modern technologies. 2013. №9. Pp. 8–16. (in Russian).
2. Bychkov I.V., Dorodnykh N.O., Yurin A.Yu. Podhod k razrabotke programmnyh komponentov dlja formirovanija baz znanij na osnove konceptual'nyh modelej [Approach to the development of software components for generation of knowledge bases based on conceptual models] // Vychislitel'nye tehnologii = Computational Technologies. 2016. Vol. 21. №4. Pp.16–36. (in Russian).

3. Gavrilova T.A., Kudryavtsev D.V., Muromtsev D.I. Inzhenerija znanij. Modeli i metody [Knowledge Engineering. Models and methods]. SPb.: Lan' = St. Petersburg: Lan. 2016. 324 p. (in Russian).
4. GOST R 51901.5-2005. Menedzhment riska. Rukovodstvo po primeneniju metodov analiza nadezhnosti [Risk management. Guidance on the application of reliability analysis methods]. Moskow. Standartinform = Standartinform Publ. 2005. 101 p. (in Russian).
5. Grishenko M.A., Dorodnykh N.O., Nikolaichuk O.A., Yurin A.Yu. Primenenie model'no-upravljaemogo podhoda dlja sozdanija produkcionnyh jekspertnyh sistem i baz znanij [Application of the model-driven development approach for designing rule-based expert systems and knowledge-bases] // Iskusstvennyj intellekt i prinjatie reshenij = Artificial intelligence and decision-making. 2016. №2. Pp. 16–29. (in Russian).
6. Giarratano J.C., Riley G.D. Expert Systems: Principles and Programming. 4th ed. Course Technology. 2004. 288 p.
7. Dorodnykh N.O., Korshunov S.A., Yurin A.Yu. Koncepcija podhoda k sozdaniju programmnyh komponentov generacii baz znanij na osnove transformacii konceptual'nyh modelej [The concept of an approach for development of software components of knowledge bases generation based on the transformation of conceptual models] // Informacionnye i matematicheskie tehnologii v nauke i upravlenii = Information and mathematical technologies in science and management. 2016. №2. Pp. 111–120. (in Russian).
8. Dorodnykh N.O., Yurin A.Yu. Ispol'zovanie diagramm klassov UML dlja formirovanija produkcionnyh baz znanij [Using UML Class Diagrams for Design of Knowledge Bases of Rule-Base Expert Systems] // Programmnaya inzheneriya = Software engineering. 2015. №4. Pp. 3–9. (in Russian).
9. Dorodnykh N.O. Web-based software for automating development of knowledge bases on the basis of transformation of conceptual models. Proceedings of the VII International scientific-technical conference OSTIS-2017. Minsk: BSUIR. 2017. Pp. 145–150. (in Russian).
10. Massel' L.V., Massel' A.G. Intellektual'nye vychislenija v issledovanijah napravlenij razvitija jenergetiki [Intellectual computations in researches of energy development directions] // Izvestija Tomskogo politehnicheskogo universiteta = Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. 2012. T.321. №5. Pp. 135–140 (in Ruaaian)
11. Mussel L.V., Mussel A.G. Tehnologii i instrumental'nye sredstva intellektual'noj podderzhki prinjatija reshenij v jekstremal'nyh situacijah v jenergetike [Technologies and tools of intellectual support of decision-making in extreme situations in power engineering] // Vychislitel'nye tehnologii = Computational Technologies. Special issue. 2013. Vol. 18. Pp. 37–44. (in Russian).
12. Nozhenkova L.F., Nicheporchuk V.V., Nozhenkova A.I. Sozdanie kompleksnoj sistemy bez-opasnosti regiona na osnove sistemnoj integracii tehnologij [Creating the comprehensive regional safety system based on system integration of technologies] // Informatizacija i svjaz' = Informatization and communication. 2013. №2. Pp. 122–124. (in Russian).
13. ASM SZMA (PC ARBITER). Available at: http://www.szma.com/pkasm.shtml, accessed 16.02.2017. (in Russian).

14. Yurin A.Yu., Grishenko M.A. Redaktor baz znanij v formate CLIPS [Knowledge Base Editor for CLIPS] // Programmnye produkty i sistemy = Software & Systems. 2102. №4. Pp. 83-87. (in Russian).
15. Yurin A.Yu. Notacija dlja proektirovanija baz znanij produkcionnyh jekspertnyh sistem [Notation for design of knowledge bases of rule-based expert systems]. Obektnye sistemy = Object System. 2016. №12. Pp. 48-54. (in Russian).
16. Berman A.F., Nikolaychuk O.A., Yurin A.Yu., Pavlov A.I. A methodology for the investigation of the reliability and safety of unique technical systems. Part O: Journal of Risk and Reliability. 2014. Vol. 228. №1. Pp. 29–38.
17. CLIPS: A Tool for Building Expert Systems. Available at: http://www.clipsrules.sourceforge.net, accessed 16.02.2017.
18. Cretu L.G., Florin D. Model-Driven Engineering of Information Systems: Principles, Techniques, and Practice. Apple Academic Press. 2014. 350 p.
19. Ecore structure description (Metamodelling Language). Available at: http://download.eclipse.org/modeling/emf/emf/javadoc/2.9.0/org/eclipse/emf/ecore/package-summary.html, accessed 16.02.2017.
20. Kleppe A., Warmer J., Bast W. MDA Explained: The Model-Driven Architecture: Practice and Promise. 1st ed. Addison-Wesley Professional, 2003. 192 p.
21. RAM Commander ETA V8.5. Available at: http://aldservice.com/Event-Tree-Analysis-ETA.html, accessed 16.02.2017.
22. RELEX Windchill FTA. Available at: http://www.relexsoftware.it/ptc-windchill/windchill-fta, accessed 16.02.2017.
23. Reliability Workbench incorporating FaultTree+. Available at: https://www.isograph.com/software/reliability-workbench/, accessed 16.02.2017.
24. Risk Spectrum. Режим доступа: http://www.riskspectrum.com/en/risk, accessed 16.02.2017.
25. Rule Visual Modeling Language (RVML). Available at: http://www.knowledge-core.ru/index.php?p=rvml, accessed 16.02.2017. (in Russian).
26. Systems Analysis Programs for Hands-on Integrated Reliability Evaluations (SAPHIRE). Available at: https://saphire.inl.gov, accessed 16.02.2017.

УДК 004.738.5

КОПРОРАТИВНЫЙ ПОРТАЛ СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РАН: МОДЕЛЬ, АНАЛИТИКА, ВЕБОМЕТРИКА

Клименко Ольга Анатольевна
К.ф.-м.н., с.н.с., Институт вычислительных технологий СО РАН,
630090 г. Новосибирск, пр. Лаврентьева 6, e-mail: klimenko@ict.nsc.ru
Рычкова Елена Владимировна
К.ф.-м.н., доцент, н.с., Институт вычислительных технологий СО РАН,
630090 г. Новосибирск, пр. Лаврентьева 6, e-mail: helen@ict.nsc.ru
Новосибирский государственный университет
Шабальников Игорь Владимирович
Ведущий специалист, Институт вычислительных технологий СО РАН,
630090 г. Новосибирск, пр. Лаврентьева 6, e-mail: shabalnikov@ict.sbras.ru

Аннотация. В статье представлена информационная модель корпоративного портала Сибирского отделения Российской академии наук (СО РАН) www.sbras.ru. При построении информационной модели учитывалась связь между различными научными дисциплинами, междисциплинарность исследований, которые велись в Сибирском отделении РАН. Для Портала СО РАН была использована свободно распространяемая система управления контентом с открытым кодом на платформе Drupal.
Ключевые слова: Вебометрика, информационная модель.

Введение. Первая версия Портала СО РАН была создана под руководством А.М. Федотова в 1997 году. Версия была разработана на языке PHP и позволяла организовывать доступ к документам, новостям, публикациям и др. материалам (рис. 1).

К 2005 году были созданы новые информационные системы, которые располагались на нескольких серверах и использовали различное программное обеспечение. Была проведена интеграция систем без перехода на новую техническую платформу. В таком виде Портал СО РАН просуществовал до 2016 года без принципиальных переделок (рис. 2).

В декабре 2016 года начала функционировать новая версия Портала СО РАН (рис. 3), в которой предусмотрена возможность комфортного просмотра информации не только на компьютере, но и на экране смартфона.

1. Исследование веб-пространства СО РАН. В Институте вычислительных технологий СО РАН с 2008 г. под руководством академика Ю.И. Шокина ведутся исследования академического веб-пространства. Под академическим веб-пространством (англ. academic web space) понимается множество сайтов университетов, институтов, научных центров, объединенных в сообщество гиперссылками. Исследование веб-пространства началось с построения рейтинга сайтов институтов СО РАН [5]. Первую пятерку в этом рейтинге заняли: Портал СО РАН, сайты ИВТ СО РАН, ИЯФ СО РАН, ИЦиГ СО РАН и ГПНТБ СО РАН. Рейтинг строился на основе вебометрических исследований.

Исследование веб-пространства СО РАН выявило, что существуют сильные междисциплинарные связи между сайтами институтов. Например, институты физико-математической, химико-биологической направленности образуют пересекающиеся кластеры в веб-пространстве [1, 4]. Портал СО РАН является центром веб-пространства СО РАН, имеет высокие вебометрические показатели [3]. По данным международного рейтинга Webometrics (webometrics.info) Портал СО РАН является самым авторитетным среди сайтов научных центров и институтов в РФ и занимает 54 место в мировом рейтинге, в который входит более 7000 сайтов научных организаций.

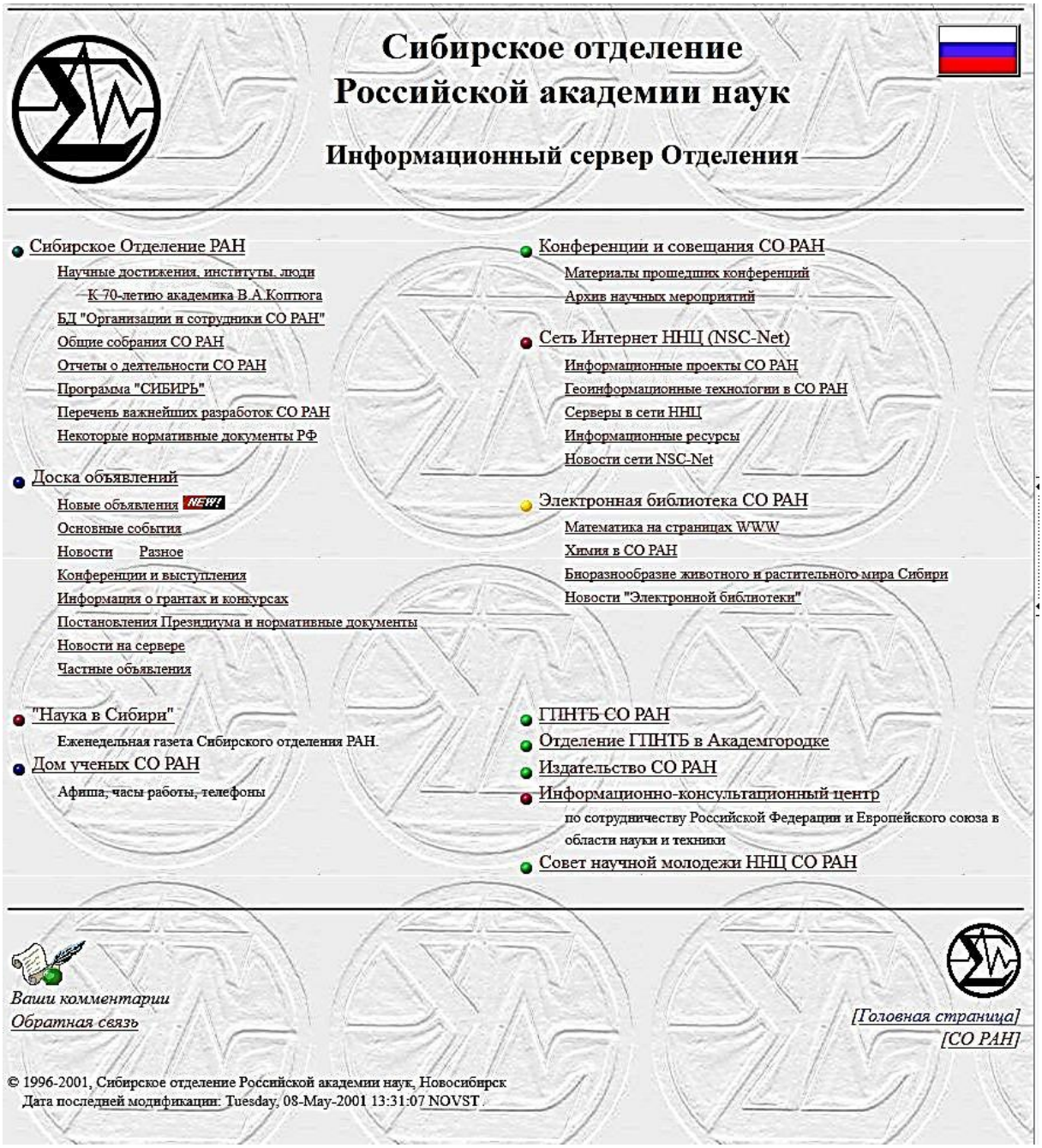

Рис. 1. Входная страница Портала СО РАН, 2001 год

Рис. 2. Входная страница Портала СО РАН, 2015 год

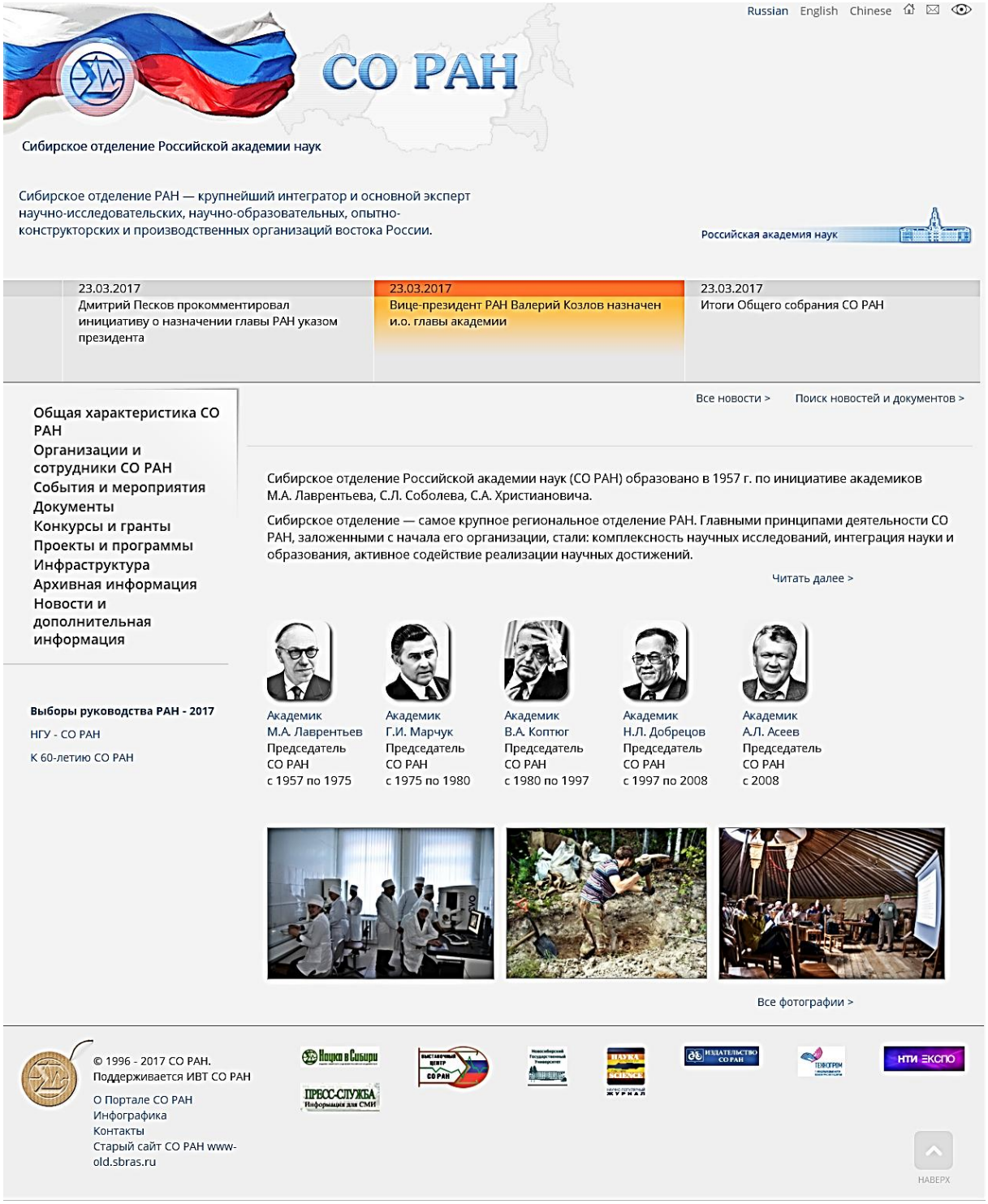

Рис. 3. Входная страница Портала СО РАН, март 2017 года

2. Информационная модель. При построении информационной модели необходимо было отразить систему интеграции институтов. Для этого вся информация, которая поступает и хранится на Портале СО РАН, связывается с направлениями исследований, в виде указания категории (тематики).

Основа информационной модели — это документы. Документ может быть новостью или событием. Документам и научно-исследовательским организациям на Портале СО РАН присвоены цвета, связанные с предметной областью, что, в частности, отображается в виде

фона новости на главной странице Портала СО РАН (см. рис. 3). Каждый документ может быть связан не более чем с двумя предметными областями. Соответственно, есть возможность поиска документов не только по кодам рубрикатора документов и классификационным признакам, но и по категории (тематике) новости, выбрав требуемый цвет (рис. 4).

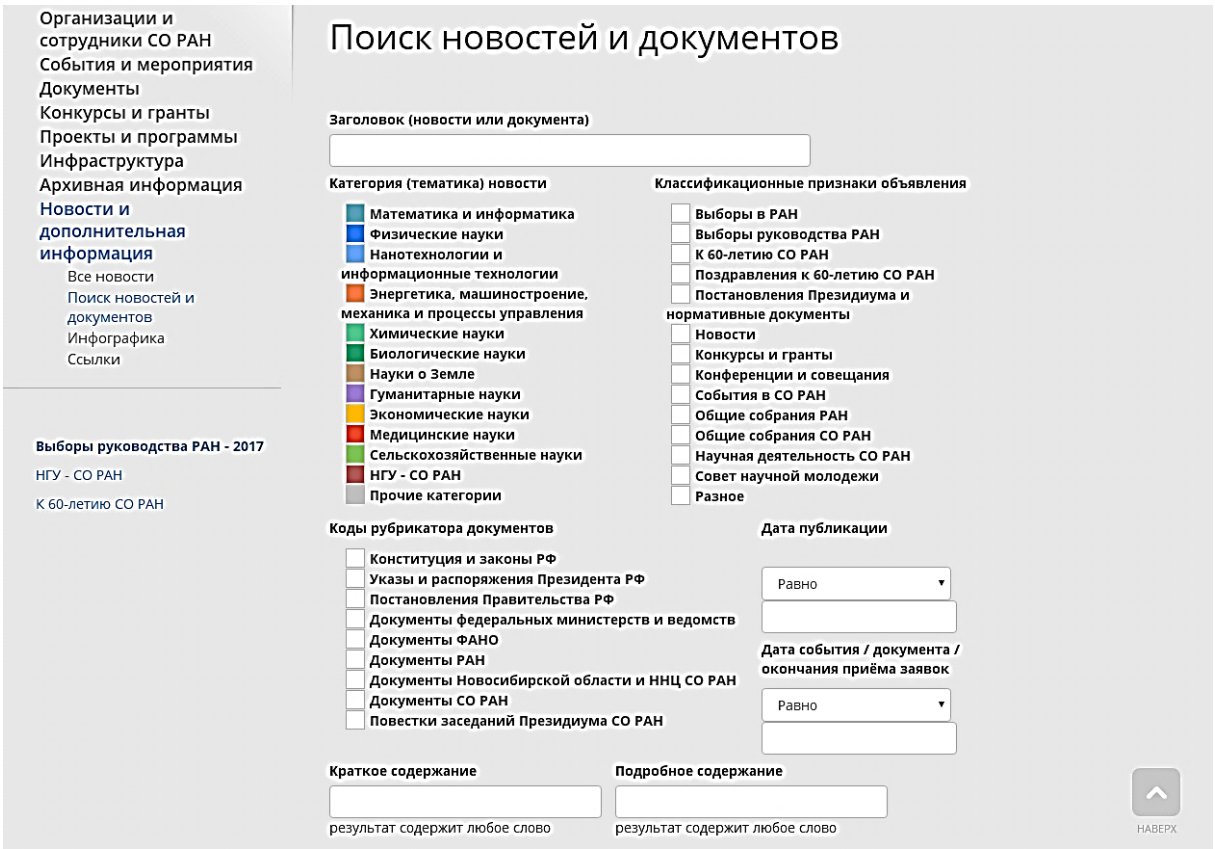

Рис. 4. Страница поиска новостей и документов на Портале СО РАН

Раздел Портала СО РАН «Организации и сотрудники СО РАН» представляет собой взаимосвязанные записи различных типов, таких как, «Организации», «Персоны», «Должности», «Назначения на должность» и др. Связь организаций и предметных областей определяется принадлежностью организации Объединенному ученому совету СО РАН по направлению наук (ОУСу). В Сибирском отделении существует 11 ОУСов.

3. Техническая реализация. Необходимо было решить задачу корректного отображения страниц сайта в браузерах на мобильных устройствах. Для реализации информационной модели была выбрана свободно распространяемая система управления контентом с открытым кодом на платформе Drupal [2]. Текущая версия сайта создана на версии Drupal 7 и СУБД PostgreSQL 9. Функциональность платформы может быть значительно расширена с помощью дополнительных модулей, созданных сообществом сторонних разработчиков Drupal.

4. Аналитика. Анализ посещаемости Портала СО РАН осуществляется с помощью систем «Google Analytics» и «Яндекс.Метрика». В частности, статистические данные Google Analytics за неделю, с 13 марта по 19 марта 2017 г., оказались следующими: всего посещений 4888, пользователей 2364, причем 69 % пользователей уже ранее посещали сайт, а 31 % — новые пользователи. В среднем за сеанс пользователи просматривают 3 страницы.

Большая часть посещений из России — 92 %, из США — 1.7 %. Посещений из таких стран как Израиль, Франция, Германия, Англия, Украина, Индия, Казахстан, Белоруссия — около 1 %. По городам (для первых десяти) статистика такова (округлено до целого числа): Новосибирск — 51 %, Москва — 7 %, Красноярск — 5 %, Иркутск — 4 %, Томск — 4 %, Якутск — 3 %, Улан-Удэ — 3 %, Санкт-Петербург — 2 %, Омск — 1 %, Барнаул — 1 %.

87.13 % посетители Портала СО РАН используют операционную систему Windows. Остальные операционные системы распределены среди посетителей так: iOS — 4.58 %, Android — 3.93 %, Macintosh — 2.82%, Linux — 1%. Таким образом, количество посещений, совершенных с мобильных устройств, (iOS 4.58% + Android 3.93%) составляет 8.51 %.

Помимо главной страницы сайта, наибольшей популярностью пользуются страницы «Новости СО РАН» (http://www.sbras.ru/ru/news/) — 6 % от общего количества просмотренных страниц и «Организации и сотрудники СО РАН — Сводная информация» (http://www.sbras.ru/ru/sbras/db) — 2 % просмотров. Данные посещаемости показали большой интерес пользователей к странице «Выборы руководства РАН–2017» (http://www.sbras.ru/ru/news/events/leaders), так, 20 марта 2017 года страница была просмотрена около 4000 раз.

Заключение. Авторы выражают благодарность М.Я. Филипповой за большой вклад в разработку системы управления Порталом СО РАН на основе свободно распространяемой системе управления контентом с открытым кодом Drupal.

Исследование выполнено при поддержке гранта ведущих научных школ НШ-7214.2016.9.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Клименко О.А. Модели представления академического веб-пространства // Информационные и математические технологии в науке и управлении. 2016. № 2. С. 103-110. - ISSN 2413-0133.
2. Ромашов В. CMS Drupal: система управления содержимым сайта. СПб. «Питер». 2009. 256 с.
3. Шокин Ю. И., Веснин А. Ю., Добрынин А. А., Клименко О. А., Рычкова Е. В. Анализ веб-пространства академических сообществ методами вебометрики и теории графов // Информационные технологии. 2014. № 12. С. 31-40.
4. Шокин Ю.И., Веснин А.Ю., Добрынин А.А., Клименко О.А., Рычкова Е.В., Петров И.С. Исследование научного веб-пространства Сибирского отделения Российской академии наук // Вычислительные технологии. 2012. Т. 17. № 6. С. 85-98.
5. Шокин Ю.И., Клименко О.А., Рычкова Е.В., Шабальников И.В. Рейтинг сайтов научных организаций СО РАН // Вычислительные технологии. 2008. Т. 13. № 3. С. 128-135.

UDK 004.738.5

CORPORATE PORTAL OF THE SIBERIAN BRANCH OF THE RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES: MODEL, ANALYTICS, WEBOMETRICS

Olga A. Klimenko
Ph.D., Institute of Computational Technologies SB RAS,
630090 Novosibirsk, Lavrentiev avenue 6, e-mail: klimenko@ict.nsc.ru
Elena V. Rychkova
Ph.D., associate professor. Institute of Computational Technologies SB RAS,
630090 Novosibirsk, Lavrentiev avenue 6, e-mail: helen@ict.nsc.ru
Novosibirsk State University
Igor V. Shabalnikov
Leading Specialist, Institute of Computational Technologies SB RAS,
630090 Novosibirsk, Lavrentiev avenue 6, e-mail: shabalnikov@ict.sbras.ru

Abstract. The information model of the corporate portal of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (SB RAS) www.sbras.ru is presented in the article. Interdisciplinary research was conducted in the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences and connections were established between various scientific disciplines. This was taken into account when creating an information model. A freely available open source content management system on the Drupal platform was used for the SB RAS Portal.

Keywords: Webometrics, information model.

References

1. Klimenko O.A. Modeli predstavlenija akademicheskogo veb-prostranstva [the models of academic web space representation] // Informacionnye i matematicheskie tehnologii v nauke i upravlenii = Information and mathematical technologies in science and management. 2016. № 2. Pp. 103-110. - ISSN 2413-0133 (in Russian).
2. Romashov V. CMS Drupal: sistema upravleniya soderzhimym sayta [CMS Drupal: content management system]. SPb. «Piter» = St. Petersburg. "Peter". 2009. 256 p. (in Russian).
3. Shokin Ju. I., Vesnin A. Ju., Dobrynin A. A., Klimenko O. A., Rychkova E. V. Analiz veb-prostranstva akademicheskih soobshhestv metodami vebometriki i teorii grafov [Analysis of academic communities web space using Webometrics and Graph Theory] // Informacionnye tehnologii = Information technologies. 2014. № 12. Pp. 31-40 (in Russian).
4. Shokin Ju.I., Vesnin A.Ju., Dobrynin A.A., Klimenko O.A., Rychkova E.V., Petrov I.S. Issledovanie nauchnogo veb-prostranstva Sibirskogo otdelenija Rossijskoj akademii nauk [Research of the scientific web space of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences] // Vychislitel'nye tehnologii = Computational technologies. 2012. T. 17. № 6. Pp. 85-98 (in Russian).
5. Shokin Ju.I., Klimenko O.A., Rychkova E.V., Shabal'nikov I.V. Rejting sajtov nauch-nyh organizacij SO RAN [Rating of sites of scientific organizations of the SB RAS] // Vychislitel'nye tehnologii = Computational technologies. 2008. T. 13. № 3. Pp. 128-135 (in Russian).

УДК 681.5

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СХЕМ НА ОСНОВЕ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОЙ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ САПР С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ФУНКЦИИ РАСПАРАЛЛЕЛИВАНИЯ ВЫЧИСЛЕНИЙ

Александров Антон Владимирович
Инженер II категории, e-mail: dc@vniia.ru
Бенеш Павел Борисович
Главный специалист, e-mail: dc@vniia.ru
Малышев Александр Анатольевич
Начальник научно-исследовательского отдела, e-mail: dc@vniia.ru
Отставнова Валерия Алексеевна
Инженер II категории, e-mail: dc@vniia.ru
ФГУП «ВНИИА им. Н.Л. Духова» 127055, г. Москва, ул. Сущевская, 22

Аннотация. В статье представлены результаты исследования процессов моделирования аналоговых электрических схем в отечественной специализированной САПР радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) с помощью различных типов анализа. Данная САПР позволяет выполнять распараллеливание рассмотренных видов анализа и, таким образом, ускорять процесс проведения моделирования.

Ключевые слова: моделирование, САПР «Симика», SPICE-модель.

Введение. Для разработки электронных изделий в настоящее время используются системы автоматизированного проектирования (САПР). Одним из ключевых инструментов в САПР являются программные модули моделирования. Использование моделирования работы схем позволяет существенно ускорить процесс разработки электронных изделий, находить и исправлять ошибки при проектировании схем до их физического изготовления, и таким образом, повысить качество проектирования.

Единственной отечественной САПР, в состав которой входит программный модуль для проведения схемотехнического моделирования, отвечающей современному уровню развития математического, алгоритмического и программного обеспечения, является САПР «Симика» (Москва, Зеленоград).

В статье рассмотрены исследования процессов распараллеливания при проведении математического моделирования аналоговых электрических схем в специализированной отечественной САПР «Симика» для следующих типов анализа:

1. Схемотехническое моделирование во временной области.
2. Схемотехническое моделирование при многопараметрическом анализе.
3. Схемотехническое моделирование при анализе электрической схемы по методу Монте-Карло.

Схемотехническое моделирование во временной области. Схемотехническое моделирование электронных изделий во временной области сводится к решению системы нелинейных дифференциальных уравнений.

В общем случае эта задача относится к классу сильно связанных (система нелинейных дифференциальных уравнений решается в едином итерационном цикле), а поэтому плохо распараллеливается.

В программе моделирования SymSPICE [5, 6], входящей в состав специализированной отечественной САПР «Симика», удалось разработать специальные математические алгоритмы, которые позволяют разрешить эту проблему для довольно широкого круга аналого-цифровых схем [1]. Следует отметить, что на каждом шаге интегрирования по времени локально решаются задачи заполнения матрицы, состоящей из частных производных, с последующим решением системы линейных алгебраических уравнений, вычисления которой хорошо распараллеливаются. Что касается плохо распараллеливаемой части вычислительного процесса, то при переходе от текущей точки по времени к следующей, в САПР «Симика» используется учет латентности схемы. Так, например, когда на вход подается воздействие (электрический импульс), то в первый момент времени переключаются только транзисторы первых каскадов, которые непосредственно подключены к входному электроду. Состояние остальных элементов схемы не меняется, т.е. остается скрытым (латентным). Дальнейший процесс прохождения сигнала от входа на выход напоминает процесс движения волны. Каскады элементов, стоящие друг за другом то становятся активными, то переходят в латентное состояние. Следовательно, такая схема может быть динамически разбита на подсхемы, состоящие только из активных элементов для данного момента интегрирования по времени, и уже эти подсхемы по отдельности могут быть рассчитаны на отдельных вычислительных ядрах с применением оптимальных математических методов для каждого фрагмента электрической схемы.

Такое разбиение на подсхемы эффективно только для сложных схем, содержащих сотни и тысячи элементов типа транзистор. В небольших схемах, состоящих из десятков транзисторов, выделение подсхем, состоящих из латентных и активных элементов, малоэффективно.

В таблице 1 приведены сравнительные результаты по времени моделирования схем, содержащих различное количество транзисторов на одном и четырех вычислительных ядрах, с использованием программы моделирования SymSpice из САПР «Симика». Эффективность распараллеливания за счет увеличения количества ядер от 1 до 4 повышается примерно в 2,5 раза.

Таблица 1. Сравнительные результаты времени моделирования.

Количество ядер	Тестовые схемы		
	Схема вторичного источника питания	Схема кварцевого автогенератора	Схема с трансформаторной гальванической развязкой
4 ядра	7,56 минут	5,37 минут	6,65 минут
1 ядро	23,54 минут	11,27 минут	19,53 минут

Ограничивающими факторами при проведении схемотехнического моделирования во временной области являются:

1. Невозможность разбить систему нелинейных дифференциальных уравнений на одинаковые фрагменты. В одних фрагментах количество уравнений будет большим, в других

- меньшим. Таким образом, часть фрагментов системы нелинейных уравнений будет рассчитана чуть раньше, другая чуть позже.

2. Необходимость обмена информацией между ядрами вычислительной машины. После того, как все фрагменты системы нелинейных дифференциальных уравнений рассчитаны, полученные значения переменных должны быть переданы соседним фрагментам, которые рассчитывались на других ядрах. При большом количестве ядер обмен информацией между ними занимает большое количество времени.

Схемотехническое моделирование при многопараметрическом анализе. Примером использования многопараметрического анализа может служить проведение моделирования схемы при различных значениях температуры окружающей среды в диапазоне изменений питающих напряжений. В этом случае мы имеем одну электрическую схему, у которой перед запуском в задании на моделирование должны быть выставлены конкретные значения температуры и напряжения питания [1, 4]. Задание на моделирование - это текстовый файл, в котором перечислены имена и значения переменных. Таким образом, для каждого запуска создается отдельный файл «задание на моделирование». В случае, когда надо определить работоспособность схемы при 2-х переменных (температура и напряжение питания), а каждая переменная имеет только 3 значения - минимальное, номинальное и максимальное, то таких файлов, и, соответственно, запусков на моделирование будет 9.

Подготовив множество заданий на моделирование, каждый расчет схемы можно запустить на отдельном вычислительном ядре, а затем собрать и обработать полученную информацию в виде графиков. В этом случае сам процесс моделирования не имеет принципиальных ограничений на распараллеливание. Ограничением является необходимость предварительной подготовки сразу большого количества заданий на моделирование и последующая обработка (как правило, графическая) массива полученных данных. САПР «Симика» позволяет организовать как сами вычисления на многоядерных процессорах, так и последующую обработку полученной информации в виде различных графиков. Данный пример проиллюстрирован на рисунке 1.

В таблице 2 приведены сравнительные результаты времени моделирования небольших схем при многопараметрическом анализе.

Таблица 2. Сравнительные результаты времени моделирования

Количество ядер	Тестовые схемы		
	Схема вторичного источника питания	Схема кварцевого автогенератора	Схема с трансформаторной гальванической развязкой
4 ядра	3,26 минут	1,58 минут	4,38 минут
1 ядро	8,53 минут	4,35 минут	12,41 минут

Эффективность схемотехнического моделирования при многопараметрическом анализе за счет увеличения количества ядер от 1 до 4 возрастает примерно в 2,6 раза.

Для схем, время моделирования которых больше, чем время, затрачиваемое на подготовку задания на моделирование и обработку полученных результатов, эффективность распараллеливания будет заметно выше.

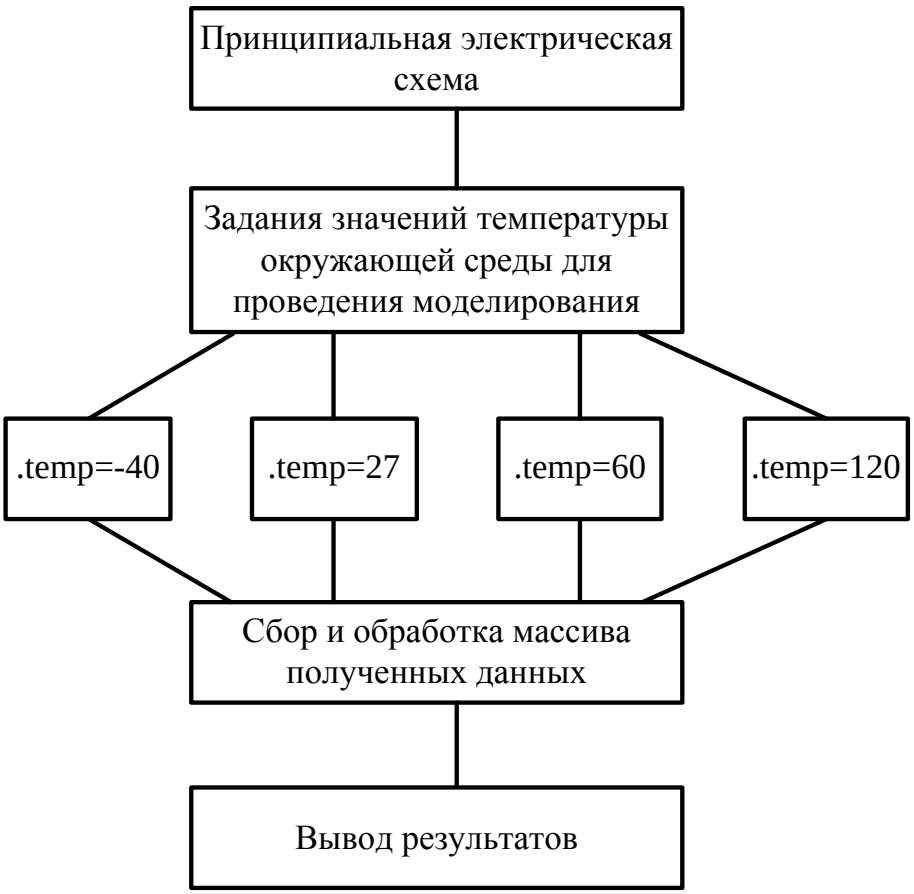

Рис. 1. Организация вычислительного процесса при многопараметрическом анализе.

Схемотехническое моделирование при анализе электрической схемы по методу Монте-Карло. Схемотехническое моделирование по методу Монте-Карло часто используется, когда необходимо проанализировать поведение электрической схемы при разбросе тех или иных параметров. Так, например, известно, что пороговое напряжение и крутизна МДП-транзисторов зависят от уровня накопленной дозы излучения. Важно отметить, что эти изменения связаны с режимом работы транзистора. Поскольку в схеме, как правило, транзисторы работают в разных режимах, то соответственно и параметры (в нашем примере пороговое напряжение и крутизна), у разных транзисторов с накопленной дозой уходят по-разному. Дополнительно к этому существует технологический разброс параметров транзисторов, вызванный объективным несовершенством технологических процессов [1 - 4].

Процесс моделирования схемы по методу Монте-Карло алгоритмически очень похож на многопараметрический анализ – рисунок 1. На первом этапе для одной и той же схемы создаются различные наборы параметров элементов в схеме. Изменение значений параметров описывается выбранным законом распределения. Подготовленные описания схемы могут быть параллельно промоделированы на различных вычислительных ядрах, затем полученная информация будет собрана, обработана и представлена в графическом виде.

В таблице 3 приведены сравнительные результаты времени моделирования небольших схем при анализе по методу Монте-Карло.

Таблица 3. Сравнительные результаты времени моделирования по методу Монте-Карло

Количество ядер	Тестовые схемы		
	Схема вторичного источника питания	Схема кварцевого автогенератора	Схема с трансформаторной гальванической развязкой
4 ядра	3,07 минут	2,39 минут	3,59 минут
1 ядро	7,55 минут	5,49 минут	9,56 минут

Эффективность схемотехнического моделирования по методу Монте-Карло за счет увеличения количества ядер от 1 до 4 возрастает примерно в 2,5 раза.

Заключение. Использование многопроцессорных и многоядерных вычислительных систем для задач моделирования принципиальных электрических схем эффективно только при использовании специализированной САПР, которая позволяет распараллеливать процесс вычислений.

Алгоритмы, используемые в программе схемотехнического моделирования SymSpice из САПР «Симика», позволяют кратно сокращать время моделирования схемы, как при многопараметрическом анализе, так и анализе по методу Монте-Карло.

Для дальнейшего совершенствования математического алгоритмического и программного обеспечения для схемотехнического моделирования с целью повышения эффективности использования многопроцессорных и суперкомпьютерных технологий требуется проведение дополнительных комплексных исследований. Эти исследования должны дать ответы как на вопросы, связанные с настройкой уже существующих алгоритмов в САПР РЭА на конкретные архитектурные решения, применяемые в суперкомпьютерах и компьютерных сетях, так и способствовать разработке новых подходов к распараллеливанию задачи решения систем нелинейных дифференциальных уравнений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Чуа Л.О., Пен-Мин Лин. Машинный анализ электронных схем: алгоритмы и вычислительные методы / Пер. с англ. под ред. Ильина В.Н. М. Энергия. 1980. 638 с.
2. J.E. Dennis, Jr. and Robert B. Schnabel. Numerical Methods for Unconstrained Optimization and Nonlinear Equations / Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall. 1983. 378 p. ISBN 0-89871-364-1.
3. Kalaba R., Tesfatsion L. Solving Nonlinear Equations by Adaptive Homotopy Continuation / Applied Mathematics and Computation, January 1991. Vol. 41. No. 2: Part II. Pp. 99-115.
4. Roychowdhury J.S., Melville R.C. Homotopy techniques for obtaining a DC Solution of large-scale MOS Circuits / Proceedings of the DAC 1996, 33rd, -Jun, -1996. LasVegas NV. Pp. 286 - 291
5. SymProbe User guide product version 2.xx
6. SymSpice User guide product version 2.xx

UDK 681.5

MATHEMATICAL MODELING OF ELECTRICAL CIRCUITS IN RUSSIAN SPECIALIZED CAD WITH PARALLELING FUNCTION

Anton V. Aleksandrov
Engineer II category, e-mail: dc@vniia.ru
Pavel B. Benesh
Head specialist, e-mail: dc@vniia.ru
Aleksander A. Malushev
Head of a department, e-mail: dc@vniia.ru
Valeriya A. Otstavnova
Engineer II category, e-mail: dc@vniia.ru
VSUE VNIIA 127055, Moscow, Suchevskaya st., 22

Abstract. In this work we take research of modeling process in analog electrical circuits in Russian specializing CAD with different types of analysis. This CAD allows us to implement the parallelization of the considered types of analysis and also to provide the higher speed of modeling process.
Keywords: modeling, CAD «Symica», SPICE-model.

References

1. L.O., Chua, Pen-Min Lin. Mashinnyy analiz elektronnykh skhem: algoritmy i vychislitel'nyye metody [Machine analysis of algorithm and computational methods of electronic circuits] Moscow. Energiya = Energy. 1980. 638 p. (in Russian)
2. J.E. Dennis, Jr. and Robert B. Schnabel. Numerical Methods for Unconstrained Optimization and Nonlinear Equations / Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall. 1983. 378 p. ISBN 0-89871-364-1.
3. Kalaba R., Tesfatsion L. Solving Nonlinear Equations by Adaptive Homotopy Continuation / Applied Mathematics and Computation, January 1991. Vol. 41. No. 2: Part II. Pp. 99-115
4. Roychowdhury J.S., Melville R.C. Homotopy techniques for obtaining a DC Solution of large-scale MOS Circuits / Proceedings of the DAC 1996. 33rd Jun. 1996. LasVegas NV. Pp. 286 – 291.
5. SymProbe User guide product version 2.xx
6. SymSpice User guide product version 2.xx

УДК 621.311.001.57

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭНЕРГОСИСТЕМ С ВОЗОБНОВЛЯЕМЫМИ ИСТОЧНИКАМИ ЭНЕРГИИ

Марченко Олег Владимирович
К.т.н., ведущий научный сотрудник, e-mail: marchenko@isem.irk.ru
Соломин Сергей Владимирович
К.т.н., старший научный сотрудник, e-mail: solomin@isem.irk.ru
Лебедев Александр Вячеславович
К.т.н., старший научный сотрудник, e-mail: lebalex@isem.irk.ru
Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева СО РАН,
664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова 130

Аннотация. Разработана математическая модель для исследования экономической эффективности энергосистем с возобновляемыми источниками энергии. Модель описывает энергосистему произвольной конфигурации, включающую технологии преобразования, транспорта и аккумулирования энергии. В отличие от известных моделей, для расчетов не требуется предварительное задание алгоритма управления элементами системы. Режимы работы всех элементов в динамике автоматически определяются в результате оптимизации. Приведен пример применения модели для выбора оптимальной структуры энергосистемы, использующей энергию солнца, ветра, древесной биомассы, а также аккумуляторы электрической энергии и синтез-газа.
Ключевые слова: математическая модель, возобновляемые источники энергии, оптимальная структура, аккумулирование энергии.

Введение. В многочисленных научных публикациях [1–10] обоснована необходимость широкомасштабного внедрения возобновляемых источников энергии (ВИЭ) как для повышения экономичности энергоснабжения, так и для снижения выбросов вредных веществ в окружающую среду объектами энергетики. В частности, в [10] показана экономическая и экологическая конкурентоспособность ВИЭ с энергоисточниками на органическом топливе. Экономическая конкурентоспособность оценивалась по критерию стоимости вырабатываемой энергии. В случае использования интегрированных (гибридных) энергосистем, включающих энергоносители разных типов, эти оценки должны быть дополнены учетом системных эффектов, которые возникают вследствие наличия связей между энергоисточниками и аккумуляторами энергии. Такие системные эффекты обычно учитываются посредством применения специальных математических моделей.

Исследование энергосистем, использующих энергию ветра, солнца, аккумуляторы электроэнергии, установки для производства, хранения и использования вторичных энергоносителей (синтез-газа или водорода), требует оптимизации структуры системы и режимов работы всех ее элементов в динамике. В настоящей работе описана математическая модель, позволяющая решать эту задачу для произвольного набора технологий преобразования (транспорта) и аккумулирования энергии на основе алгоритмов оптимизации

GAMS (General Algebraic Modeling System). Она представляет собой обобщение модели REM (Renewable Energy Model) [2]. Модель описывает энергосистему произвольной конфигурации, включающую технологии преобразования, транспорта и аккумулирования энергии. В отличие от известных моделей [11], для расчетов не требуется предварительное задание алгоритма управления алгоритма управления элементами системы. Режимы работы всех элементов в динамике автоматически определяются в результате оптимизации.

1. Математическая модель. На рис. 1 показан фрагмент энергосистемы, включающий ее основные элементы – технологии преобразования (транспорта) энергии и аккумуляторы. Реальная система может состоять из произвольного количества таких фрагментов. Для энергосистемы заданы списки первичных энергоресурсов J_1, вторичных энергоносителей J_2 и конечных видов энергии J_3. Система включает энергоустановки (технологии) двух типов: а) преобразования (или транспорта) энергии и б) аккумулирования энергии (энергоносителей). В установках преобразования первичная и вторичная энергия преобразуется в конечную энергию и/или во вторичную энергию другого вида; в аккумуляторах происходит накопление вторичной энергии для ее последующего использования.

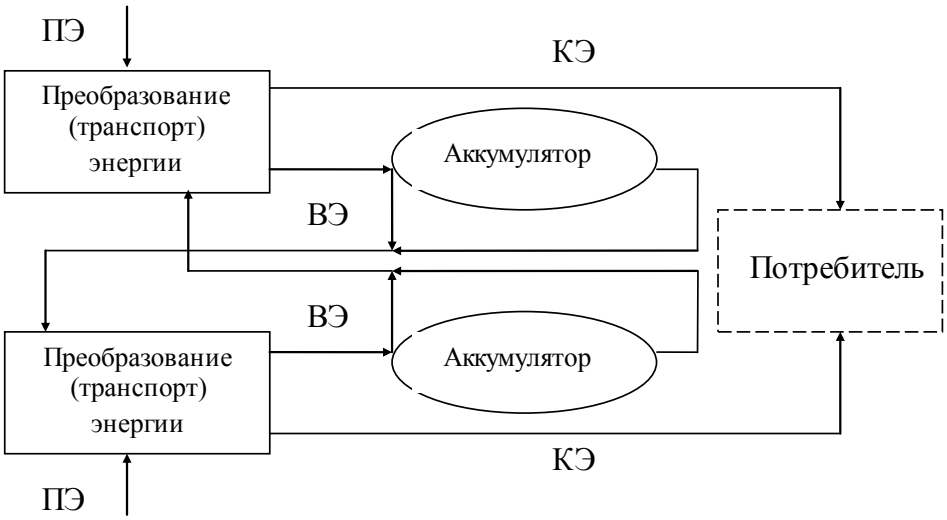

Рис. 1. Схема потоков энергии в энергосистеме (ПЭ – первичные энергоресурсы, ВЭ – вторичные энергоносители, КЭ – конечная энергия)

К первичным энергоресурсам относится вся поступающая в систему извне энергия (например, топливо для электростанции); в конечную энергию включается энергия как потребляемая в данном пункте, так и поступающая на внешний рынок (например, синтетическое жидкое топливо или водород).

Работа энергосистемы моделируется с шагом Δt по времени; переменные с индексом $t = 0, 1, 2, \ldots, T$ относятся к соответствующим моментам времени.

В момент времени t мощность i-ой установки преобразования энергии равна $N_{it} \le \overline{N_i}$ (где $\overline{N_i}$ – установленная мощность). Для каждой установки преобразования энергии ($i \in I$) заданы коэффициенты: α_{ij} – удельное (на единицу мощности) потребление j–го энергоресурса и β_{ik} – удельное производство k–го вида энергии.

В момент времени t запас вторичной энергии в j-ом аккумуляторе равен $Q_{jt} \le \overline{Q_j}$ (где $\overline{Q_j}$ – емкость аккумулятора). Для каждой технологии аккумулирования энергии ($j \in J_2$) задан коэффициент полезного действия η_j, характеризующий потери энергии в аккумуляторе.

Кроме того, для всех технологий ($i \in I \cup J_2$) заданы: k_i – удельные (на единицу мощности, для аккумулятора – емкости) капиталовложения, μ_i – ежегодные постоянные эксплуатационные издержки (доля от капиталовложений) и ΔT_i – срок службы установки.

Требуется найти минимум целевой функции (суммарные дисконтированные затраты на создание и эксплуатацию системы)

$$Z = \sum_{i \in I} (F_i + \mu_i) k_i \overline{N_i} + \sum_{j \in J_2} (F_j + \mu_j) k_j \overline{Q_j} +$$

$$+ \frac{H}{T} \sum_{t=1}^{T} \sum_{j \in J_1} p_j \sum_{i \in I} N_{it} \alpha_{ij} \to \min$$

при выполнении ограничений на потребление первичной энергии, на производство конечной энергии, балансов вторичной энергии и ограничений на переменные [3, 9]. Здесь введены обозначения: $F_i = \ln(1+d) / \left[1 - (1+d)^{-\Delta T_i} \right]$ – коэффициент возврата капитала при годовой норме дисконта d, $H = 8760$ ч/год, p_j – цена первичного энергоресурса.

Искомыми переменными являются установленные $\overline{N_i}$ и текущие мощности N_{it} установок преобразования энергии, запасы вторичной энергии в аккумуляторах Q_{jt} и их емкости $\overline{Q_j}$, а также потоки энергии, направляемой на аккумулирование. Стохастические режимы энергоисточников, использующих возобновляемые виды энергии, не оптимизируются, поскольку они определяются внешними природными условиями и для модели являются заданными.

2. Пример расчета. Для примера использования описанной выше модели проведен расчет системы электроснабжения, включающей фотоэлектрические преобразователи (ФЭП), ветроэлектрические установки (ВЭУ), аккумуляторные батареи (АБ) и газогенераторную электростанцию (ГГЭС) на древесном топливе (рис. 2). ГГЭС использует в качестве топлива либо измельченные древесные отходы, либо древесные брикеты (пеллеты, топливные гранулы) [4]. В газогенераторе ГГЭС происходит термохимическая конверсия древесного топлива в синтез-газ; произведенный синтез-газ хранится в газгольдере.

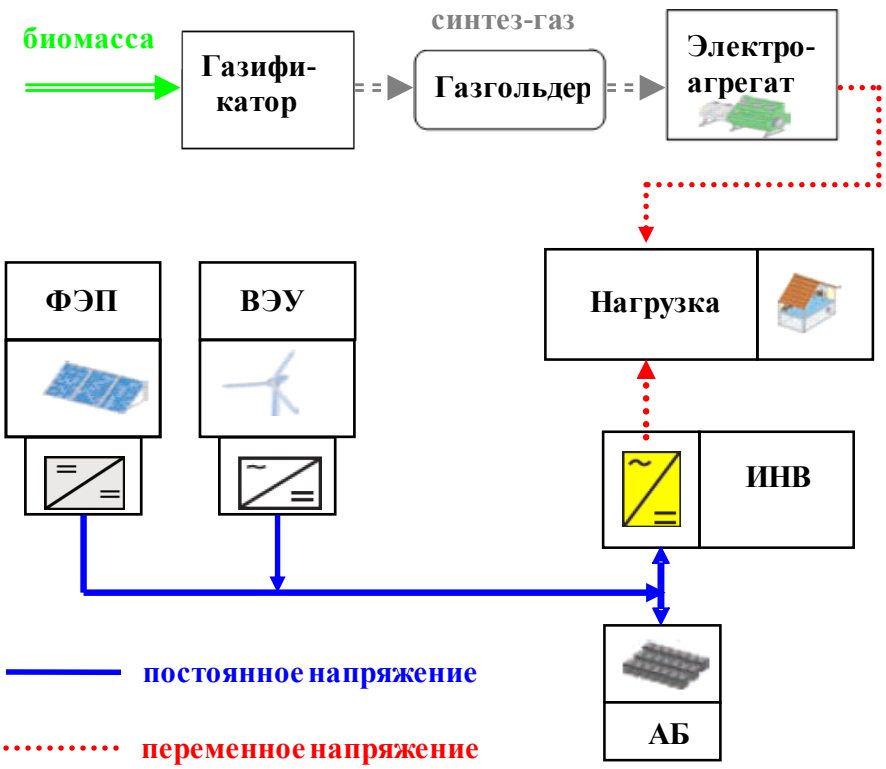

Рис. 2. Расчетная схема (ФЭП – фотоэлектрические преобразователи, ВЭУ - ветроэлектрическая установка, ИНВ – инвертор, АБ – аккумуляторная батарея)

Технико-экономические показатели компонентов системы, принятые в расчетах, приведены в табл. 1. Из интервалов неопределенности показателей [4, 10, 12] выбраны наиболее вероятные значения. Капиталовложения выражены в долларах конца 2016 г. Рассматривалась переменная нагрузка с максимумом 1 МВт и числом часов ее использования 4400 ч/год.

Таблица 1. Технико-экономические показатели компонентов системы

Компонент	Удельные капиталовложения, US$/kW	Издержки*, %	КПД, %	Срок службы, лет
ФЭП	1200	1	15	25
ВЭУ	1800	2	30	25
ГГЭС	1600	5	25	10
Инвертор	220	2	95	25
АБ	180 **	5	95	5
Газгольдер	40 **	3	95	25

Примечание: * – в процентах от капиталовложений; ** – US$/кВт·ч

Рассмотрен район с достаточно благоприятными условиями для развития ветровой и солнечной энергетики – со средней годовой скоростью ветра 5 м/с и годовым приходом солнечной радиации на горизонтальную поверхность 1300 кВт·ч/м^2. Аналогичные

характеристики ветра и солнечной радиации характерны для южных приморских районов России (побережья Черного и Каспийского морей, юг Приморья) [10].

Расчеты проведены при разных значениях стоимости древесного топлива – 50 $/т у.т. и 250 $/т у.т. Первая величина соответствует использованию дешевой топливной щепы (отходов лесозаготовок), вторая – использованию дорогих топливных пеллет.

В табл. 2 приведены расчетные значения оптимальных мощностей энергоисточников и емкостей аккумулирующих устройств. При использовании дешевого древесного топлива основным энергоисточником является ГГЭС, вклад которой в суммарную выработку электроэнергии составляет около 65 % (рис. 3). При дорогом древесном топливе вклад ГГЭС уменьшается до 20 %, при этом основной вклад вносит ВЭУ. В этом случае существенно возрастает емкость аккумулятора электроэнергии для компенсаций колебаний выработки ВЭУ в связи с изменениями скорости ветра.

Таблица 2. Оптимальная структура системы электроснабжения

Вариант	Оптимальная мощность, кВт			Емкости, кВт·ч	
	ГГЭС	ВЭУ	ФЭП	Газгольдер	АБ
Дешевая щепа	900	600	420	28500	900
Дорогие пеллеты	630	1200	640	26580	5080

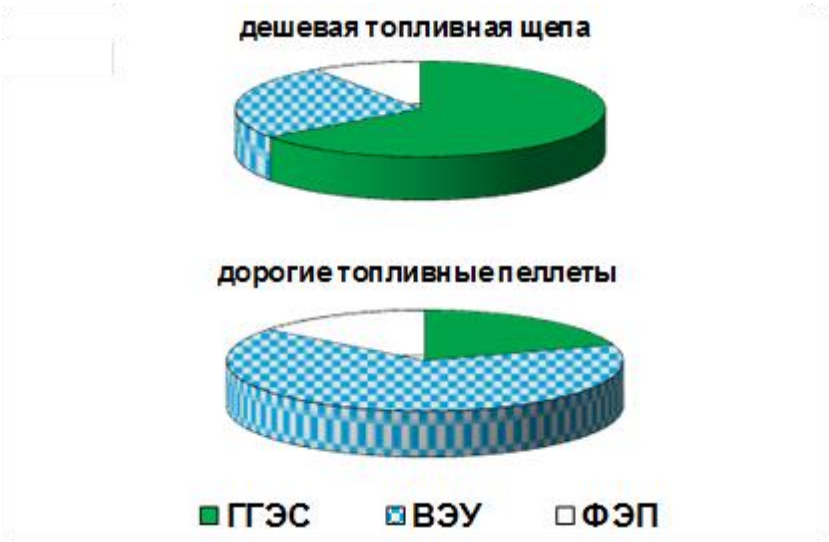

Рис. 3. Вклад энергоисточников в выработку электроэнергии

Заключение. В работе приведено описание математической модели для оптимизации структуры энергосистем с возобновляемыми источниками энергии и аккумуляторами. Особенность модели – возможность исследования систем сложной структуры с преобразованием и аккумулированием энергии без предварительного задания алгоритмов управления элементами системы. Режимы работы элементов в динамике определяются в результате оптимизации.

В качестве примера рассмотрена система электроснабжения, использующая энергию солнца, ветра и древесной биомассы. Из результатов расчета следует, что наиболее экономичными оказываются варианты совместного применения возобновляемых источников энергии разных типов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Беляев Л.С., Марченко О.В., Соломин С.В. Исследование долгосрочных тенденций развития возобновляемых источников энергии // Перспективы энергетики. 2007. Том 11. №1. С. 9–18.
2. Марченко О.В. Математическая модель энергосистемы с возобновляемыми источниками энергии // Изв. РАН. Энергетика. 2006. №3. С. 154–161.
3. Марченко О.В., Соломин С.В. Влияние ограничения эмиссии углерода на конкурентоспособность электростанций // Промышленная энергетика. 2015. №9. С. 57–61.
4. Марченко О.В., Соломин С.В. Эффективность газогенераторных электростанций на древесном топливе для электроснабжения децентрализованных потребителей // Экология промышленного производства. 2016. №4. С. 30–34.
5. 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.
6. Belyaev L.S., Marchenko O.V., Filippov S.P., Solomin S.V., Stepanova T.B., Kokorin A.L. World energy and transition to sustainable development. Boston, Dordrecht, London: Kluver Academic Publishers, 2002. 264 p.
7. Belyaev L.S., Marchenko O.V., Solomin S.V. The study of the long-term trends in the development of the energy industry of Russia and the world // Thermal Engineering. 2011. Vol.58, No.13. Pp. 1087–1093.
8. Global Energy Assessment – Toward a Sustainable Future. International Institute for Applied Systems Analysis, Vienna, Austria and Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, USA, 2012. 1882 p.
9. Marchenko O.V. Mathematical modeling and economic efficiency assessment of autonomous energy systems with production and storage of secondary energy carriers // International Journal of Low-carbon Technologies. 2010. Vol. 5, No.4. Pp. 250–255.
10. Marchenko O.V., Solomin S.V. Economic efficiency of renewable energy sources in Russia // International Journal of Renewable Energy Research. 2014. Vol. 4, No.3. Pp. 548–554.
11. Olatomiwa L., Mekhies S., Ismail M.S., Moghavvemi M. Energy management strategies in hybrid renewable energy systems: A review // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2016. Vol. 62, No.9. Pp. 821–835.
12. Projected costs of generating electricity. 2015 edition. Paris: International Energy Agency, Nuclear Energy Agency. 2015. 215 p.

UDK 621.311.001.57

MATHEMATICAL MODELING OF ENERGY SYSTEMS WITH RENEWABLE ENERGY SOURCES

Oleg V. Marchenko
Ph. D., Leading Researcher, e-mail: marchenko@isem.irk.ru
Sergei V. Solomin
Ph. D., Senior Researcher, e-mail: solomin@isem.irk.ru
Alexander V. Lebedev
Ph. D., Senior Researcher, e-mail: lebalex@isem.irk.ru
Melentiev Energy Systems Institute Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences
130, Lermontov Str., 664033, Irkutsk, Russia

Abstract. A mathematical model is developed to study the economic efficiency of energy systems with renewable energy sources. The model describes a power system of an arbitrary configuration, including technologies for energy conversion, transport, and storage. Unlike known models, calculations do not require a preliminary assignment of the control algorithm for the elements of the system. Modes of operation of all elements in the dynamics are automatically determined as a result of optimization. An example of the model application for choosing the optimal structure of the power system using the energy of the sun, wind, wood biomass, as well as accumulators of electric energy and synthesis gas is given.

Keywords: mathematical model, renewable energy sources, optimal structure, energy accumulation.

References

1. Belyaev L.S., Marchenko O.V., Solomin S.V. Issledovanie dolgosrochnyh tendencii razvitija vozobnovlyamyh istochnikov energii [Study of long-term trends in the development of renewable energy sources] // Perspectives in Energy. 2007. Vol.11. No.1. Pp. 9–17 (in Russian).
2. Marchenko O.V. Matematicheskaja model enegosistemy c vozobnovljaemymi istochnikami energii [Mathematical model of a power supply system with renewables] // Izvestija RAN. Seriya Energetika = Bulletin of RAS. Energy Series. 2006. No.3. Pp. 154–161 (in Russian).
3. Marchenko O.V., Solomin S.V. Vlijanie ogranichenija na emissiju dioksida ugleroda na konkurentosposobnost’ elektrostancii [Limitation of carbon dioxide emission as a affecting the competitiveness of power plants] // Promyshlennaja energetika = Power Engineering. 2015. No.9. Pp. 57–61 (in Russian).
4. Marchenko O.V., Solomin S.V. Effectivnost’ gasogeneratornyh elektrostancii na drevesnom toplive dlja elektrosnabzhenija dezentralizovannyh potrebitelej [Efficiency of gas-generating power plants on wood fuel for power supply of the decentralized consumers] // Ecologija promyshlennogo proizvodstva = Ecology of industrial production. 2016. No.4. Pp. 30–34 (in Russian).

5. Obosnovanie razvitija jelektrojenergeticheskih system: metodologija, modeli, metody, ih ispol'zovanie [Rationale for the development of electric power systems: methodology, models, methods and their use]. Novosibirsk: Nauka Publ. 2015. 448 p. (in Russian).
6. Belyaev L.S., Marchenko O.V., Filippov S.P., Solomin S.V., Stepanova T.B., Kokorin A.L. World energy and transition to sustainable development. Boston, Dordrecht, London: Kluver Academic Publishers. 2002. 264 p.
7. Belyaev L.S., Marchenko O.V., Solomin S.V. The study of the long-term trends in the development of the energy industry of Russia and the world // Thermal Engineering. 2011. Vol.58, No.13. Pp. 1087–1093.
8. Global Energy Assessment – Toward a Sustainable Future. International Institute for Applied Systems Analysis, Vienna, Austria and Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York. USA. 2012. 1882 p.
9. Marchenko O.V. Mathematical modeling and economic efficiency assessment of autonomous energy systems with production and storage of secondary energy carriers // International Journal of Low-carbon Technologies. 2010. Vol. 5. No.4. Pp. 250 – 255.
10. Marchenko O.V., Solomin S.V. Economic efficiency of renewable energy sources in Russia // International Journal of Renewable Energy Research. 2014. Vol. 4. No.3. Pp. 548–554.
11. Olatomiwa L., Mekhies S., Ismail M.S., Moghavvemi M. Energy management strategies in hybrid renewable energy systems: A review // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2016. Vol. 62. No.9. Pp. 821–835.
12. Projected costs of generating electricity. 2015 edition. Paris: International Energy Agency, Nuclear Energy Agency. 2015. 215 p.

УДК 621.314

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И ФИЗИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМОБИЛЯ

Дунаев Михаил Павлович
Д.т.н., профессор, профессор кафедры «Электропривод и электрический транспорт»,
Иркутский национальный исследовательский технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова 83, e-mail: mdunaev10@mail.ru

Аннотация. В статье рассмотрены математическая и физическая модели электромобиля. Приведена принципиальная схема физической модели электромобиля. Описаны статические и динамические тяговые характеристики электромобиля.

Ключевые слова: электромобиль, математическая модель, физическая модель.

Введение. Электромобиль (ЭМ) – это автомобиль, в котором привод ведущих колес осуществляется электродвигателем, питающимся от химического источника тока (электрического аккумулятора или электрической батареи) [8]. Электромобиль появился раньше, чем автомобиль с двигателем внутреннего сгорания. Первый электромобиль в виде тележки с электродвигателем был создан в 1841 году [9]. Электромобили получили широкое распространение в первой четверти XX века. В 1900 году в автопарке США 38 % составляли электромобили и лишь 22 % составляли автомобили с двигателем внутреннего сгорания (ДВС), а остальные 40 % были на паровом ходу. Данная статистика показывает, что в начале двадцатого века тенденция на доминирование автомобиля с ДВС еще была далеко не однозначна, а прогнозы на развитие электромобилей были достаточно оптимистичные [1]: «Самым многообещающим типом автомобиля в будущем можно считать электрический, но пока он ещё недостаточно усовершенствован. Электрические двигатели не дают ни шума, ни копоти, они, бесспорно, удобнее и совершеннее всех других, но автомобиль должен везти свой источник энергии: аккумуляторную батарею, которая пока ещё слишком тяжела и непрочна. Поэтому невозможно возить с собою запас энергии на длинный путь, а вновь заряжать аккумуляторы и заменять истощённые другими возможно лишь при езде в городах или от одной специально устроенной станции до другой». К сожалению, указанные недостатки электромобиля не исчезли и в настоящее время. Возрождение интереса к электромобилям произошло в 1960-е годы из-за экологических проблем автотранспорта, а в 1970-е годы - из-за резкого роста стоимости топлива в результате энергетических кризисов [10]. Прошедшие с момента изобретения электромобиля полтора столетия явили значительный рост скорости и длина пробега. Если в начале двадцатого века достигнутая электромобилем скорость и дальность пробега составляла соответственно 130 км/ч и 167 км, то в начале двадцать первого – 515 км/ч и 1003 км [11, 12]. Все вышеизложенное объясняет существующий интерес к электромобилям и исследованию их конструкций с помощью математического и физического моделирования.

Удобным для математического моделирования и хорошо зарекомендовавшим себя в использовании является пакет MatLab с широко развитыми приложениями (Toolboxes), из

которых Toolbox Simulink наиболее приспособлен для синтеза и анализа различных механических систем [2, 5, 6].

Цель данной работы - исследование на математической и физической моделях статических и динамических тяговых характеристик электромобиля.

1. Математическая модель электромобиля. Для разработки математической модели движения электромобиля воспользуемся подходом, изложенным в [3, 4]. На рис. 1, где показаны силы, приложенные к ЭМ, обозначено: F – сила тяги электромобиля; $F_{тр}$ – сила трения; $F_т$ – тангенциальная составляющая силы тяжести, которая может менять свой знак («+» при движении на подъем, «-» при движении на спуск); G – вес электромобиля; m – масса электромобиля.

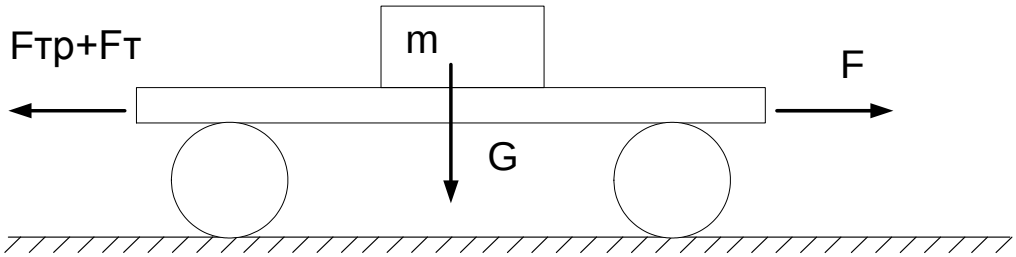

Рис. 1. Силы, приложенные к электромобилю.

Для электромобиля (рис. 1) будет справедливо следующее соотношение [7]:

$$m\frac{dv}{dt} = F - F_{TP} - F_T, \tag{1}$$

где v – скорость горизонтального перемещения электромобиля.

Учитывая, что

$$F_{TP} = F_{TP1} + F_{TP2} = K_{TP1}mg + K_{TP2}mv^2 / r,$$

где K_{TP1} - коэффициент трения в колесах при прямолинейном движении электромобиля,

K_{TP2} - коэффициент трения в колесах электромобиля при воздействии центробежной силы $F_Ц = mv^2 / r$,

r – радиус поворота криволинейного участка движения электромобиля,

g – ускорение свободного падения,

$F_T = mg \sin\alpha$,

α – угол уклона дороги,

получим следующее выражение:

$$m\frac{dv}{dt} = F - (K_{TP1}mg + K_{TP2}mv^2 / r) \pm mg\sin\alpha. \tag{2}$$

Учитывая, что в рассматриваемом случае $F_{TP2} << F_{TP1}$ и $F_T = 0$, упростим выражение (2) и преобразуем его в операторный вид:

$$V(p) = \frac{F - K_{TP1}mg}{mp}. \tag{3}$$

К сожалению, данная модель (3) не учитывает ряда существенных нелинейностей, присущих реальному электромобилю: ограничение по линейной скорости, нелинейность силы трения и т.п.

Для более полного учета реальных нелинейностей и ограничений целесообразно перейти к компьютерному моделированию движения электромобиля, используя при этом выражение (3).

На рис. 2 показана модель движения электромобиля, выполненная с использованием средств пакета MatLab и приложения Simulink .

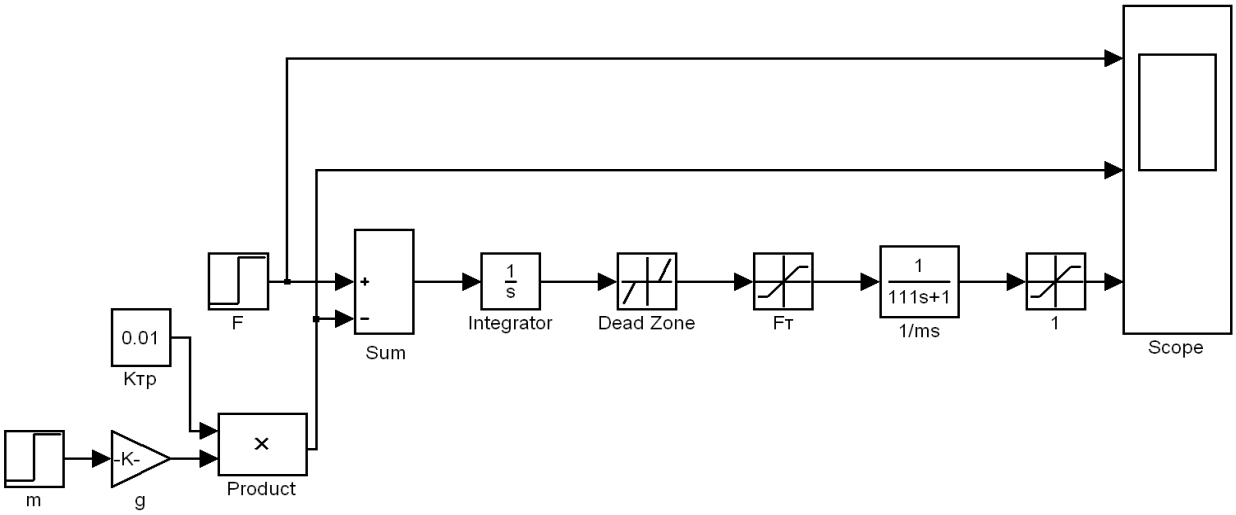

Рис. 2. Модель движения электромобиля

Процесс разгона модели движения электромобиля продемонстрирован на диаграммах, приведенных на рис. 3, где:

- первая ось отражает приложенную силы тяги F (н);
- вторая ось – силу трения $F_{тр}$ (н);
- третья ось – скорость горизонтального перемещения *v* (м/с).

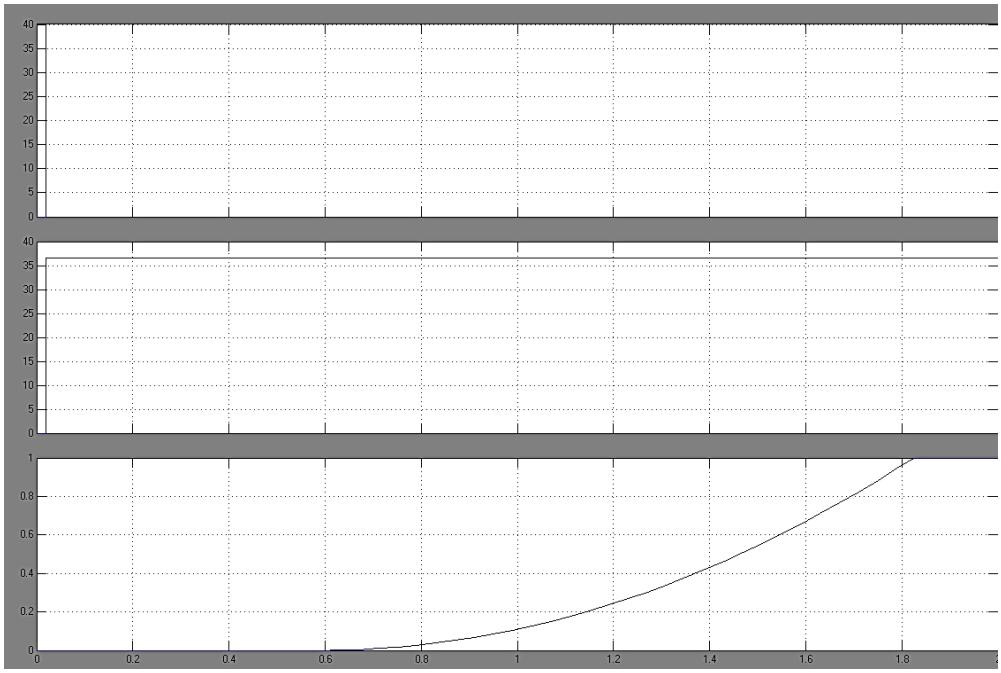

Рис. 3. Диаграммы разгона электромобиля

2. Физическая модель электромобиля. На рис. 4 изображена принципиальная схема физической модели исследуемого электромобиля.

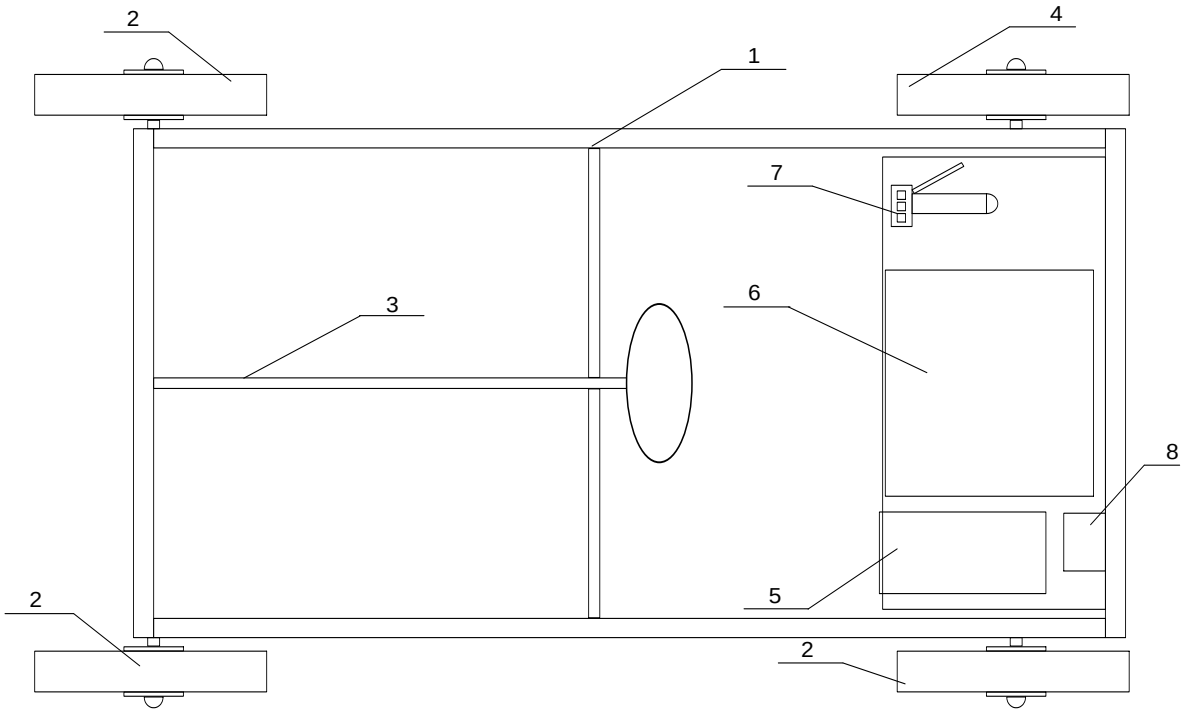

Рис. 4. Принципиальная схема конструкции электромобиля

Рама электромобиля выполнена из алюминиевой трубы диаметром 40 мм и размером 1650x900 мм. Для обеспечения необходимой жесткости углы рамы усилены алюминиевыми пластинами размером 200x150 мм.

Три колеса электромобиля (два передних поворотных и одно заднее неповоротное) являются стандартными колесами с пневмошинами диаметром 400 мм и обеспечивают движение ЭМ с грузом массой до 100 кг. Четвертое (заднее) мотор-колесо является ведущим и снабжено встроенным синхронным трехфазным двигателем.

Электропривод мотор-колеса питается от преобразователя частоты (ПЧ), который обеспечивает устойчивое движение электромобиля с грузом в диапазоне скоростей от 2 до 25 км/час.

На схеме (рис. 4) обозначены: 1 – рама электромобиля; 2 – колеса электромобиля, выполненные на базе стандартных колес с пневмошинами диаметром 400 мм; 3 – рулевая колонка, позволяющая осуществлять синхронный поворот передних колес; 4 – ведущее мотор-колесо с электродвигателем фирмы «Golden motor» мощностью 0,5 кВт; 5 – электрический аккумулятор напряжением 36 В и емкостью 12 А·час; 6 – сидение водителя, 7 – рукоятка управления угловой скоростью мотор-колеса с кнопками реверса, круиз-контроля и звукового сигнала, а также рычаг ручного тормоза; 8 – контроллер (преобразователь частоты).

3. Сравнение результатов математического и физического моделирования тяговых характеристик электромобиля. Для снятия экспериментальной зависимости силы тяги (F) от массы электромобиля (m) электромобиль перемещался по горизонтальному прямому участку асфальтовой дороги с постоянной скоростью V=1 м/с. На рис. 5 приведены модельные и экспериментальные статические характеристики электромобиля:

- Fм=f(m) –модельная статическая характеристика ЭМ,
- Fэ=f(m) – экспериментальная статическая характеристика ЭМ.

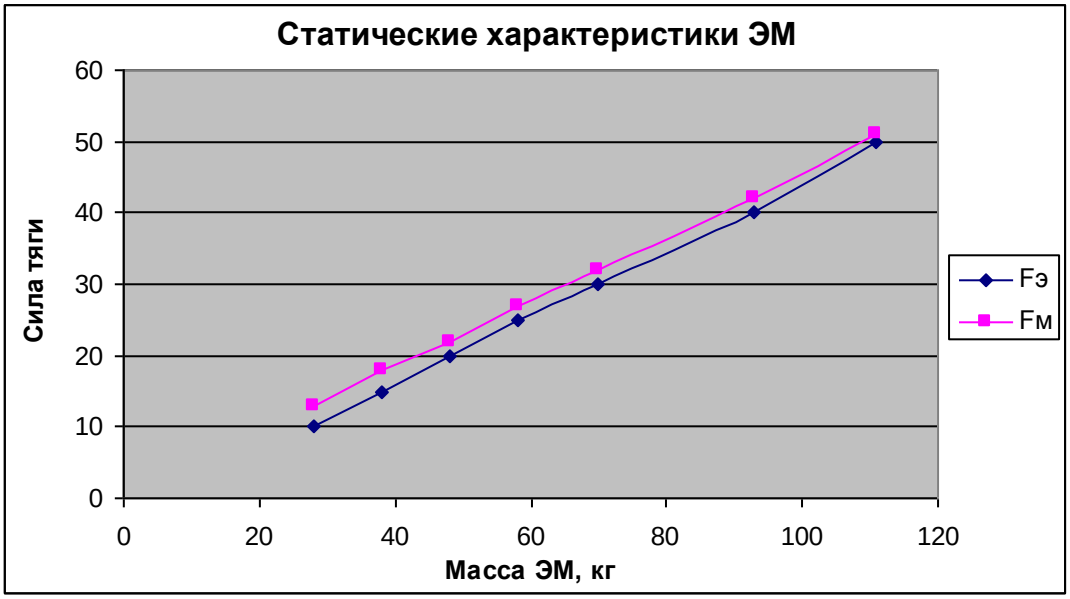

Рис. 5. Сравнение статических зависимостей F=f(m).

Результаты моделирования (рис. 5) показывают, что расхождение между моделью и экспериментом составляет в среднем 8 %, что в целом можно считать удовлетворительным.

К сожалению, из-за сложности определения экспериментальных динамических тяговых характеристик электромобиля не удалось выполнить их сравнение с результатами моделирования.

Заключение. В ходе проведенных исследований были определены статические и динамические тяговые характеристики электромобиля, которые позволяют оценить параметры движения электромобиля в установившемся и динамическом режимах работы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Автомобиль // Энциклопедический словарь Брокгауза и Ефрона: в 86 т. СПб. 1907.
2. Герман-Галкин С.Г. Компьютерное моделирование полупроводниковых систем в MATLAB 6.0: Учебное пособие. Спб.: КОРОНА принт.2001. 320 с.
3. Дунаев М.П., Дунаев А.М., Дунаева Я.О. Моделирование рельсового транспортного устройства // XVI Всероссийская конференция «Информационные и математические технологии в науке и управлении»: труды. Иркутск: ИСЭМ СО РАН. 2011. С.158–163.
4. Дунаев М.П., Дунаев А.М. Моделирование транспортных устройств // XVII Всероссийская конференция «Информационные и математические технологии в науке и управлении»: труды. Иркутск: ИСЭМ СО РАН. 2012. С.90–95.
5. Дьяконов В.П. MATLAB 6.5 SP1/7 + Simulink 5/6 в математике и моделировании. М.: СОЛОН-Пресс. 2005. 576 с.
6. Дьяконов В.П. MATLAB 6/6.1/6.5+Simulink 4/5. Основы применения. М.: СОЛОН-Пресс. 2004. 768 с.
7. Касьянов В.А. Физика. М.: АСТ. 2008. 412 с.
8. Ставров О.А. Электромобили. М.: Транспорт. 1968. 342 с.

9. Щетина В.А., Морговский Ю.Я. Электромобиль. М.: Техника и экономика. 1987. 473 с.
10. Электротехнический справочник: В 4 т./ Под общ. ред. В.Г. Герасимова, А.Ф. Дьякова, А.И. Попова. М.: МЭИ. 2004. Т.4. Использование электрической энергии. 696 с.
11. SONA RR100 - российский электромобиль от White Square Motors / White Square Journal - деловой интернет журнал / WSJournal / WSJ / WHITE NEWS / деловой онлайн журнал. wsjournal.ru (дата обращения 12.09.2015).
12. S.R.C.Vivekchand; Chandra Sekhar Rout, K.S.Subrahmanyam, A.Govindaraj and C.N.R.Rao. Graphene-based electrochemical supercapacitors // Journal of Chemical Sciences. №120. January 2008. Pp. 9–13.

UDK 621.314

MATHEMATICAL AND PHYSICAL MODELING OF ELECTRIC CAR

Mikhail P. Dunaev
Dr., Professor, National Research Irkutsk State Technical University (NR ISTU)
83, Lermontov Str., 664074, Irkutsk, Russia, e-mail: mdunaev10@mail.ru

Abstract. In article mathematical and physical models of electric car are considered. Shows the functional diagram of electric car. Describes the static and dynamic characteristics of electric car.

Keywords: electric car, mathematical model, physical model.

References

1. Avtomobil [Car] // Enciklopedicheskii slovar Brokgauza I Efrona: v 86 t. = The Brockhaus and Efron Encyclopedic Dictionary: 86 vol. St. Petersburg. 1907. (in Russian).
2. German-Galkin S.G. Kompiuternoe modelirovanie poluprovodnikovih system v MATLAB 6.0: Uchebnoe posobie [Computer simulation of semiconductor systems in MATLAB 6.0: Textbook] St. Peterburg. Corona Publ. 2001. 320 p. (in Russian).
3. Dunaev M.P., Dunaev A.M., Dunaeva J.O. Modelirovanie relsovogo transportnogo ustroistva // XVI Bajkal'skaja Vserossijskaja konferencija «Informacionnye i matematicheskie tehnologii v nauke i upravlenii». Trudy = XVI Baikal Russian conference "Information and Mathematical Technologies in Science and Management". Proceeding. Irkutsk: MESI SB RAS. 2011. Pp. 158–163. (in Russian).
4. Dunaev M.P., Dunaev A.M. Modelirovanie transportnih ustroistv // XVII Bajkal'skaja Vserossijskaja konferencija «Informacionnye i matematicheskie tehnologii v nauke i upravlenii». Trudy = XVII Baikal Russian conference "Information and Mathematical Technologies in Science and Management". Proceeding. Irkutsk: MESI SB RAS. 2012. Pp. 90–95. (in Russian).
5. Diakonov V.P. MATLAB 6.5 SP1/7 + Simulink 5/6 v matematice I modelirovanii [MATLAB 6.5 SP1 / 7 + Simulink 5/6 in mathematics and modeling]. Moscow. SOLON Publ. 2005. 576p. (in Russian).
6. Diakonov V.P. MATLAB 6/6.1/6.5+Simulink 4/5. Osnovi primenenij. [MATLAB 6 / 6.1 / 6.5 + Simulink 4/5. Basics of application] Moscow. SOLON Publ. 2004. 768 p. (in Russian).

7. Kasianov V.A. Fizika [Physics] Moscow. ACT Publ. 2008. 412 p. (in Russian)
8. Stavrov O.A. Elektromobili [Electromobiles]. Moscow: Transport Publ. 1968. 342 p. (in Russian).
9. Shetina V.A., Morgovskii U.J. Elektromobil. Moscow: Tehnika I ekonomika Publ. 1987. 473 p. (in Russian).
10. Elektrotehnicheskii spravochnik: v 4 t. / Pod obshei redakciei V.G.Gerasimova, A.F. Diakova, A.I. Popova [Electrotechnical handbook: 4 t. / Under the total. Ed. V.G. Gerasimova, A.F. Dyakova, A.I. Popova]. Moscow: MEI Publ. 2004. Vol 4. Ispolzovanie elektricheskoi energii [The use of electrical energy]. 696 p. (in Russian).
11. SONA RR100 – rossiiskii avtomobil ot White Square Motors [SON PP100 - the Russian car from Enter Squire Motors] // White Square Journal. Available at: http://wsjournal.ru/sona-rr100-russian-elektromobil-white-square-motors/, accessed 25.04.2017 (in Russian).
12. S.R.C.Vivekchand; Chandra Sekhar Rout, K.S.Subrahmanyam, A.Govindaraj and C.N.R.Rao. Graphene-based electrochemical supercapacitors // Journal of Chemical Sciences. №120. January 2008. Pp. 9–13.

УДК 51-77

АНАЛИЗ СОЦИОЛОГИЧЕСКИХ ДАННЫХ НА ОСНОВЕ КОРРЕЛЯЦИОННОГО И ФАКТОРНОГО АНАЛИЗА

Романчуков Сергей Викторович
Аспирант, e-mail: inoy@vtomske.ru
Берестнева Елена Викторовна
Аспирант, e-mail: berestneva_l@mail.ru
Маклакова Таисия Глебовна
Аспирант, e-mail: mclakova.t@gmail.com
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
634050, г. Томск, пр. Ленина 30

Аннотация. В ходе выполнения исследований в рамках проекта "Социокультурный портрет региона" на территории Томской области был накоплен значительный объём экономических и социологических данных, доступных для всесторонней обработки. В данной работе из всего множества полученных материалов выбраны показатели субъективного ощущения защищённости респондентов от различных угроз и степени их доверия различным социальным институтам, выполнен поиск взаимосвязей между этими показателями с использованием методов корреляционного и факторного анализа.

Ключевые слова: социология, социум, структура, корреляция, фактор, факторный анализ.

Введение. В современном обществе одним из наиболее важных факторов для развития информационной и инновационной экономики (что особенно важно в кризисные периоды) становится человеческий фактор. Исследования человеческого капитала, динамики состояния общества и взаимосвязей между показателями экономического и социального здоровья населения регионов не теряют своей актуальности. Томская область представляет собой регион, формально достигший высоких показателей в области построения инновационной экономики и постиндустриальной модернизации, поэтому социологические исследования на территории данного региона представляют интерес для изучения вопроса о влиянии современных технологий на качество и уровень жизни населения. Однако, результаты анкетирования и опросов населения представляют собой сложные данные, описанные большим количеством переменных и значительным числом наблюдений, что порождает задачи снижения размерности и поиска латентных (скрытых) переменных, определяющих всё многообразие накопленных данных.

1. Характеристика исходных данных. Томская область - регион в Западной Сибири, имеющий статус технико-внедренческой зоны и значительный научный, образовательный и промышленный потенциал. Данный регион формально достиг высоких показателей развитости инновационной экономики и вторичной модернизации. Однако не теряет своей актуальности вопросы о влиянии этих показателей на фактические качество и уровень жизни населения и о наличии взаимосвязей между различными показателями его социального здоровья.

Методика Центра исследований модернизации Китайской Академии наук (ЦИМ КАН), адаптированная для России [5], относит Томскую область к типу с низким уровнем сбалансированности модернизации, переходящую к вторичной модернизации [3]. По данным рейтинга Ассоциации инновационных регионов России (АИРР) Томская область входит в число сильных инноваторов и занимает 7 место по РФ [5–8]. На рис. 1 приведена диаграмма инновационного развития Томской области, построенная в рамках данного рейтинга.

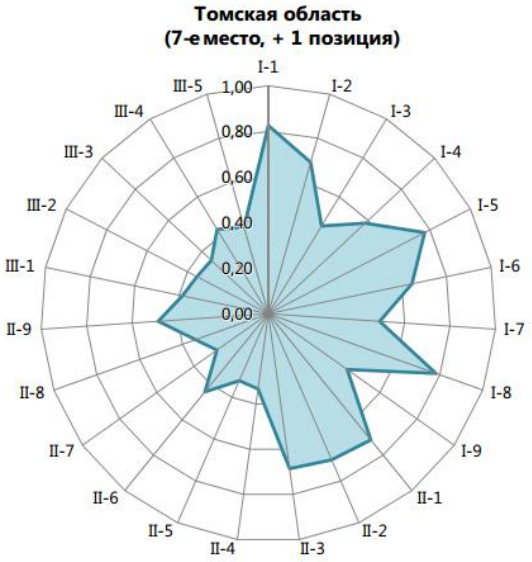

Рис. 1. Диаграмма инновационного развития Томской области

На данном изображении достаточно хорошо виден перекос в сторону "инноваций в образовании" и "инновационных производств", однако, социокультурная составляющая в условиях новой модернизации остается несбалансированной и демонстрирует низкую динамику социальных изменений.

Результаты проведённого социологического опроса включают 1000 наблюдений (на 1,078 млн. человек населения), выборка по Томской области охватывает всю её территорию, в ней репрезентативно представлены различные демографические группы, обладатели различного уровня образования и форм занятости. Для дальнейшей обработки в рамках данного исследования используется фрагмент базы данных, содержащий две группы переменных (нумерация здесь и далее сохраняется единой):

А) Ощущение защищенности от различных опасностей: (А.1 - От экологической угрозы; А.2 - От притеснений из-за Вашего возраста или пола; А.3 - От произвола чиновников; А.4 - От ущемления из-за Вашей национальности; А.5 - От притеснений из-за Ваших религиозных убеждений; А.6 - От произвола правоохранительных органов; А.7 - От преследований за политические убеждения; А.8 - От бедности; А.9 - От одиночества и заброшенности; А.10 - От преступности)

В) Степень доверия или недоверия (В.1 Суду; В.2 Президенту (губернатору); В.3 Профсоюзам; В.4 Прокуратуре; В.5 Полиции; В.6 Правительству; В.7 Региональным отделениям политических партий; В.8 Законодательному собранию, Думе региона; В.9 Средствам массовой информации (печать, радио, телевидение); В.10 Муниципальным, местным органам управления).

Показатели из обеих групп измерены и отображены в ранговых шкалах.

2. Корреляционный анализ. На начальном этапе работ для выявления взаимосвязей имеющихся переменных был использован коэффициент корреляции Спирмена. Вычисления производились в пакете SPSS. Особый интерес представляли взаимосвязи между переменными, входящими в разные блоки вопросов (об ощущении защищённости от различных угроз и об уровне доверия различным институтам), задачи поиска взаимосвязей внутри блоков на этом этапе не ставились. В таблице 1 приведены значения коэффициентов корреляции Спирмена для всех пар переменных, имеющих достоверные корреляционные связи (p<=0,01).

Таблица 1. Коэффициенты корреляции маркеров доверия социальным институтам и показателей ощущения защищённости

	B.1	**B.2**	**B.3**	**B.4**	**B.5**	**B.6**	**B.7**	**B.8**	**B.9**	**B.10**
A.1	0,256	0,242	0,222	0,199	0,223	0,268	0,278	0,279	0,114	0,208
A.2	0,217	0,232	0,214	0,219	0,220	0,197	0,193	0,182		0,168
A.3	0,288	0,393	0,340	0,294	0,329	**0,400**	**0,406**	0,375	0,190	0,365
A.4	0,122	0,150	0,118	0,114	0,102	0,092				
A.5	0,111	0,216	0,114	0,146	0,132	0,113		0,095		
A.6	0,385	0,391	0,308	0,360	**0,446**	**0,413**	0,342	0,355	0,169	0,351
A.7	0,236	0,283	0,172	0,256	0,280	0,270	0,156	0,197	0,102	0,206
A.8	0,293	0,329	0,259	0,235	0,317	0,336	0,297	0,343	0,168	0,283
A.9	0,192	0,227	0,196	0,205	0,216	0,242	0,176	0,185	0,129	0,225
A.10	0,275	**0,307**	**0,302**	**0,320**	**0,367**	**0,378**	0,2901	**0,320**	0,168	0,276

**Из таблицы исключены коэффициенты корреляции с уровнем значимости более 0.01.*

Как нетрудно заметить из таблицы 1, подавляющее большинство рассмотренных переменных (B.1- B.10**)** имеют достоверные корреляционные связи с переменными другого блока (A.1- A.10**)**, за исключением вопросов о степени защищённости от дискриминации по этническому и религиозному признакам, демонстрирующим одновременно наименьшее количество достоверных корреляционных связей с другими вопросами и малые коэффициенты корреляции там, где достоверные корреляции всё же существуют. Здесь, вероятно, сказывается сложный национальный состав населения области, а так же статус Томска как студенческого города, привлекающего молодёжь из разных регионов России, ближнего и дальнего зарубежья.

3. Факторный анализ. Наличие многочисленных корреляций между рассмотренными переменными позволяет поднять вопрос о возможном наличии в выборке скрытых (латентных) переменных или факторов, объясняющих поведение выборки в пространстве меньшей размерности [1]. Природа имеющихся переменных позволяет применить к ним категориальный метод главных компонент (CATPCA).

Суть данного метода сводится к тому, что каждому уровню категориальной переменной назначаются значения масштаба, оптимальные для решения задачи поиска главных компонент (невозможных в исходном пространстве категориальных переменных). Решение категориального анализа главных компонентов максимизирует корреляции оценок

объектов с каждой из квантифицированных переменных для числа компонентов (измерений) [4].

В ходе исследования выбранного блока переменных и поиска латентных переменных были выделены три фактора (выделение большего количества скрытых переменных нецелесообразно, т.к. уже последующая - четвёртая переменная отсекается принятыми критериями остановки). В таблице 2 приведены показатели для первых трёх выделенных факторов.

Таблица 2. Статистические показатели выявленных факторов

№ компоненты	**альфа Кронбаха**	**коэффициент детерминации**
1	0,919	7,872
2	0,757	3,567
3	0,394	1,599
Суммарно	0,972(a)	13,038

(a) альфа Кронбаха, рассчитанная для собственных значений.

В таблице 3представлены результаты факторного анализа

Таблица 3. Нагрузка компонент (факторов)

	Переменная	**Выделенная компонента (Фактор)**		
		1	**2**	**3**
Защищенность	А.1 экологической угрозы	0,559	0,336	0,259
	А.2 притеснений из-за возраста/пола	0,530	0,496	-0,260
	А.3 произвола чиновников	**0,709**	0,222	0,279
	А.4 расовой дискриминации	0,453	**0,669**	**-0,620**
	А.5 религиозной дискриминации	0,455	**0,645**	**-0,610**
	А.6 полицейского произвола	**0,746**	0,334	0,235
	А.7 политических преследований	0,589	**0,533**	-0,098
	А.8 бедности	**0,656**	0,337	0,449
	А.9 одиночества	0,559	0,436	0,333
	А.10 преступности	**0,687**	0,353	0,406
Доверие	В.1 Суду	**0,638**	-0,350	0,011
	В.2 Президенту (губернатору)	**0,656**	-0,282	-0,048
	В.3 Профсоюзам	0,590	-0,305	-0,077
	В.4 Прокуратуре	**0,633**	-0,388	-0,090
	В.5 Полиции	**0,694**	-0,352	-0,061
	В.6 Правительству	**0,745**	-0,432	-0,094
	В.7 Региональным отделениям политических партий	**0,670**	-0,453	-0,093
	В.8 Думе региона	**0,706**	-0,441	-0,105
	В.9 Средствам массовой информации	0,445	-0,334	-0,172
	В.10 Муниципальным органам управления	0,691	-0,452	-0,102

Приведённые материалы показывают, что ***первая*** из выявленных латентных переменных нагружена достаточно сильно как по показателям защищенности, так и по показателям доверия. При этом, наибольшие значения факторных нагрузок имеют показатели, связанные с защищённости от полицейского произвола - А.6 (0,746), произвола чиновников - А.3 (0,709), преступности и бедности - А.8 (0,656), а также доверия Правительству - В.6 (0,745), Думе региона - В.8 (0,706) и губернатору - В.2 (0,656), правоохранительным органам - В.5 (0,694), органам местного самоуправления, политическим партиям, региона - В.7 (0,670), судебной власти - В.1 (0,687) и прокуратуре - В.4 (0,633).

У ***второго*** выделенного фактора наибольшие значения факторных нагрузок имеют показатели защищённости от расовой дискриминации, бедности и преступности. Таким образом, второй фактор, в основном, нагружен переменными, характеризующими защищённость от угроз.

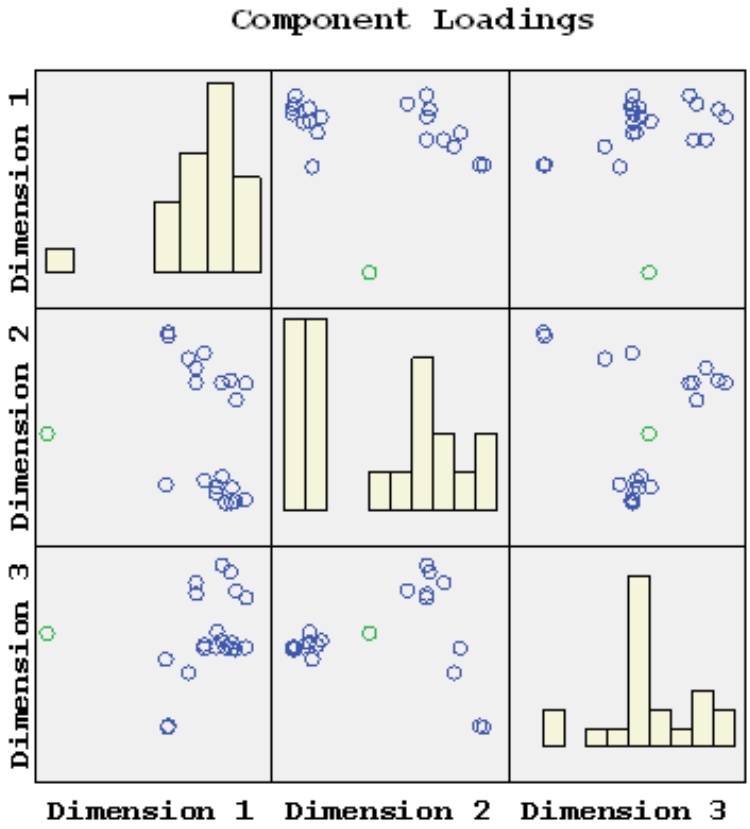

Рис. 2. Графики распределения нагрузок компонент по выявленным факторам

По ***третьей***, и, наименее нагруженной из обнаруженных латентных переменных, наибольшие (по абсолютной величине) значения имеют переменные А.4 (-0,620) и А.5 (-0,620). Поскольку факторные нагрузки в данном случае - отрицательные, третий фактор можно интерпретировать как фактор незащищенности от расовой и религиозной дискриминации.

На рис. 2 показаны группировки исходных переменных в системе координат выявленных факторов.

Объяснение и интерпретация выделенных факторов, а также возможности поиска подобных закономерностей в данных по другим регионам требуют дальнейшей работы.

Заключение. Таким образом, во всём разнообразии рассматриваемых переменных, характеризующих показатели защищённости населения от различных угроз и степени доверия социально-политическим институтам, удалось выделить всего три латентных переменных (фактора), что позволит более эффективно использовать полученные данные в дальнейшем построении социологических моделей. Обнаруженные латентные переменные эффективно покрывают всё множество исходных переменных, однако на текущем этапе требуются дополнительные усилия по сопоставлению полученных данных с материалами других регионов России, а так же более глубокой социологической интерпретации.

Работа выполнялась в рамках гранта РГНФ (проект №15-03-00366) и проекта по пост.220 правительства РФ (договор № 14.Z50.31.0029).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Айвазян С.А., Бухштабер В.М., Енюков И.С., Мешалкин Л.Д. Прикладная статистика. Классификация и снижение размерности. М.: Финансы и статистика. 1989. 607 с.
2. БерестневаО.Г., Шабалдина Н.В., Спицын В.В., Моисеенко А.В. Развитие информационной системы инновационного развития регионов АИРР // Фундаментальные исследования. 2015. № 11–7. С. 1299–1303.
3. Немировский В.Г., Половинко В.С. Возможности модернизации Сибирского Федерального округа // Социологические исследования. 2015. №1. С. 27–34.
4. Официальный сайт IBM Knowledge Center [Электронный ресурс] URL: http://www.ibm.com/support/knowledgecenter/ru/SSLVMB_23.0.0/spss/categories/choosing_catpca.html Доступ свободный.
5. Проблемы социокультурной модернизации регионов России / Под. Ред. Н.И. Лапина, Л.А. Беляевой. М.: Academia. 2013. 416 с.
6. Рейтинг инновационных регионов // Оценка инновационного развития регионов. URL: http://www.i-regions.org/projects/regionsdevelopment
7. Ромашкина Г.Ф. Процессы модернизации в регионах Уральского Федерального округа // Социологические исследования. 2015. №1. С.19–26.
8. Шабалдина Н.В., Спицын В.В., Берестнева О.Г. Информационная система комплексной оценки эффективности инновационного развития региона // Информационные технологии в науке, управлении, социальной сфере и медицине: сборник научных трудов II Международной конференции, 19-22 мая 2015 г., Томск. Томск: Изд-во ТПУ. 2015. С. 572–575.

UDK 51-77

ANALYSIS OF SURVEY DATA USING CORRELATION AND FACTOR ANALYSIS

Sergey V. Romanchukov
Postgraduate student, e-mail: inoy@vtomske.ru
Elena V. Berestneva
Postgraduate student, e-mail: berestneva_l@mail.ru
Taisiya G. Maklakova
Postgraduate student, e-mail: mclakova.t@gmail.com
National Research Tomsk Polytechnic University30, Lenin avenue, 634050, Tomsk, Russia

Abstract. A significant amount of economic and sociological data was accumulated in the Tomsk region during the surveys within the framework of the project "Sociocultural portrait of the region". Now this data are available for comprehensive processing. In this paper, indicators of the subjective sense of respondents' protection from various threats and the degree of their confidence in various social institutions were chosen from the

whole set of received materials in order to find interrelations between them using correlation and factor analysis methods.

Keywords: sociology, socium, structure, correlation, factor, factor analysis.

References

1. Ayvazyan S.A., Buchstaber V.M., Enyukov I.S., Meshalkin L.D. Prikladnaya statistika. Klassifikaciya i snizhenie razmernosti [Applied statistics. Classification and dimensionality reduction]. Moscow. Finansy I statistika = Finance and Statistics. 1989. 607 p. (in Russian).
2. Berestneva O.G., Shabaldina N.V., Spitsyn V.V., Moiseenko A.V. Razvitie Informacionnoj Sistemy Innovacionnogo Razvitiya Regionov AIRR [Design Of AIRR-Regions Innovative Development Information System] // Fundamental Research. 2015. № 11–7. Pp. 1299–1303 (in Russian).
3. Nemirovsky V.G., Polovinko V.S. Vozmozhnosti modernizacii Sibirskogo Federalnogo okruga [The Siberian Federal District Modernization Possibilities] // Sociological studies. 2015. №1. Pp. 27–34. (in Russian).
4. Official web-site of the IBM Knowledge Center [Electronic resource] Available at: http://www.ibm.com/support/knowledgecenter/en/SSLVMB_23.0.0/spss/categories/choosing_catpca.html accessed 07.07.2014. (in Russian).
5. Problemy sociokulturnoj modernizacii regionov Rossii [Problems of Social and Cultural Modernization in Russia] // Under. Ed. N.I. Lapin, L.A. Belyaeva. Moscow. Academia. 2013. 416 p. (in Russian).
6. Rejting innovacionnyh regionov [Rating of innovative regions] // Regional innovative development evaluation Available at: http://www.i-regions.org/projects/regionsdevelopment accessed 07.07.2014. (in Russian).
7. Romashkina G.F. Processy modernizacii v regionah Uralskogo Federalnogo okruga [Modernization Processes in the Ural Federal District] // Sociological studies. 2015. №1. Pp.19–26. (in Russian).
8. ShabaldinaN.V., SpitsynV.V., BerestnevaO.G. Informacionnaya sistemakompleks-noj ocenki ehffektivnosti innovacionnogo razvitiya regiona [Information system for complex regional innovative development effectiveness evaluation] // Information technologies in science, management, social sphere and medicine: collection of scientific papers of the II International Conference, May 19-22, 2015, Tomsk. Tomsk: TPU Publishing House. 2015. Pp. 572–575. (in Russian).

УДК 519.7

УКРОЩЕНИЕ СУБЪЕКТИВНОСТИ В ЗАДАЧАХ АВТОМАТИЗАЦИИ И УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ

Харитонов Валерий Алексеевич
Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой строительного инжиниринга и материаловедения, e-mail: cems@pstu.ru.
Кривогина Дарья Николаевна
Аспирантка, e-mail: darya.krivogina@gmail.com
Сафонов Никита Игоревич
Аспирант, e-mail: saf.nikita@gmail.com
Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
614000, г. Пермь, ул. Куйбышева 109

Аннотация. В статье обсуждаются авторские технологии моделирования индивидуальных предпочтений и их композиций, позволяющие «превзойти человеческую природу» в том числе в вопросах неманипулируемости, ценообразования, принятия согласованных решений, а также автоматизации и управления технологическими процессами производства на основе субъектно-ориентированной многокритериальной оптимизации.

Ключевые слова: субъективность, ценообразование, принятие согласованных решений, автоматизация и управления технологическими процессами производства, субъектно-ориентированная многокритериальная оптимизация.

Введение. Всякое управление субъективно [10], поскольку всегда может быть сопоставлено с субъективным выбором наилучшего управленческого решения на множестве альтернатив. Интересно заметить, что успешный выбор наиболее перспективных решений вполне соответствует поведению демона Максвелла, которое заключается в открытии «виртуальной дверцы» в закрытом сосуде для движущихся внутри него привилегированных молекул. Следовательно, это действие соответствует решению актуальной проблемы противодействия второму началу термодинамики – «тепловой смерти мира». Однако бесценный дар субъективного выбора, свойственный только Человеку [2], имеет противопоказания к применению в случаях сложности задач выбора по параметрам многоальтернативности, многофакторности исходных данных и чувствительности к их динамике, а также в условиях опасности манипулирования результатами со стороны внешней среды. Ключ к преодолению издержек субъективности управления при сохранении ее несомненного позитивного вклада лежит в области «механизации» ментальной деятельности Человека [1] в задачах выбора на основе моделирования его предпочтений с использованием информационных и математических технологий. В работе обсуждаются авторские технологии моделирования индивидуальных предпочтений и их композиций, которые наряду с известными направлениями развития идей кибернетики: («Кибернетика», «Кибернетика второго порядка», «Аутопоезис», «Гомеостатика, «Концептуальные кибернетики третьего и четвертого порядков», «Неокибернетика», «Кибернетика третьего порядка», «Новая кибернетика, посткибернетика», «Методология управления» [5; 6; 7, стр.

22-26; 9] и «Эвергетика» [3; 4]) - позволяют «превзойти человеческую природу и покорить вселенную» [10], в том числе, в вопросах неманипулируемости [1], ценообразования, принятия согласованных решений [11], а также автоматизации и управления технологическими процессами производства на основе субъектно-ориентированной многокритериальной оптимизации [12].

1. Неманипулируемые решения задач выбора. Укрощение субъективности в отношении снижения степени влияния внешних условий на результаты выбора, то есть обеспечения неманипулируемости, достигается [1] путем моделирования ментальной деятельности субъекта выбора. На рисунке 1 представлен процесс передачи ответственности за неманипулируемый выбор на множестве представления (рефлексия 1-го ранга - R^{I}) с субъекта управления на модель его поведения в задаче выбора на полном множестве представления альтернатив (рефлексия 2-го ранга - R^{II}), то есть на системы искусственного интеллекта (рис. 1). При этом происходит повышение ранга рефлексии за счет расхождения мнений субъекта выбора и системы искусственного интеллекта во времени. Процедура моделирования предпочтений декомпозируется на ряд частных задач: субъективный выбор и ранжирование существенных факторов, либо представление их в виде дерева критериев, построение функций приведения этих факторов к общей шкале комплексного оценивания для получения возможности линейной или матричной сверток, соответственно [10]. При этом следует учитывать, что такой подход связан с психологическими издержками субъективизма и особыми правилами и предубеждениями процессов принятия решений в условиях неопределенности [11].

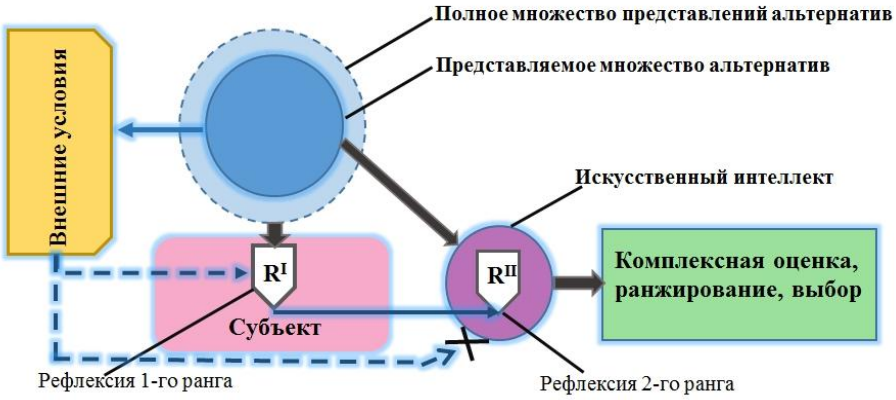

Рис. 1. Концепция принятия неманипулируемых решений в задачах выбора

Принятие неманипулируемых решений, как следует из сказанного выше, непременно строится на основе моделирования ментальной деятельности субъекта выбора, независимо от степени сложности задач выбора. В некотором смысле, для простых задач выбора механизация ментальной деятельности является вынужденной, благодаря неблагоприятным внешним условиям. Для сложных задач, рассматриваемых ниже в качестве полезных иллюстраций укрощения субъективности, эта процедура совершенно необходима даже при благоприятных внешних условиях, поскольку при ее отсутствии проявляется ограниченность природных возможностей человека в решении задач выбора, делая его поведение подобным «бросанию костей» или «полному закрытию двери демона Максвелла», которое приобретает случайный характер.

2. Коллективные решения сложных задач выбора субъектами с пересекающимися интересами.

2.1. Ценообразование. Функция рынка, формирующего спрос, предложение и цену, как правило, не имеет более четкой процедуры, чем торг, в котором проявляются серьезные противоречия между игроками рынка, стремящимися к односторонней выгоде. Актуальной задачей становится нахождение справедливой, согласованной между потребителем и производителем, цены без утомительной и взаиморискованной процедуры торга. Если модели предпочтений строятся на полном множестве представления альтернатив, как это предполагалось в разделе 1, то данная процедура становится неманипулируемой. При этом, как показано ниже, игроки рынка оказываются представленными искусственными интеллектами, то есть моделями их поведения в задачах выбора, а процедура торга превращается в игру соответствующих автоматов.

Можно построить композицию (рис. 2) функций чувствительности (1) и (2) комплексных оценок $\hat{X}$ и $\hat{Y}$ моделей предпочтений обоих участников рынка к частным критериям (цене) в фазовом x_1, y_1 и квалиметрическом X_1, Y_1 пространствах:

$$\hat{X}(X_1)_{X_1=const} = \hat{X}(x_1)_{X_1=const}, \; X_1 = \Phi\Pi(x_1), \; x_1 = \Phi\Pi^{-1}(X_1), \qquad (1)$$

$$\hat{Y}(Y_1)_{Y_1=const} = \hat{Y}(y_1)_{Y_1=const}, \; Y_1 = \Phi\Pi(y_1), \; y_1 = \Phi\Pi^{-1}(Y_1), \qquad (2)$$

где указанные пространства связаны между собой прямыми $\Phi\Pi$ и обратными $\Phi\Pi^{-1}$ функциями приведения.

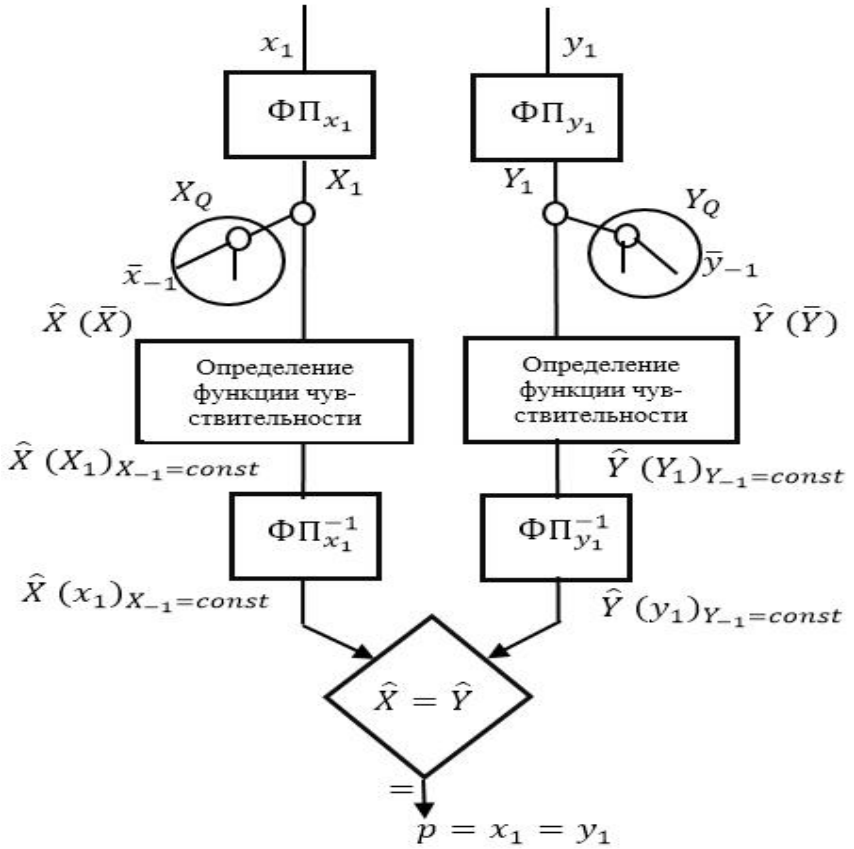

Рис. 2. Процедура субъектно-ориентированного ценообразования

Представленная процедура реализуется посредством варьирования цены $p = x_1 = y_1 \in [p_{\min}, p_{\max}]$ с определением комплексных оценок моделей предпочтений $\hat{X}(x_1)$ и $\hat{Y}(y_1)$ для фиксированных уровней качества $X^*_{Q_X}$, $Y^*_{Q_Y}$ как уровней удовлетворенности участников рынка от варианта сделки с ценой p (рис. 3). Процедура заканчивается при наступлении события $\hat{X}(p^*) = \hat{Y}(p^*)$, которое в равной мере устраивает обоих игроков, что позволяет считать ценообразование завершенным с согласованной ценой (p^*).

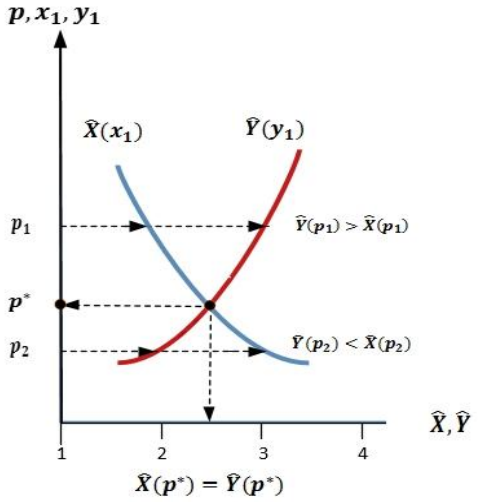

Рис. 3. Иллюстрация процедуры неманипулируемого согласованного ценообразования

Согласование цены произошло вопреки противоположным устремлениям участников рынка к достижению максимального с субъективной точки зрения результата. Подобные ситуации возникают в каждой среде взимодействующих субъектов и для своего разрешения требуют эффективных инструментальных средств преодоления негативного влияния субъективности на принимаемые коллективные решения.

2.2. Согласованные решения на основе обобщенных медианных схем. В отличие от известных процедур нахождения согласованных решений $\hat{X}_{Q_{согл.}}$, строящихся на развитии принципов активной неманипулируемой экспертизы и обобщенной медианы [11], рассмотрим вариант наилучшего соблюдения интересов противостоящих друг другу коалиций I и II из участвующих в принятии решений реальных и виртуальных экспертов с независимыми оценками объекта $\hat{X}_Q(N_{эксп})$, $N_{эксп} = 1,2,3...n$, в котором предлагается использовать процедуру, представленную на рисунке 4.

В качестве примера приводится процедура повышения валидности принимаемых коллективных решений на основе расширения группы экспертов. В известных процедурах согласованные решения на основе обобщенных медианных схем принимаются в условиях волюнтаризма относительно возникающей зоны неопределенности, в рамках которой та или иная коалиция может получить односторонние преимущества. Наилучшее соблюдение интересов противостоящих друг другу коалиций достигается переходом от дискретных функций высказываний реальных и виртуальных экспертов к непрерывным путем использования процедуры интерполяции или графического метода построения вручную, что оправдывается однократным использованием результата. Точка пересечения полученных

непрерывных функций может служить полностью неманипулируемым согласованным решением $X_{Q_{согл.}}$, позволяя преодолеть негативные факторы субъективности.

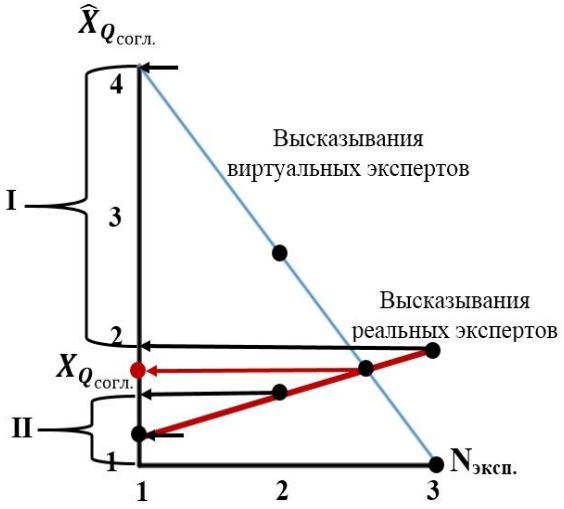

Рис. 4. Усовершенствование эвристики репрезентативности модели ценообразования с более полным учетом интересов коалиций в группе экспертов

Процедуры получения согласованных решений задачи выбора субъектами с пересекающимися интересами успешно использованы [12] при автоматизации и управлении технологическими процессами производства строительных материалов на основе моделирования экономических отношений рынка и производства, а так же субъектно-ориентированной многокритериальной оптимизации.

3. Автоматизация и управление технологическими процессами производства.

3.1. Моделирование экономических отношений рынка. Данная группа задач ориентируется на очевидное сходство между обобщенными формами представления функций спроса / предложения и функциями чувствительности моделей предпочтений потребителя и производителя, соответственно. Неполнота сходства проявляется описанием предпочтений не в фазовых, а в квалиметрических пространствах, а так же доступной многомерностью последних, в то время как фазовые модели рынков ограничиваются на практике двумя-тремя измерениями. Преимущество моделей предпочтений проявляется в высокой степени их чувствительности к многофакторным изменениям области определения и возможности оперативного прогнозирования динамики развития экономических объектов, а также в возможности моделирования на полном множестве представления объектов исследования с целью достижения неманипулируемости принимаемых решений.

Базовая модель решения задач автоматизации и управления технологическими процессами производства является бинарной по числу игроков рынка. Она включает в себя ряд последовательных процедур (рис. 5):

- разработка уравнений регрессии $\bar{x}(U_1,U_2)$ и $\bar{y}(U_1,U_2)$, связывающих в каждом случае значения детерминантов спроса или предложения с параметрами управления технологическим процессом U_1 и U_1;
- формирование одинаковых по размеру массивов данных для каждого детерминанта, кроме детерминантов цен потребителя M_{x_p} $x_p(N_1, N_2)$ и производителя M_{y_p} $y_p(N_1, N_2)$, на

основе уравнений регрессии, а периодов дискретности – на основе ддиапазонов варьирования параметров управления U_1 и U_1;

- построение ФП каждого детерминанта к стандартной квалиметрической шкале [1-4] [11];
- формирование массивов данных с помощью ФП для каждого детерминанта в квалиметрической шкале;
- формирование двух массивов результатов последовательного комплексного оценивания M_{X_p} и M_{Y_p} для каждой одноименной пары элементов цены посредством циклической процедуры варьирования ею в рамках установленного интервала с целью установления искомой согласованной цены по признаку равенства комплексных значений функций приведений (центральный график рис. 5) и заполнения ею одноименной пары элементов, отведенных для размещения значений согласованной цены;
- разработка критериев многокритериальной оптимизации $\hat{X}$ и $\hat{Y}$.

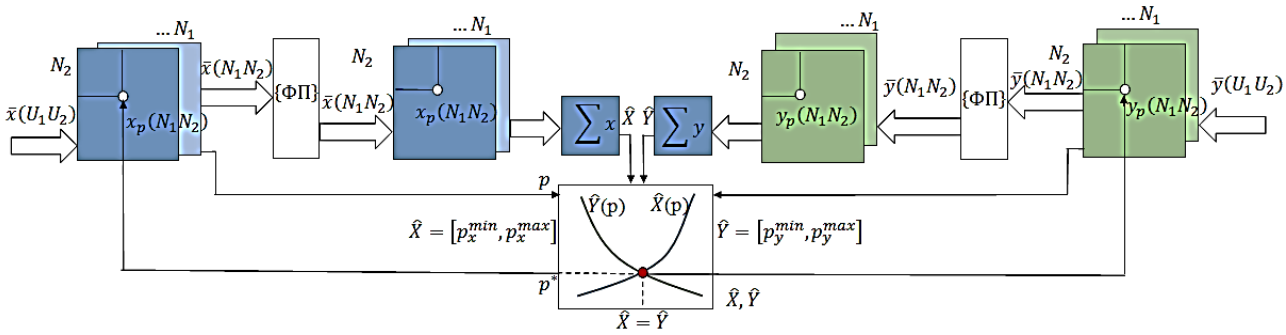

Рис. 5. Модель экономических отношений рынка и производства

3.2. Субъектно-ориентированная многокритериальная оптимизация. Корректным единственным решением задачи многокритериальной оптимизации является наилучшая альтернатива (адрес $(N_1,N_2)_{opt}$) из полного списка, соответствующая настройке параметров технологического процесса $(U_1,U_2)_{opt}$ на выпуск продукции с набором характеристик качества и характеристик затрат производства, максимизирующих заданные функции полезности игроков рынка ($\hat{X}$,$\hat{Y}$) при приоритете функции полезности потребителя. В связи с тем, что цены на продукцию согласованы, можно предложить следующую стратегию задачи оптимизации. На первом этапе максимизируются функции полезности потребителя $\hat{X}$. Если результат единственный, то его адрес в массиве является решением. Если одинаковых результатов максимизации больше единицы, то вступает в действие второй этап, когда некорректность задачи устраняется дополнительным отбором по максимизации ранжированного ряда функции полезности производителя $\hat{Y}$. При наличии различного рода ограничений на предельные значения отдельных характеристик или сформированных из них функций до наступления первого этапа осуществляется процесс исключения альтернатив, неудовлетворяющих заданным ограничениям из полного списка. Исключение ведется с

учетом очевидного правила: обнаружение запретных областей в любом массиве модели (рис. 5) приводит к формированию идентичных запретных областей во всех других массивах.

Описанная процедура непротиворечива, что позволяет формулировать ее в виде алгоритмов, оперирующих с массивами. Подобные процедуры могут быть сформулированы в соответствии с ожиданиями динамики рынка продукции данного технологического процесса.

Заключение. В реальной жизни сохраняется настороженное отношение к самой субъективности как выражение недоверия к человеку - субъекту выбора, принятым им решениям и управлениям [8]. По нашему мнению, эта тенденция сформировалась не на пустом месте, а как следствие принятия неэффективных управленческих решений, связанных со сложными задачами выбора, несоответствующими природным возможностям человека, и проявляется в избыточном количестве нормативно-правовых, институциональных и бюрократических стандартов, ограничивающих акторов в их действиях, в том числе, абсолютно оправданных целесообразных управлениях. Возникает противоречие между очевидной потребностью человека к самовыражению через накопленный уникальный опыт жизни и возможностью самореализации из-за ограниченности человеческих возможностей в ментальной деятельности. Субъектно-ориентированное управление ставит своей целью сохранение и развитие уникальных способностей человека для общества на основе механизмов, повышающих валидность систем управления такого типа и принятия решений.

Представленные в данной работе технологии иллюстрируют широкие возможности повышения эффективности человеческой деятельности в таких ключевых направлениях, как принятие управленческих решений в условиях повышенной сложности задач выбора, включая эпизоды манипулирования, цивилизованного преодоления межчеловеческих противоречий и непонимания в процессах торга, ценообразования и неизбежной субъектно-ориентированной многокритериальной оптимизации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеев А.О., Кривогина Д.Н., Харитонов В.А. Парадигма инженерной поддержки технологий субъектно-ориентированного управления // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (электронный журнал). 2015. № 112. С. 208–229. URL: http://ej.kubagro.ru/2015/08/pdf/15.pdf (дата обращения: 13.02.2017).
2. Вернадский В.И. Избранные сочинения. М.: Изд-во АН СССР. Т.1. 1954. 696 с.; Т.2. 1955. 616 с.
3. Виттих В.А. Проблемы эвергетики // Проблемы управления. 2014. Вып. 4. С. 69–71.
4. Виттих В.А. Понятие интерсубъективности в эвергетике // Онтология проектирования. 2014. № 4 (14) . С. 90–97.
5. Горский Ю.М., Степанов А.М., Теслинов А.Г. Гомеостатика. Гармония в игре противоречий. Иркутск: издательство «Репроцентр А1». 2008. 634 с.
6. Жуков Н.И. Философские основы кибернетики. Минск: БГУ. 1976. 224 с.
7. Новиков Д.А. Навигатор. История кибернетики, современное состояние, перспективы развития. Москва.: ЛЕНАНД. 2016. 160 с.
8. Новиков Д.А. Теория управления организационными системами. М.: Московский психолого-социальный институт. 2005. 581 с.

9. Теслер Г.С. Новая кибернетика. Киев: Логос. 2004. 404 с.
10. Харитонов В.А., Алексеев А.О. Концепция субъектно-ориентированного управления в социальных и экономических системах // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. Краснодар: КубГАУ. 2015. №05(109). С. 690–706. IDA [article ID]: 1091505043. Режим доступа: http://ej.kubagro.ru/2015/05/pdf/43.pdf, 1,062 у.п.л. (дата обращения: 22.03.2017)
11. Харитонов В.А., Гейхман Л.К., Кривогина Д.Н. Механизмы субъектно-ориентированного ценообразования в задачах управления венчурными проектами // Вестник Пермского университета. Сер. «Экономика» .2017. Том 12. № 1. С. 61–77. doi: 10.17072/1994-9960-2017-1-61-77
12. Шаманов В.А., Леонтьев С.В., Курзанов А.Д., Голубев В.А., Харитонов В.А. Современное состояние и перспективы оптимизации технологического процесса производства автоклавного газобетона [Электронный ресурс] // Фундаментальные исследования. 2015. № 5 (часть 3). С. 558–563. URL: http://www.rae.ru/fs/pdf/ 2015/5-3/38300.pdf свободный (дата обращения: 25.03.2017).

UDK 519.7

DETECTION OF SUBJECTIVITY IN TASKS OF AUTOMATION AND MANAGEMENT OF TECHNOLOGICAL PROCESSES

Valerii A. Kharitonov
Doctor of Technical Sciences, Professor,
Head of the Department of Civil Engineering and Material, e-mail: cems@pstu.ru.
Dar'ya N. Krivogina
Postgraduate Student, e-mail: darya.krivogina@gmail.com.
Nikita I. Safonov
Postgraduate Student, e-mail: saf.nikita@gmail.com
Perm National Research Polytechnic University
29, Komsomolsky prospekt, Perm, 614990, Russia

Abstract. The authors discuss the author's technologies for modeling individual preferences and their compositions, which allow "to transcend human nature" including questions of non-manipulability, pricing, acceptance of coordinated decisions, and automation and management of technological production processes on the basis of subject-oriented multi-criteria optimization.

Keywords: subjectivity, pricing, adoption of coordinated decisions, automation and control of technological production processes, subject-oriented multi-objective optimization.

References

1. Alekseev A.O., Krivogina D.N., Kharitonov V.A. Paradigma inzhenernoi podderzhki tehnologii syb"ektno-orientirovannogo upravleniia [Paradigm engineering support of subject-

oriented management technology] // Polimatematicheskii setevoi electronnyi jurnal Kybanskogo gosydarstvennogo agrarnogo yniversiteta (elektronnyi nauchnyi zhurnal) = Multidisciplinary Network Electronic Scientific Journal of the Kuban State Agrarian University. 2015. №112. Pp. 208–229. Available at: http://ej.kubagro.ru/2015/08/pdf/15.pdf (Accessed 13.02.2017). (in Russian)

2. Vernadskii V.I. Izbrannye sochineniia [Selected works]. Moscow. Publ. of Academy of Sciences of USSR. Vol. 2. 1955. 616 p. (in Russian)
3. Vittikh V.A. Problemy evergetiki [Problems of the power industry] // Problemy upravleniia = Problems of management. 2014. №. 4. Pp. 69–71. (in Russian)
4. Vittikh V. A. Poniatie intersub"ektivnosti v evergetike [The concept of intersubjectivity in the theory of power engineering] // Ontologiia proektirovaniia = Ontology design. 2014. №4 (14). Pp. 90–97. (in Russian)
5. Gorskii Iu.M., Stepanov A.M., Teslinov A.G. Gomeostatika. Garmoniia v igre protivorechii [Harmony in the game is anti-dialect]. Irkutsk. Izdatel'stvo «Reprotsentr A1» = Reprocenter A1 Publishing House. 2008. 634 p. (in Russian)
6. Zhukov N.I. Filosofskie osnovy kibernetiki [Philosophical foundations of cybernetics]. Minsk. Belorusskiy gosudarstvennyy universitet = Belarusian State University Publ. 1976. 224 p. (in Russian)
7. Novikov D.A. Navigator. Istoriia kibernetiki, sovremennoe sostoianie, perspektivy razvitiia [Navigator. History of cybernetics, current state, development prospects]. Moscow. LENAND = LENAND Publ. 2016. 160 p. (in Russian).
8. Novikov D.A. Teoriya ypravleniya organizacionnimi sistemami [Organizational systems management theory]. Moscow. Moscovski psihologo-socialnii instityt = Moscow Psychological and Social Institute Publ. 2005. 581 p. (in Russian).
9. Tesler G.S. Novaia kibernetika [New cybernetics]. Kiev. 2004. 404 p. (in Russian)
10. Haritonov V.A., Alekseev A.O. Kontseptsiia sub"ektno-orientirovannogo upravleniia v sotsial'nykh i ekonomicheskikh sistemakh [The concept of agent-based control in social and economic systems] – Politematicheskii setevoi elektronnyi nauchnyi zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta, 2015. iss. 05 №109. Pp. 690–706. Available at http://ej.kubagro.ru/2015/05/pdf/43.pdf (accessed 22.03.2017 г.) (in Russian)
11. Kharitonov V.A., Geikhman L.K., Krivogina D.N. Mechanisms of object oriented pricing in venture project management tasks // Vestnik Permskogo universiteta. Seria Ekonomika = Perm University Herald. Economy. 2017. vol. 12. №. 1. Pp. 61–77. doi: 10.17072/1994-9960-2017-1-61-77 (in Russian)
12. Shamanov V.A., Leont'ev S.V., Kurzanov A.D., Golubev V.A., Kharitonov V.A. Sovremennoe sostoianie i perspektivy optimizatsii tekhnologicheskogo protsessa proizvodstva avtoklavnogo gazobetona [Current state and prospects of process optimization production autoclaved aerated concrete] // Fundamental'nye issledovaniia = Fundamental research. 2015. №5. part 3. Pp. 558–563. Available at: http://www.rae.ru/fs/pdf/2015/5-3/38300.pdf (accessed 25.03.2017). (in Russian)

УДК 519.815

ПРИНЯТИЕ РЕШЕНИЙ С ВЫБИРАЕМОЙ СТРУКТУРОЙ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ

Виноградов Геннадий Павлович
Д.т.н., профессор, e-mail: wgp272ng@mail.ru
Ганичев Алексей Валерианович
Доцент, e-mail: alexej.ganichev@yandex.ru
Кошкина Галина Вячеславовна
Старший преподаватель, e-mail: gkoshkina@rambler.ru
Тверской государственный технический университет,
170023, г. Тверь, ул. Маршала Конева, 12

Аннотация. Понимание процессов выбора связано с тем как люди описывают ситуацию выбора, как делают оценки, как строят представление о возможных результатах при использовании различных способов действия, как оценивают их эффективность. При принятии решений в слабоструктурированных средах важную роль играют субъективные представления о структуре ситуации выбора и способы формирования на их основе правил принятия решений. Показано, что в случае удовлетворенности агента результатами выбора, обратная связь не содержит сигнала о необходимости их корректировки, что порождает ряд проблем при идентификации модели выбора агента.

Ключевые слова: модель выбора, агент, когнитивная психология.

Введение. Исследования в области теории принятия решений в последние годы изменили свое направление от описания процессов выбора с помощью нормативных моделей к изучению фактических процедур принятия решений путем формализации методов и подходов, развитых в рамках когнитивной психологии и теории обработки информации [2, 4, 5]. Смещение акцента исследований связано с необходимостью исследовать причины несоответствия между фактическим и «оптимальным» выбором и сформировать соответствующее рефлексивное управление [3]. Такой подход ставит ряд проблем: 1) как формируются правила выбора человеком? 2) как он проверяет их адекватность и полезность в конкретных ситуациях целеустремленного состояния? 3) как формируются представления человека о ситуации целеустремленного состояния [1]? Важность изучения этих проблем определяется следующим.

А. Понимание процессов выбора связано с тем как люди описывают ситуацию целеустремленного состояния, как делают оценки, как строят представление о возможных результатах при использовании различных правил выбора, как оценивают их эффективность. Способность современной науки дать прогноз о том, в каких условиях будет использована та или иная стратегия поведения человеком, неадекватна современным требованиям [5]. Наличие знания о том, как и при каких условиях правило выбора «усваивается» человеком, должно увеличить адекватность прогнозирования поведения как отдельного человека, так и группы людей.

Б. Исследование процесса выбора должно основываться на переменных окружения, потребностях, мотивах, целях, процессах переработки информации человеком. Наработанные в психологии поведения, организационной психологии и т.п. концептуальные модели должны рассматриваться с позиций их формализации и построения моделей формирования представлений о компонентах ситуации целеустремленного состояния, правил принятия решений. Моделирование позволит избежать ошибок атрибуции и найти способ объяснения поведения человека как факторами внешней среды, так и факторами личностного характера.

В. Использование теоретических результатов объяснения поведения человека на практике привело к появлению тезиса о том, что хотя человек и действует «нерационально», тем не менее, он со временем осваивает оптимальные правила. Применение теории игр для формализации этого процесса базируется на неопределенных утверждениях относительно понятий равновесия, эффективности, адаптивных концепций и т.п. В связи с этим исследование на новой методологической базе, как (и насколько хорошо) люди учатся на основе своего опыта, становится важным при анализе различных подходов в теории выбора и ее дальнейшего развития.

Г. Основной способ понимания человеком полезности созданных им правил выбора – это обратная связь. Она является источником информации для: 1) оценки качества и эффективности правил принятия решений; 2) оценок полезности, положенных в их основу представлений о ситуации целеустремленного состояния; 3) определения направления их корректировки.

Для исследователя обратная связь становиться источником знания о том, как переменные задачи и окружения влияют на способ, которым человек обрабатывает информацию и формирует в памяти субъективные представления о ситуации выбора для объяснения формулирования человеком правил принятия решений, их изучения и использования.

Проблема формализации описания получения знания из опыта. Принятие решения ориентировано на действие, так как человек, выбирая способ действия, осознанно или неосознанно соотносит его со степенью удовлетворения своих субъективно понимаемых потребностей и/или выполнения обязательств. Поэтому, для человека естественно стремление сделать прогноз оценки степени, с которой выбранный способ действия приведет к желательным или нежелательным результатам. Следовательно, он должен иметь в сознании модель, в которой отражается его субъективное представление о связи «действие – результат». Поскольку действия предшествуют результату, человек рассматривает их в виде причинно-следственных отношений. Таким образом, изучение способов, используемых человеком для связывания событий в «причинно-следственные схемы», позволяет формальными средствами выполнять интерпретацию его опыта, то есть понять, как он строит субъективные модели представлений о ситуации целеустремленного состояния и делает оценки полезности этих моделей. Исследователь, изучая связи «действия – результат» выполняет: 1) идентификацию этой модели; 2) строит модель процесса формирования людьми своих вкусов и потребностей.

Поскольку результат может иметь как отрицательную, так и положительную ценность, то качество своих моделей-представлений человек оценивает в форме их *полезности* для получения положительной ценности и избегания нежелательных

результатов. При этом следует иметь в виду, что только путем выбора способа действия, его реализации и мониторинга результатов человек получает информацию о последствиях и усваивает полезность представлений. Поэтому изучение субъективно усваиваемых связей потребность – действие – результат и усвоение их полезности человеком должны быть тесно связаны. Следовательно, нужно иметь представление о модели формирования правила, по которым идет развитие стратегий, так как способы действия, которые разрабатывает человек, напрямую связаны с наличием у него знания о том, какие результаты следует ожидать при их применении. Это обеспечивает выживание и эффективность обучающегося, будем называть его интеллектуальным агентом. Считается, что формирование представлений о ситуации целеустремленного состояния индуктивно по своему характеру и направлено на то, чтобы вырабатывать способы действия, универсальные для классов ситуаций. Как показано Канеманом [5], индуктивный характер получения знаний агентом обладает рядом особенностей:

1. Оказывается, что способ, каким сформулирована проблема, прошлое представление о зависимости результата от способа действия, а также то, как показана или описана определенная реакция (результат), оказывает огромное влияние на то, как человек строит субъективное представление, и правила принятия им решений. В разделах психологии, посвященных проблемным изоморфизмам, показано, что различные способы формулирования идентичных по структуре проблем сильно изменяют субъективное представление у человека о ситуации целеустремленного состояния и, следовательно, принимаемое решение. Поэтому для того, чтобы сделать модели поведения людей реалистичными и пригодными для прогнозирования их поведения, надо уметь идентифицировать субъективную модель ситуации целеустремленного состояния человека, что связано со специфичностью его восприятия проблемы и специфичностью выбора способа действия.

2. *Общность способов действия*. Если человек использует индукцию для выработки правил поведения и формирования знаний, то должно быть столько правил, сколько рассматривается ситуаций целеустремленного состояния. Это не соответствует реальности, так как способ действия человек распространяет на класс ситуаций целеустремленного состояния. Тогда следует предположить существование правил о том, как формулировать правила выбора, которые назовем метаправилами. Когда человек сталкивается с задачами, с которыми он прежде не встречался, то с помощью метаправил он определяет способ, с помощью которого строит определенные правила для решения конкретной проблемы. Метаправила позволяют придать сформированному способу действия общность, необходимую для решения класса задач и учитывать важные эффекты контекста, формулировки, способа ответа и т.п.

3. *Степень привычности способа действия*. Если способ действия усваивается индуктивно, то для его усвоения требуется многократное повторение с многократным подкреплением. Это говорит о наличии обратной связи при его усвоении, но благодаря способу, которым осуществляется обратная связь, и методам, используемым для проверки способа действия, положительное закрепление может происходить и для правил, формально понимаемых как неправильные. Кроме того, степень привычности правил может возрастать как за счет количества закреплений, так и за счет размера или интенсивности закрепления.

Оценка полезности знаний, полученных из опыта. Оценка степени полезности знаний, полученных из опыта индуктивным способом, предполагает сравнение их с оптимальными правилами, которые строятся *дедуктивным методом*. Они, по своей природе, абстрактны и не зависят от контекста. Когда контекст может влиять на полезность такого правила, то в математике используется условие, что правило работает "при прочих равных условиях". На практике "прочие условия" ситуации редко идентичны, что создает значительные трудности при применении оптимальных методов в конкретных ситуациях. Математическая задача имеет свою структуру, имеющую абстрактный характер, соответственно и дедуктивные правила также имеют абстрактный характер. Это требует наличия определенной способности различать наличие таких структур в конкретных задачах, содержащих большое количество деталей и контекстов. Высокие требования к уровню абстрактного мышления при использовании оптимальных правил, а также их абстрактность не позволяют большинству людей «восстановить их из памяти» и делает формальные правила "недоступными" сознанию в определенных случаях. Это следствие того, что для большинства людей характерны организация и сохранение в памяти ситуации выбора по содержанию, а не по структуре, так как такой способ не требует от человека значительных усилий.

Следует отметить, что значительная часть профессиональной подготовки специалиста направлена на его обучение относить проблемы к определенному классу, имеющему конкретную структуру и известное решение. Оптимальные правила выбора, таким образом, становятся "привычными" с помощью обучения. Это приводит к тому, что при столкновении с проблемой профессионалы рассматривают ее в пределах тех структур, видеть которые они были обучены, и для которых им доступны соответствующие правила выбора. Возникает опасность, что когда оптимальные правила будут более привычны для применения, то субъективная модель проблемы будет складываться в несоответствующую структуру только потому, что известен и привычен способ ее решения в пределах этой структуры. Поэтому, хотя обучение профессионала действительно включает знания структур, его знания, как правило, применимы в пределах узко определенной содержательной области.

Существуют ситуации, в которых структуру правила принятия решения трудно определить, но результаты наблюдаемы, часто однозначны и являются в значительной степени функцией структуры применяемого правила выбора. В таких задачах за счет достижения состояния удовлетворения результатами выбора убежденность, что применяемое правило полезно, может возрастать. Однако формализация правила принятия решения может приводить к парадоксальному выводу о том, что человек ведет себя иррационально. Например, покупатель в магазине приобретает сок со следующими ценами и качеством [5]:

Торговая марка	**Цена**	**Качество**
X	60 центов	Высокое
Y	55 центов	Среднее
Z	50 центов	Низкое

Пусть исследователь предположил, что покупатель использует следующее правило выбора: *если различие в цене пять центов или меньше, то выбирать марку с более высоким качеством; если различие в цене больше, чем пять центов, то выбирать согласно цене*.

С формальной точки зрения такое правило является лексикографическим полуупорядочиванием, так как X ≻Y, Y≻ Z, но Z ≻X. Следовательно, с точки зрения теории принятия решений, это правило ведет к *не транзитивному* выбору, который являются *иррациональным*. Так как покупатель выбрал Z, то в соответствии с теорией выбора он поступает иррационально. Но при более детальном выяснении структуры принимаемого решения выяснилось, что после сравнения марки X с Y и выбора X, покупатель исключил Y из множества альтернатив и X сравнивал с Z. Так как качество марки Z было признано удовлетворительным, то выбор оказался приемлемым. Полезность такого правила состоит в том, что были сэкономлены деньги при приемлемом качестве, то есть результат выбора был удовлетворителен. Так как покупатель исключает худшую альтернативу из множества, то фактически выбор является рациональным. Положительный результат, таким образом, увеличивает полезность *нормативно неподходящего правила*, и отсутствует понимание, что, строго говоря, нормативно понимаемое правило не соответствует фактической структуре принимаемого решения.

Следовательно, убежденность в полезности правила выбора играет решающую роль при принятии решения.

Определение 1. Агент убежден в адекватности своих представлений в ситуации типа Ξ относительно цели *G*, если он считает, что выбор способа действия *C* на их основе позволит ее достичь. При этом:

а) он воспринимает часть характеристик *X* ситуации Ξ,

б) относительно другой части он делает предположения и проявляет намерение доказать (проверить) их правдоподобность,

в) в аналогичных ситуациях типа Ξ, в которых он воспринимал присутствие (отсутствие) X и стремился к *G*, выбирая *C*, он всегда достигал *G*,

г) когда он наблюдал отсутствие (присутствие) *X* в ситуации выбора типа Ξ, он никогда не выбирал *C* для достижения цели *G* на основе данного представления.

Определение 2. Уровень убежденности агента в своих представлениях о ситуации выбора типа Ξ относительно цели *G* определяется частотой ее достижения при выборе способа действия *C* на их основе.

Эти определения указывают на индуктивный способ получения знания о полезности правил принятия решений. В вероятностных и слабоструктурированных средах их применение без учета контекста может привести к ошибочным решениям. Однако принимающий решение, тем не менее, может и не осознавать их ошибочность.

Рассмотрим это на примере задачи вооруженных сил защитить страну от вражеского вторжения. Из прошлого опыта известно, что, когда войска противника находятся на границе, вероятность вторжения равна 0.75. Пусть у руководства нет прямого доступа к информации относительно намерений противника, и оно может полагаться только на донесения разведки о его действиях. Первое сообщение – противник начинает сосредоточение на границе. Второе сообщение – противник сосредоточил свою группировку на границе. Руководство должно определить вероятность вторжения и принять решение. Формализуем задачу, обозначим через

H – гипотезу, что будет вторжение,

D – событие, что отряды сосредотачиваются на границе,

D* – сообщение об отрядах, сосредоточенных на границе.

В задаче дано, что p(H|D) = 0.75 и p(D|D*) = 1.0 и нужно оценить вероятность p(H|D*). Было принято, что она равна 0.75 и сделан выбор – нанести упреждающий удар – на основе рассуждения: если из D→ D*, то из D*→H. Но для этого правила, полученного индуктивным путем, возможно p(H|D*) = 0. Здесь особенности задачи скрывают ее реальную структуру, и неправильные представления о ней приводят к нежелательным результатам. Логическая ошибка в принятии решения в данном случае связана с тем, что принимающий решение убежден, что следующее событие будет только подтверждать его правило, что из D* немедленно следует H, хотя известно, что *единственного* исхода недостаточно, чтобы оценить "правильность" вероятностных оценок. Требуется учитывать контекст складывающейся ситуации выбора и исследовать факторы, влияющие на убежденность использования правила выбора.

Этот пример иллюстрирует основной момент: без знания структуры задачи обратная связь может быть несоответствующей или даже вредной для корректировки правила принятия решений, полученного из опыта. Она не дает понять, что используемые правила являются не соответствующими текущей ситуации выбора, так как состояние удовлетворенности результатом не вызывает желания задать вопрос, каким образом был получен желательный результат. Условия, при которых обратная связь исхода не выполняет корректирующей роли в отношении представлений и правил принятия решений, являются несоответствующими реальной структуре ситуации целеустремленного состояния.

В случае не вероятностных оценок можно показать, что обратная связь также не всегда может содержать информацию о необходимости коррекции представлений о ситуации выбора и правил принятия решений.

Заключение. Приведенные рассуждения поднимают ряд проблем, возможные способы решения которых требуется рассмотреть в будущем. Показано, что сочетание активного эксперимента, индуктивного обобщения его результатов с последующим дедуктивным объяснением правильности сделанных выводов позволяет строить модели-представления, сходящиеся к реальным по убеждению. Это дает возможность организовать на этой основе информационное управление путем передачи агенту оснований, из которых тот мог бы логически вывести свое, но предопределенное другой стороной, решение.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Акофф Р., Эмери Ф. О целеустремленных системах. М.: Сов. Радио. 1974. 272 с.
2. Виноградов Г.П. Методы и алгоритмы принятия решений в автоматизированных системах управления производствами с непрерывной технологией на основе субъективных представлений: монография. / Г.П. Виноградов. Тверь: ТГТУ. 2013. 256 с.
3. Лефевр В.А., Смолян Г.Л. Алгебра конфликта. М.: Знание. 1968. 65 с.
4. Simon H.A. Information processing theory of human problem solving. In W. K. Estes (Ed.), Handbook of learning and cognitive processes (Vol. 5). Hillsdale, N.J.: Erlbaurn. 1978. Pp. 145 – 159.
5. Tversky A., Kahneman D. The framing of decisions and the rationality of choice. Science, 1981. 211. Pp. 453 – 458.

UDK 519.815

DECISION MAKING WITH THE SELECTED STRUCTURE OF REPRESENTATIONS IN CONDITIONS OF UNCERTAINTY

Gennady P. Vinogradov
Doctor of technical Sciences, Professor, e-mail: wgp272ng@mail.ru
Alexey V. Ganichev
Associate Professor, e-mail: alexej.ganichev@yandex.ru
Galina V. Koshkina
Senior lecturer, e-mail: gkoshkina@rambler.ru
Tver state technical University, 170023 Tver, street of Marshal Konev, 12,

Abstract. Understanding of selection processes associated with how people describe the choice situation, how to do evaluation as to build a picture of possible results when using different modes of action, how to evaluate their effectiveness. When making decisions in semi-structured environments the important role played by subjective ideas about the structure of a situation of choice and methods of forming them on the basis of decision-making rules. It is shown that in the case of satisfaction of the agent the results of the selection, feedback does not contain a signal about the need for their correction that creates a number of problems in the identification of models of agent selection.
Keywords: the selection model agent, cognitive psychology.

References

1. Akoff R., EHmeri F. O celeustremlennyh sistemah [About purposeful systems] Moscow: Sovetskoye Radio = Soviet Radio. 1974. 252 p. (in Russian)
2. Vinogradov G.P. Metody i algoritmy prinyatiya reshenij v avtomatizirovannyh sistemah upravleniya proizvodstvami s nepreryvnoj tekhnologiej na osnove sub"ek-tivnyh predstavlenij: monografiya [Methods and algorithms of decision-making in automated control systems of manufactures with continuous technology on the basis of subjective representations] / G.P. Vinogradov. Tver'. TGTU. 2013. 256 p. (in Russian)
3. Lefevr V.A., Smolyan G.L. Algebra konflikta [Conflict Algebra] Moscow. Znaniye = Knowledge. 1968. 65 p. (in Russian)
4. Simon H.A. Information processing theory of human problem solving. In W. K. Estes (Ed.), Handbook of learning and cognitive processes (Vol. 5). Hillsdale, N.J.: Erlbaurn. 1978. Pp. 145–159.
5. Tversky A., Kahneman D. The framing of decisions and the rationality of choice. Science. 1981. 211. Pp. 453–458.

УДК 004.822:336.148

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ ПОДДЕРЖКА ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В ПРОЦЕССЕ АУДИТА ФЕДЕРАЛЬНЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ И ПРОЕКТОВ

Ерженин Роман Валерьевич
К.э.н., генеральный директор ООО «НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ГОСУЧЕТ»
143441, Московская область, Красногорский район, 69 км МКАД, п/о Путилково,
офисно-общественный комплекс ЗАО «Гринвуд», стр. 19,
e-mail: rerzhenin@gmail.com

Аннотация. Рассматривается актуальная проблема оценки эффективности информационных систем (ИС) в секторе государственного управления. Приводится перечень основных подходов Счетной палаты РФ к аудиту федеральных информационных систем и проектов. На основании обзора описания информационно-аналитической системы удаленного проведения внешнего государственного аудита и стандарта по аудиту федеральных информационных систем и проектов предложен онтологический подход к решению задачи по поддержке принятия решений. Онтологический подход позволяет систематизировать предметную область аудита ИС, выделить подмножество понятий и отношений между ними и использовать эти знания для решения задач оценки эффективности на всех уровнях государственного управления. Онтология поддержки принятия решений по оценке информационных систем построена в программной системе Protégé, и включает в себя метаонтологию и онтологию предметной области, содержащую понятия области аудита информационных систем и проектов.

Ключевые слова: аудит информационных систем, онтологическая модель, оценка эффективности, бюджет.

Введение. Важнейшим объектом внимания государственного и общественного контроля во всех странах без исключения является эффективность реализации различных общественно значимых проектов, разрабатываемых и реализуемых за счет средств налогоплательщиков. Получатели бюджетных средств обязаны эффективно их использовать в соответствии с их целевым назначением – это один из важнейших принципов бюджетной системы в Российской Федерации.

Аудит эффективности является одним из видов государственного финансового контроля над формированием и исполнением бюджета. Аудит эффективности отличается от финансового контроля тем, что главной целью здесь является не выявление нарушений финансового законодательства, а оценка эффективности деятельности. Органы власти и получатели средств проверяются в целях определения эффективности использования ими государственных (муниципальных) средств, полученных для выполнения возложенных на них функций и поставленных задач. Проверке подвергаются, как правило, конкретные сферы или аспекты их деятельности в соответствии с поставленными целями.

Так, к примеру, предметом аудита федеральных информационных систем и проектов могут являться как информационные системы и (или) информационные проекты, так и отдельная деятельность объектов аудита по реализации мероприятий по информатизации. При этом к задачам аудита могут относиться такие процедуры, как проверка целевого и эффективного использования средств; проверка, анализ и оценка законности, обоснованности и эффективности; выявление нарушений и недостатков; оценка коррупционных рисков; анализ выявленных нарушений, недостатков, установление причин их возникновения и подготовка предложений, направленных на их устранение.

Аудит ИС ставит задачу не только обследования и описания её состояния и компонентов, но и выявления рисков для бюджета и методов их минимизации. Аудитор в современных условиях, как правило, не в состоянии самостоятельно оценить разностороннюю информацию, в том числе размещенную в различных информационных системах учета, вследствие чего появляется необходимость прибегать к помощи внешних экспертов.

1. Удаленный внешний государственный аудит информационных систем. Важными направлениями развития информационно-технологического обеспечения деятельности Счетной палаты РФ является постоянное повышение эффективности применения информационных технологий при проведении государственного аудита (контроля), в том числе использование удаленного доступа к информационным системам государственных органов, развитие электронного документооборота с государственными органами и организациями, учет планирования и результатов государственного аудита (контроля), модернизация аппаратной платформы и технического обеспечения сотрудников.

В 2015 году Счетной палатой создана и введена в эксплуатацию информационно-аналитическая система удаленного проведения внешнего государственного аудита (ИАС УВГА), которая предоставляет возможность осуществлять *поиск необходимой информации* в федеральных государственных информационных системах (ФГИС) государственных органов, в том числе *выявлять нарушения* в сфере государственного финансового контроля, а также получать данные из ФГИС для формирования *аналитической отчетности*. Использование в ИАС УВГА «первичных» данных более чем 100 ФГИС является ключевым отличием от применяемых подходов органов финансового контроля за рубежом, контрольно-надзорных органов в Российской Федерации, использующих информационные технологии при осуществлении контрольной деятельности[1].

Основные характеристики ИАС УВГА:

- система представляет из себя единую точку входа во все ФГИС;
- система обеспечивает поиск необходимых данных по запросу пользователей ФГИС;
- функции системы позволяют выявлять нарушения по заданным алгоритмам, использующим информацию из ФГИС;
- аналитический блок выполняет просмотр и обработку информации, передаваемой из ФГИС.

[1] Отчет о работе Счетной палаты Российской Федерации в 2015 году. Режим доступа: http://www.ach.gov.ru/activities/annual_report/ (дата обращения: 07/03/2017)

Проанализировав функциональные возможности ИАС УВГА, описанные в Конкурсной документации к открытому конкурсу № 003-ок/14[2] на право заключения государственного контракта на выполнение работ по проектированию системы и разработке опытного образца информационно-аналитической системы, можно прийти к выводу, что введенная в эксплуатацию в 2015 году ИАС состоит из двух комплексов программных средств (КПС), отвечающих за проведение аудита и за поддержку основной деятельности. Одной из подсистем КПС «Проведение внешнего государственного аудита» является «Подсистема выявления нарушений», которая, исходя из представленного ЗАО «Прогноз»[3] Организационного-технического решения, содержит:

- алгоритмы автоматизированного выявления нарушений;
- регламенты запуска процессов выявления нарушений;
- алгоритмы обработки и анализа результатов автоматизированного выявления нарушений.

Таким образом «Подсистему выявления нарушений» можно отнести к классу «*Интеллектуальных СППР»* – автоматизированных систем, предназначенных для оказания помощи в принятии решений на основе технологий интеллектуального анализа данных. Интеллектуальная СППР представляет собой комплекс программных инструментальных средств для анализа данных, моделирования, прогнозирования и принятия управленческих решений [7].

Поддержка решений о наличии и составе нарушений осуществляется следующим образом. Аудитор анализирует сведения об объекте аудита и с использованием интерфейса формирует запрос к интеллектуальной СППР. Поиск информации и выявление нарушений осуществляется с использованием базы знаний, содержащей базу правил и классификатор нарушений. В зависимости от заданных параметров и характеристик объекта аудита система осуществляет поиск информации и нарушений либо в полностью автоматическом режиме, либо осуществляет подбор необходимой аналитической информации для проведения дальнейшего анализа экспертом-аудитором. В результате работы интеллектуальной СППР возможно осуществить аудит как отдельных информационных систем на всех этапах их жизненного цикла, так и отдельных проектов или мероприятий. Аудиторы за счет использования экспертной оценки, предоставленной системой, могут принимать обоснованные решения о нарушениях. При этом лица, ответственные за разработку ИС, могут одновременно получать от СППР рекомендации по соблюдению требований, предъявляемые аудиторами к характеристикам системы и проектов. Обучение интеллектуальной СППР подразумевает формирование правил на основе знаний экспертов, знаний, полученных в результате анализа информации внешних информационных систем и ресурсов, прецедентов принятия решений в процессе экспертного аудита ФГИС и проектов. Таким образом, достигается необходимая степень объективности знаний интеллектуальной СППР.

Принятие правильных и своевременных решений при проведении контрольных и экспертно-аналитических мероприятий зависит от корректности построения и наполнения базы знаний СППР, содержащей как описание возможных нарушений, подготовленное на

[2] Информация об открытом конкурсе №0173100008715000084. Режим доступа: https://zakupki.kontur.ru/0173100008715000084 (дата обращения: 07/03/2017)
[3] Там же

основе анализа предметной области и знаний, накопленных экспертами, так и предметной выборки информации из внешних информационных систем. Поэтому задача формирования базы знаний является важнейшей задачей при разработке СППР, общая структура которой приведена на рис. 1.

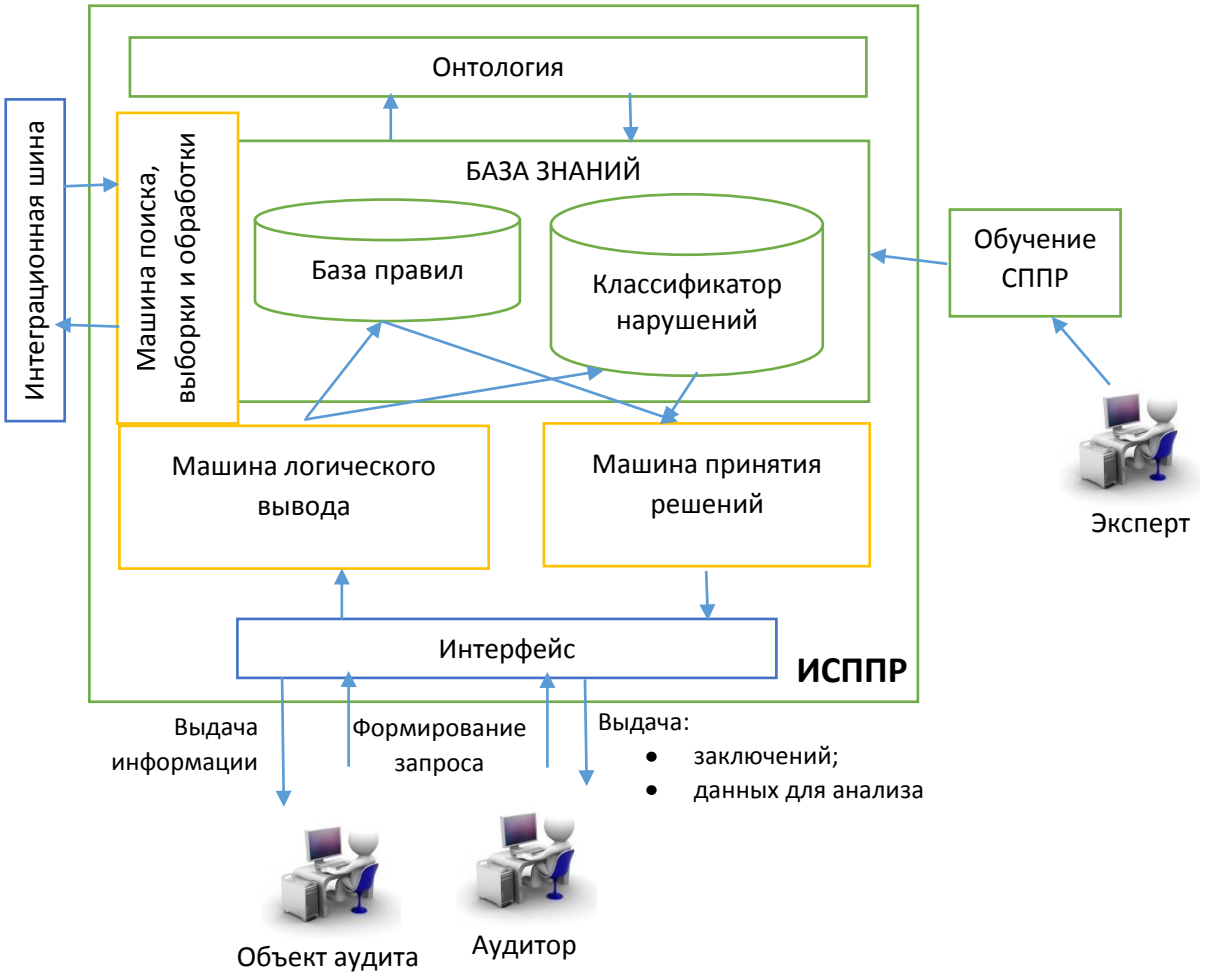

Рис. 1. Схема интеллектуальной поддержки принятия решений в процессе аудита ФГИС

Традиционно СППР оказывают помощь в принятии решений на основе использования данных, документов, знаний и моделей для идентификации и решения проблем [2, 6]. К документам, которые используются при наполнении базы знаний ИСППР по аудиту ФГИС можно отнести внутренние нормативно-методические документы Счетной палаты, а также различные стандарты. Основным документом, регулирующим процедуры аудита ИС, является Стандарт внешнего государственного аудита (контроля) СГА 305 «Аудит федеральных информационных систем и проектов»[4] (далее – Стандарт). Стандарт разработан в соответствии с ФЗ «О Счетной палате Российской Федерации»[5] и с учетом положений международных стандартов ИНТОСАИ[6] для высших органов аудита.

[4] Утвержден Коллегией Счетной палаты 23 декабря 2016 года

[5] Федеральный закон от 5 апреля 2013 г. № 41-ФЗ «О Счетной палате Российской Федерации»

[6] Международная организация высших органов финансового контроля (ИНТОСАИ/INTOSAI) — международная организация, объединяющая высшие органы финансового контроля в странах ООН. Основана в 1953 году. В её членах состоят 192 национальных высших органа финансового контроля. Счётная палата России стала членом ИНТОСАИ в 1995 году.

Целью Стандарта является установление общих требований, характеристик, правил и процедур осуществления Счетной палатой контрольной и экспертно-аналитической деятельности при проведении аудита федеральных ИС и проектов. Задачей Стандарта является определение общего порядка проведения аудита федеральных ИС и проектов на всех этапах их жизненного цикла, а также проверки реализаций объектом аудита мероприятий по информатизации. В стандарте описаны как основополагающие термины и определения, так и представлены формы, методы и этапы проведения аудита федеральных ИС и проектов, в том числе по осуществлению контрольных и экспертно-аналитических мероприятий.

Таким образом, учитывая вышеизложенное, можно сделать вывод о том, что в нормативных и методических документах Счетной палаты и в базе знаний ИСППР содержатся знания как предметной области, так и знания, относящиеся к методам аудита ИС или принятия решений. К знаниям предметной области относятся знания, не зависящие от конкретного приложения и методов решения. Знаниями, относящимися к методу решения задачи, является все, что связано с принятием решений [1]. Из этого следует, что при разработке интеллектуальной СППР в процессе проведения аудита ФГИС и проектов используются следующие модели представления знаний:

- онтологическая модель (базовые понятия, характерные для области аудита ИС и проектов);
- продукционная модель – логический вывод о нарушении (об условиях для совершения нарушения) определяется по системе правил;
- модель представления знаний о предыдущих ситуациях (база прецедентов), позволяющая учесть опыт предыдущих решений аудиторов, а также реакций на их заключения, повысить производительность работы системы.

Интеграция указанных моделей представления знаний, по мнению автора, может осуществляться в рамках онтологического анализа. В целом, все это должно позволить компьютерным программам при помощи онтологий делать умозаключения из представленной информации и манипулировать ими [4].

2. Онтологический подход к построению интеллектуальной СППР по аудиту эффективности ФГИС. Онтология – это спецификация предметной области в виде частично упорядоченного множества понятий, отношений между ними и механизмов управления, необходимых для описания процессов решения задач в рассматриваемой предметной области. Использование онтологии позволяет систематизировать предметную область, выделить подмножество понятий, которые используются для решения поставленных задач, повысить достоверность принимаемых решений [7].

В явном виде онтологии используются как источники данных для многих компьютерных приложений (для информационного поиска, анализа текстов, извлечения знаний и в других информационных технологиях), позволяя более эффективно обрабатывать сложную и разнообразную информацию. Этот способ представления знаний позволяет приложениям распознавать те семантические отличия, которые являются само собой разумеющимися для людей, но не известны компьютеру [4].

Онтологии были предложены Т. Грубером (T. Gruber) для декларативного представления знаний и определяются в общем виде как база знаний специального вида или как «спецификация концептуализации» предметной области [8]. Вопросы онтологического

моделирования в нашей стране рассматривались в работах Гавриловой Т.А., Загорулько Ю.А., Калиниченко Л.А., Когаловского М.Р., Массель А.Г., Массель Л.В., Серебрякова В.А., Тузовского В.Ф., Хорошевского В.Ф., Ямпольского В.З. и др.

Н. Ной [9] упоминает ряд способов использования онтологий, особенно интересными для данного исследования являются такие, как:

- совместное использование людьми или программными агентами общего понимания структуры информации;
- возможность повторного использования знаний в предметной области.

Так, например, для оценки рисков чрезвычайных ситуаций в энергетике А.Г. Массель и Л.В. Массель предлагают использовать авторскую концепцию интеллектуальной ИТ-среды, использующую онтологические модели и базы знаний [5].

Подобные преимущества онтологий в качестве способа представления знаний упрощают их компьютерную обработку и в том числе могут быть использованы при аудите ИС [3]. Подобный подход представляет возможность использовать формализованные знания и для различных типов ИС, разрабатываемых за счет различных бюджетов. Онтологии предоставляют эффективный доступ к информации, дают возможность лучше понять данную информацию об аудите ИС и, следовательно, выполнять более широкий и сложный анализ информации. Этот подход является ярким примером использования онтологий «для совместного использования общего понимания структуры информации людьми или программными агентами», упоминаемого Н. Ной [9].

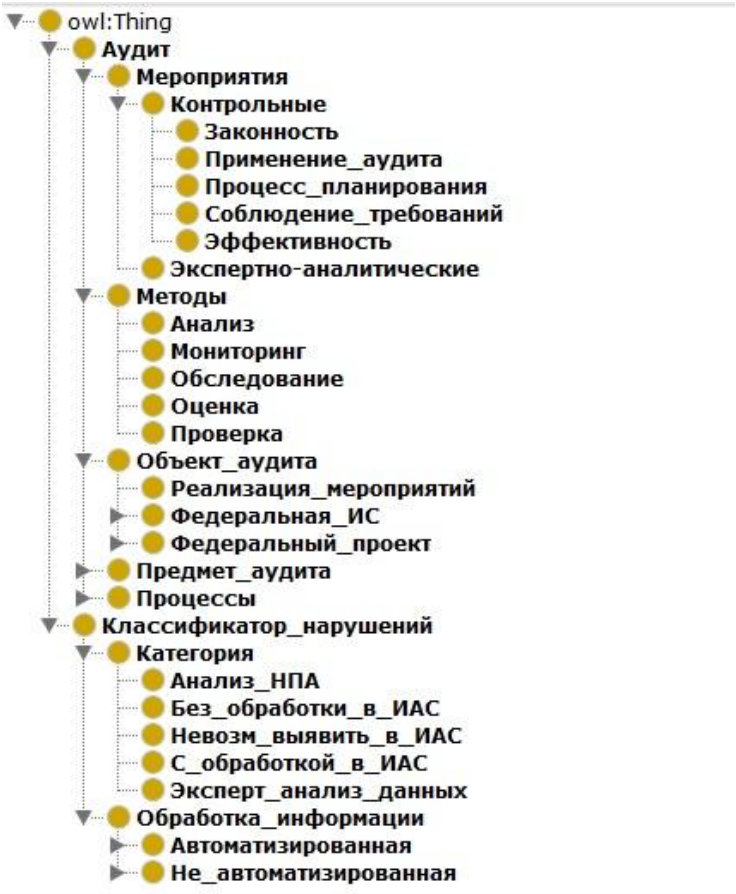

Рис. 2. Окно системы Protégé со сформированной таксономией объектов

Учитывая актуальность вопросов оценивания эффективности информационных систем, считаем необходимым представить программную реализацию онтологии соответствующих знаний в области аудита ИС. На основе нормативных документов и методик, относящихся к области аудита ИС, в программной системе «Protégé» построена таксономия объектов, которые были объединены в иерархию классов и занесены в создаваемую онтологию (рис. 2). В онтологию включены базовые понятия, характерные для области аудита ИС и проектов. Фрагменты графического представления отношений между классами объектов процесса аудита ИС представлены на рис. 3 - 4.

Рис. 3. Графическое представление отношений между классами объектов «Классификатора нарушений»

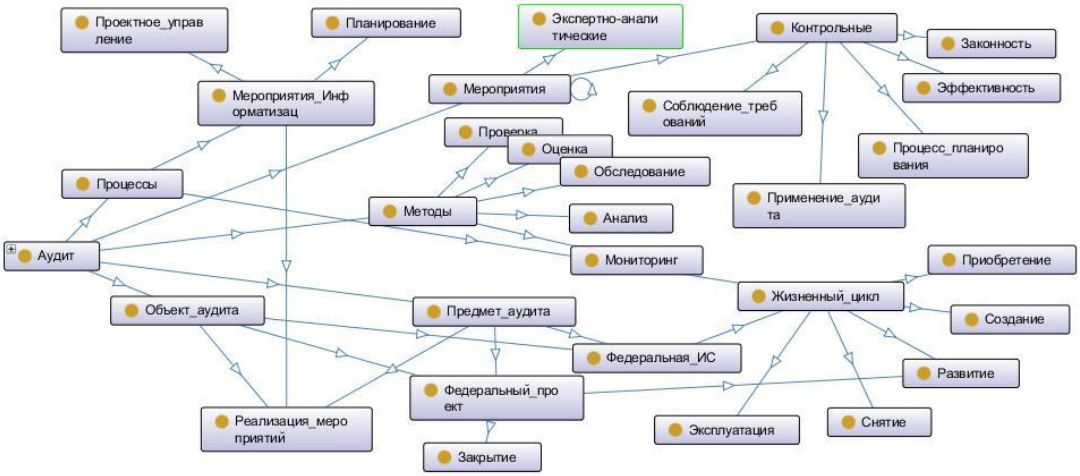

Рис. 4. Графическое представление отношений между классами объектов «Аудит ИС и проектов»

Заключение. Рассмотрен подход к формированию базы знаний для аудита ФГИС на основе построения ИСППР с использованием онтологического анализа. В ходе исследования показано, что:

- информация, расположенная в описании ИАС УВГА и Стандарте, содержит данные, на основе которых можно сформировать базу знаний для принятия решений по оценке эффективности ИС;
- при разработке систем ведения диалога между компьютером и человеком, в случае, когда осуществляется оценка эффективности информационных систем, целесообразно использовать онтологические подходы к извлечению знаний.

Новизна предлагаемого подхода заключается в разработке модели представления знаний по оценке эффективности ИС в формате онтологии (понятия, отношения, аксиомы, экземпляры), позволяющей формально описать спецификации понятий и отношений, характерных для процесса аудита ИС. Разработанная онтология может быть повторно использована в качестве базовой для архитектурного описания различного типа ИС, разрабатываемых и поддерживаемых на всех уровнях бюджетной системы РФ: например, для аудита эффективности информационных систем бухгалтерского учета в секторе государственного управления, а также при реализации крупных проектов по централизации учета на федеральном, региональном и муниципальном уровне управления.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Андреев В.В., Виттих В.А., Батищев С.В. и др. Методы и средства создания открытых мультиагентных систем для поддержки процессов принятия решений // Известия РАН. Теория и системы управления. 2003. № 1. С. 126 – 137.
2. Васильев В.И. Интеллектуальные системы защиты информации: учеб. пособие. 2-е изд. М.: Машиностроение. 2012. 199 с.
3. Грегер С.Э., Поршнев С.В. Построение онтологии архитектуры информационной системы // Фундаментальные исследования. 2013. №10. С. 2405 – 2409.
4. Константинова Н.С., Митрофанова О.А. Онтологии как системы хранения знаний / Всероссийский конкурсный отбор обзорно-аналитических статей по приоритетному направлению «Информационно-телекоммуникационные системы». 2008. 54 с.
5. Массель Л.В., Массель А.Г. Интеллектуальные вычисления в исследованиях направлений развития энергетики // Известия Томского политехнического университета. 2012. Т.321. №5. С. 135 – 140.
6. Поддержка принятия решений при стратегическом управлении предприятием на основе инженерии знаний / Л.Р. Черняховская, Е.Б. Старцева, П.В. Муксимов, К.А. Макаров, А.И. Малахова. Уфа: АН РБ. Гилем. 2010. 128 с.
7. Сагитова В.В., Васильев В.И. Интеллектуальная поддержка принятия решений по аудиту информационных систем персональных данных на основе построения онтологий // Известия ЮФУ. Технические науки. 2015. №5. С. 6 – 17.
8. Gruber Th. What is an Ontology. Режим доступа: http://www-ksl.stanford.edu/kst/whatis-an-ontology.html (дата обращения 20.03.2017).
9. Noy N., McGuinness D. L. Ontology Development 101: A Guide to Creating Your First Ontology. // Stanford Knowledge Systems Laboratory Technical Report KSL-01-05 and Stanford Medical Informatics Technical Report SMI-2001-0880, March 2001. Режим доступа: http://protege.stanford.edu/publications/ontology_development/ontology101.html (дата обращения 20.03.2017).

UDK 004.822: 336.148

INTELLECTUAL SUPPORT OF DECISION-MAKING IN PROCESS OF AUDIT FEDERAL INFORMATION SYSTEMS AND PROJECTS

Roman V. Erzhenin
PhD in economics,
General Director of "NAUCHNO-PRACTICHESKI CENTER GOSUCHET" LTD
143441, Moscow region, Krasnogorsk district, 69 km of MKAD, p/o Putilkovo,
office and public complex of ZAO Greenwood, str. 19
email: rerzhenin@gmail.com

Abstract. The actual task of assessing the effectiveness of information systems in the public administration is considered. A list of the main approaches of the Accounts Chamber of the Russian Federation to the audit of federal information systems and projects is given. Based on the review of the description of the information-analytical system for remote implementation of external state audit and the standard for the audit of federal information systems and projects, an ontological approach to solving the

decision support task is proposed. The ontological approach allows us to systematize the subject area of the IP audit, identify a subset of concepts and relations between them and use this knowledge to solve problems of effectiveness evaluation at all levels of government. The ontology of decision support for the evaluation of information systems is built in the Protégé program system, and includes metaontology and ontology of the subject area, containing the concepts of the field of audit of information systems and projects.

Keywords: audit of information systems, ontological model, efficiency evaluation, budget.

References

1. Andreev V.V., Wittich V.A., Batishchev S.V. et al., Metody i sredstva sozdaniya otkrytykh mul'tiagentnykh sistem dlya podderzhki protsessov prinyatiya resheniy [Methods and tools for designing open multiagent systems for supporting decision-making processes] // Izvestiya RAN. Teoriya i sistemy upravleniya = Journal of Computer and Systems Sciences International. 2003. T. 42. № 1. Pp. 122-131. (in Russian).
2. Vasiliev V.I. Intellektual'nyye sistemy zashchity informatsii: ucheb. posobiye [Intellectual systems of information security: textbook] Allowance. 2 nd ed. M .: Mechanical Engineering. 2012. 199 p. (in Russian).
3. Greger S.E., Porshnev S.V. Postroyeniye ontologii arkhitektury informatsionnoy sistemy [Construction of the ontology of the architecture of the information system] // Fundamental'nyye issledovaniya = Fundamental research. 2013. №10. Pp. 2405 – 2409. (in Russian).
4. Konstantinova N.S., Mitrofanova O.A. Ontologii kak sistemy khraneniya znaniy [Ontology as a knowledge storage system] // all-Russian competitive selection of review-analytical articles on the priority direction "Information and telecommunication systems". 2008. 54 p. (in Russian).
5. Massel' L.V., Massel' A.G. Intellektual'nye vychislenija v issledovanijah napravlenij razvitija jenergetiki [Intellectual computations in researches of the directions of energy development] // Izvestija Tomskogo politehnicheskogo universiteta = Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. 2012. T.321. №5. Pp. 135 – 140 (in Ruaaian)
6. Podderzhka prinyatiya resheniy pri strategicheskom upravlenii predpriyatiyem na osnove inzhenerii znaniy [Support of decision making in strategic enterprise management based on knowledge engineering] / L.R. Chernyakhovskaya, E.B. Startseva, P.V. Muksimov, K.A. Makarov, A.I. Malakhova. Ufa: Academy of Sciences of Belarus. Gilem. 2010. 128 p. (in Russian).
7. Sagitova V.V., Vasilyev V.I. Intellektual'naya podderzhka prinyatiya resheniy po auditu informatsionnykh sistem personal'nykh dannykh na osnove postroyeniya ontologiy [Intellectual support for decision-making on the audit of information systems of personal data based on the construction of ontologies] // Izvestiya YUFU. Tekhnicheskiye nauki = Izvestiya SFedU. Engineering Sciences. 2015. №5. Pp. 6 – 17. (in Russian).
8. Gruber Th. What is an Ontology. Available at: http://www-ksl.stanford.edu/kst/whatis-an-ontology.html
9. Noy N., McGuinness D.L. Ontology Development 101: A Guide to Creating Your First Ontology // Stanford Knowledge Systems Laboratory Technical Report KSL-01-05 and Stanford Medical Informatics Technical Report SMI-2001-0880, March 2001. Available at: http://protege.stanford.edu/publications/ontology_development/ontology101.html

УДК 501-77:519.24:658.7.01

ПОДДЕРЖКА ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ УПРАВЛЕНИИ МНОГОНОМЕНКЛАТУРНЫМИ ЗАПАСАМИ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ

Истомина Алена Андреевна
Инженер кафедры технологии электрохимических производств, e-mail: alenaist@yandex.ru
Бадеников Виктор Яковлевич
Доктор технических наук, профессор кафедры автоматизации технологических процессов, e-mail: badenikovVY@angtu.ru
Истомин Андрей Леонидович
Доктор технических наук, профессор кафедры вычислительных машин и комплексов, e-mail: a.l.istomin@mail.ru
Ангарский государственный технический университет,
665830, г. Ангарск, ул. Чайковского, 60

Аннотация. Предложена многоэтапная процедура выработки решений по управлению многономенклатурными запасами в условиях неопределенности. В связи с неопределенностью и отсутствием достоверной информации о характеристиках спроса практическое решение задачи управления запасами опирается на многоэтапную процедуру, суть которой заключается в том, что на первых этапах строятся прогнозные модели спроса на запасы, а затем на основе полученных прогнозных значений спроса решается задача управления запасами, построенная на основе теории массового обслуживания.

Ключевые слова: управление запасами, системы массового обслуживания, оптимизация.

Введение. Создание запасов, их хранение, расход и восполнение характерны для всех видов хозяйственной деятельности – от домашних хозяйств до экономики в целом. Основной задачей управления запасами с которой сталкиваются предприятия, снабженческие и торговые организации является принятие решений относительно размера партий на восполнение запасов и «точки заказа» (критический уровень запасов).

Очевидно, что решение задачи управления запасами возможно лишь с помощью компьютерных автоматизированных систем выработки решений. В последнее время получили большое распространение системы поддержки принятия решений (СППР), помогающие человеку в задачах выбора. В настоящей работе предложены подходы и процедуры управления запасами в сторону потенциальных массовых приложений, поддерживающих принятие решений по управлению запасами в условиях неопределенности.

1. Нахождение оптимальной стратегии управления запасами. Одной из самых распространенных стратегий управления запасами является система с фиксированным размером заказа [2, 6, 8]. В такой системе размер заказа является постоянной величиной, повторный заказ подается при уменьшении наличных запасов до определенного критического уровня.

В подавляющем большинстве известных моделей управления запасами система с

фиксированным размером заказа строится из предположения о детерминированности спроса, а оптимальный размер заказа запасов Q определяется формулой Уилсона [2, 5, 7]:

$$Q = \sqrt{2C_1 S / C_2}\ ,$$

где S – спрос на запас на горизонте управления; C_1 – затраты на выполнение заказа; C_2 – затраты на хранение единицы запаса на горизонте управления.

Формула Уилсона пригодна для идеального случая, когда спрос на запасы S заранее известен, уровень запасов уменьшается с постоянной интенсивностью, и как только он достигает нуля, немедленно поступает новая партия запасов размером Q.

В практике управления запасами такие ситуации встречаются крайне редко. Во-первых, регулярно приходится сталкиваться с проблемами задержки времени между заказом партии и моментом его подачи. Кроме того, фактический спрос на запасы часто не совпадает с прогнозируемым, возникает дефицит запаса, либо имеет место переизбыток запасов. Кроме того, формула Уилсона не учитывает потери, связанные с дефицитом запасов.

В работе поставлена и решена задача оптимизации системы управления запасами, построенная на основе теории массового обслуживания, которая учитывает вероятностный характер спроса.

1.1. Модель задачи управления запасами при случайном спросе. Анализ задачи управления запасами показал, что многие ситуации управления товарными запасами можно рассматривать как задачи массового обслуживания – не только в том смысле, что покупатели могут простоять в очереди за товарами, но и в том смысле, что товары, ожидающие покупателей, также образуют очереди [3-5]. Если покупатели отсутствуют, то запасы товаров увеличиваются. Если нет очереди товаров (нет запасов), то имеет место дефицит, покупатели не обслуживаются. Если в качестве требований и заявок в системе массового обслуживания (СМО) считать запасенные товары, а обслуживающие устройства – покупателей товаров, то зная интенсивность прибытия покупателей, можно определить оптимальную интенсивность поступления товаров в условиях тех или иных ограничений.

Пусть спрос на запасы является пуассоновским с интенсивностью μ единиц в единицу времени, а длительность промежутка времени от момента подачи заказа до момента поступления партии запасов имеет показательное (экспоненциальное) распределение. При показательном законе и потоке событий с интенсивностью λ среднее время доставки заказа составляет $T = 1/\lambda$.

Пусть при уменьшении уровня запасов до критического уровня P заказывается количество запаса, равное Q единицам, таким образом, что

$$P + Q = M\ , \tag{1}$$

где M – максимальный уровень запаса.

Будем считать, что максимальное количество запаса M известно. Тогда определению подлежит «точка заказа» P и объем партии Q. Очевидно, что, определив любое из этих значений, второе можно найти из уравнения (1).

Обозначим через P_n вероятность того, что в наличии имеются n единиц запаса.

Применение правила «заказывать Q единиц запаса, когда уровень запасов уменьшится до P, и заказывать M единиц запаса, когда уровень запасов уменьшается до нуля», означает, что:

1) система массового обслуживания S переходит из состояния S_n в состояние S_{n-1} при потреблении единицы запаса с интенсивностью μ;

2) система S переходит из состояния S_n ($n \neq 0$) в состояние S_{n+Q} и из состояния S_0 в состояние S_M, при пополнении запаса с интенсивностью λ.

В общем виде уравнения для вероятностей состояний системы с пополнением запасов партиями имеют следующий вид

$$\frac{dP_0}{dt} = -\lambda P_0 + \mu P_1, \tag{2}$$

$$\frac{dP_n}{dt} = -\lambda P_n - \mu P_n + \mu P_{n+1}, \text{ для } n \le P, \tag{3}$$

$$\frac{dP_n}{dt} = -\mu P_n + \mu P_{n+1}, \text{ для } P < n \le R, \tag{4}$$

$$\frac{dP_n}{dt} = \lambda P_{n-R} - \mu P_n + \mu P_{n+1}, \qquad \text{для } R < n < M, \tag{5}$$

$$\frac{dP_M}{dt} = \lambda P_0 + \lambda P_{M-R} - \mu P_M. \tag{6}$$

Стационарные решения системы уравнений (2) – (6):

$$P_n = P_0\left(\frac{\lambda}{\mu}\right)\left(\frac{\mu+\lambda}{\mu}\right)^{n-1}, \text{ для } 0 < n \le P, \tag{7}$$

$$P_n = P_0\left(\frac{\lambda}{\mu}\right)\left(\frac{\mu+\lambda}{\mu}\right)^{P}, \text{для } P < n \le M - P + 1, \tag{8}$$

$$P_n = P_0\left(\frac{\lambda}{\mu}\right)\left[1 + \left(\frac{\mu+\lambda}{\mu}\right)^{P} - \left(\frac{\mu+\lambda}{\mu}\right)^{n-Q-1}\right], \text{для } M - P + 1 < n \le M, \tag{9}$$

где

$$P_0 \approx \frac{\mu^{P+1}}{(\mu+\lambda)^P(\mu+Q\lambda)}. \tag{10}$$

Среднее число запасов, находящихся в системе в стационарном режиме определяется по формуле

$$\bar{n} \approx \frac{\mu^{P+1}}{(\mu+\lambda)^P(\mu+Q\lambda)} \cdot \frac{\lambda}{\mu} \times \left[\frac{1-\left(\frac{\mu+\lambda}{\mu}\right)^P\left(P+1-P\frac{\mu+\lambda}{\mu}\right)}{\left[1-\left(\frac{\mu+\lambda}{\mu}\right)\right]^2} + \right.$$
$$\left. + \left(\frac{M(M+1)-P(P+1)}{2}\right)\left(\frac{\mu+\lambda}{\mu}\right)^P\right]. \tag{11}$$

Следует обратить внимание на то, что формулы (10) и (11) для расчета вероятности дефицита запасов P_0 и среднего числа запасов $\bar{n}$ являются приближенными. Это связано с тем, что не удалось найти компактные аналитические выражения для P_0 и $\bar{n}$ (далее будет

показано, что нахождение оптимального решения задачи управления запасами даже при компактных приближенных выражениях приводит к сложным математическим выкладкам).

Сравнение результатов расчетов P_0 и $\bar{n}$, полученных по точным и приближенным выражениям, показало, что значения не сильно отличаются друг от друга. Максимальная относительная ошибка для разных M, P и Q не превышала 15 %.

Обозначим через C_1 издержки выполнения заказа, а через C_2 – затраты на хранение единицы запаса. Если спрос на запас на горизонте управления составляет μ, то количество заказов в установившемся режиме будет равно μ / Q.

Тогда общие издержки управления запасами, включая потери, связанные с дефицитом запасов составят

$$F = C_1 \frac{\mu}{Q} + C_2 \bar{n} + C_3 P_0, \tag{12}$$

где C_3 – потери, вызванные отсутствием запасов.

Подставим в выражение (12) вместо P_0 и $\bar{n}$ выражения (10) и (11) соответственно, получим

$$F = C_1 \frac{\mu}{Q} + C_3 \frac{\mu^{P+1}}{(\mu+\lambda)^P (\mu + Q\lambda)} + C_2 \frac{\mu^{P+1}}{(\mu+\lambda)^P (\mu + Q\lambda)} \cdot \frac{\lambda}{\mu} \times$$
$$\times \left[\frac{1 - \left(\frac{\mu+\lambda}{\mu}\right)^P \left(P + 1 - P\frac{\mu+\lambda}{\mu}\right)}{\left[1 - \frac{\mu+\lambda}{\mu}\right]^2} + \left(\frac{M(M+1) - P(P+1)}{2}\right)\left(\frac{\mu+\lambda}{\mu}\right)^P \right]. \tag{13}$$

Нас интересуют критический уровень запаса P и объем каждой партии Q, минимизирующие F. Поскольку P и Q связаны уравнением (1) подставим в (13) $M - P$ вместо Q:

$$F = C_1 \frac{\mu}{M-P} + C_2 \frac{\mu^{P+1}}{(\mu+\lambda)^P (\mu + (M-P)\lambda)} \cdot \frac{\lambda}{\mu} \times \left[\frac{1 - \left(\frac{\mu+\lambda}{\mu}\right)^P \left(P + 1 - P\frac{\mu+\lambda}{\mu}\right)}{\left[1 - \frac{\mu+\lambda}{\mu}\right]^2} + \right.$$
$$\left. + \left(\frac{M(M+1) - P(P+1)}{2}\right)\left(\frac{\mu+\lambda}{\mu}\right)^P \right] + C_3 \frac{\mu^{P+1}}{(\mu+\lambda)^P (\mu + (M-P)\lambda)}. \tag{14}$$

Возьмем производную от F по P и приравнивая ее к нулю, получим

$$
\begin{aligned}
&\frac{C_1\mu}{(M-P)^2}-\frac{C_3\mu^{P+1}\ln(\mu+\lambda)}{\mu+\lambda(M-P)(\mu+\lambda)^P}+\\
&+\frac{C_3\mu^{P+1}\lambda}{\mu+\lambda(M-P)^2(\mu+\lambda)^P}+\frac{C_3\mu^{P+1}\ln(\mu)}{\mu+\lambda(M-P)(\mu+\lambda)^P}+\\
&+\frac{C_2\mu^{P+1}\lambda\left[\dfrac{\left(\dfrac{\mu+\lambda}{\mu}\right)^P\left(\dfrac{\mu+\lambda}{\mu}-1\right)-\left(\dfrac{\mu+\lambda}{\mu}\right)^P\ln\left(\dfrac{\mu+\lambda}{\mu}\right)\left(P-P\dfrac{\mu+\lambda}{\mu}+1\right)}{\left(\dfrac{\mu+\lambda}{\mu}-1\right)^2}\right]}{\mu\,\mu+\lambda(M-P)(\mu+\lambda)^P}-\\
&-\frac{C_2\mu^{P+1}\lambda^2\left[\dfrac{\left(\dfrac{\mu+\lambda}{\mu}\right)^P\left(P-P\dfrac{\mu+\lambda}{\mu}+1\right)-1}{\left(\dfrac{\mu+\lambda}{\mu}-1\right)^2}-\left(\dfrac{\mu+\lambda}{\mu}\right)^P\left[\dfrac{M(M+1)}{2}-\dfrac{P(P+1)}{2}\right]\right]}{\mu\,\mu+\lambda(M-P)^2(\mu+\lambda)^P}-\\
&-\frac{C_2\mu^{P+1}\lambda\left[\dfrac{\left(\dfrac{\mu+\lambda}{\mu}\right)^P\left(P+\dfrac{1}{2}\right)+\left(\dfrac{\mu+\lambda}{\mu}\right)^P\ln\left(\dfrac{\mu+\lambda}{\mu}\right)\left[\dfrac{M(M+1)}{2}-\dfrac{P(P+1)}{2}\right]}{\left(\dfrac{\mu+\lambda}{\mu}-1\right)^2}\right]}{\mu\,\mu+\lambda(M-P)(\mu+\lambda)^P}+\\
&+\frac{C_2\mu^{P+1}\lambda\ln(\mu+\lambda)\left[\dfrac{\left(\dfrac{\mu+\lambda}{\mu}\right)^P\left(P-P\dfrac{\mu+\lambda}{\mu}+1\right)-1}{\left(\dfrac{\mu+\lambda}{\mu}-1\right)^2}-\left(\dfrac{\mu+\lambda}{\mu}\right)^P\left[\dfrac{M(M+1)}{2}-\dfrac{P(P+1)}{2}\right]\right]}{\mu\,\mu+\lambda(M-P)(\mu+\lambda)^P}-\\
&-\frac{C_2\mu^{P+1}\lambda\ln(\mu)\left[\dfrac{\left(\dfrac{\mu+\lambda}{\mu}\right)^P\left(P-P\dfrac{\mu+\lambda}{\mu}+1\right)-1}{\left(\dfrac{\mu+\lambda}{\mu}-1\right)^2}-\left(\dfrac{\mu+\lambda}{\mu}\right)^P\left[\dfrac{M(M+1)}{2}-\dfrac{P(P+1)}{2}\right]\right]}{\mu\,\mu+\lambda(M-P)(\mu+\lambda)^P}=0.
\end{aligned}
\tag{15}
$$

Решая уравнение (15) можно найти оптимальное значение критического уровня запаса P, а по уравнению (1) оптимальный размер заказа Q.

1.2. Пример решения задачи оптимизации управления запасами. Пусть спрос на запас составляет 200 единиц в неделю. Максимальный объем запаса не должен превышать 40 единиц. Среднее время доставки заказа составляет 6,7 часов или 0,04 недели. Оформление одного заказа обходится в 2000 рублей, а доход от реализации единицы запаса – 200 рублей. Стоимость хранения единицы запаса в неделю обходится в 50 рублей. Потери в связи с отсутствием запаса в течение недели составляют 10000 рублей.

Требуется определить оптимальную стратегию пополнения запасов при которой прибыль от реализации запасов будет максимальной.

Из уравнения $T=1/\lambda$ найдем интенсивность потока пополнения запаса λ:

$$\lambda=\frac{1}{0{,}04}=25\,.$$

Далее, для найденного $\lambda = 25$ и заданных $\mu = 200$, $M = 40$, $Z = 200$, $C_1 = 2000$, $C_2 = 50$ и $C_3 = 10000$ из уравнения (15) находим оптимальное значение критического уровня запаса $P^* = 7{,}16$. Округляя решение до ближайшего целого получаем значение 7.

Тогда оптимальная стратегия управления запасами будет заключаться в следующем: каждый раз, когда уровень запаса достигает 7 единиц, следует заказывать 33 единицы запаса.

При данной стратегии вероятность дефицита P_0 будет равна 0,086, средний уровень запаса $\bar{n}$ составит 20 единиц, а ожидаемая прибыль аптеки от продажи ЛС в неделю будет равна 22600 рублей.

2. Снижение размерности задачи управления запасами. Задача управления многономенклатурными запасами имеет высокую размерность не только в части наименований запасов, но и числа идентифицируемых параметров моделей управления запасами. Так, например, ассортимент даже небольшого универсама включает в себя несколько тысяч наименований товаров. Решение задачи оптимизации управления запасами при случайном спросе на товары для такого универсама приводит к задаче с сотнями тысяч переменных.

Важным инструментом снижения размерности задачи управления запасами выступает так называемый *ABC*-анализ [7, 9]. Суть *ABC*-анализа состоит в том, чтобы разбить все множество запасов на несколько групп (как правило, три) так, чтобы в группу *A* вошло относительно небольшое число наиболее значимых с точки зрения приносимой прибыли или понесенных издержек запасов, в группу *B* – менее значимые запасы, и, наконец, в группу *C* – все оставшиеся наименования запасов. Хорошим результатом разбиения на группы принято считать тот, при котором в группе *A* оказывается не более 10 % наименований запасов с долей в прибыли от продаж или понесенных издержек до 80 %, в группу *B* включается 15-30 % наименований запасов с долей прибыли или понесенных издержек до 15 %, а в группу *C* – оставшиеся 65-80 % наименований запасов и их доля в общей прибыли или общих издержках от 5 до 15 %. Отыскание хорошего решения *ABC*-анализа оказывает решающее значение в достижении эффективности СППР управления запасами.

Для решения задачи *ABC*-классификации запасов применяются различные методы – от чисто эмпирических до хорошо формализованных (кластеризация, автоматическая классификация и др.) [7]. Наиболее простым в реализации *ABC*-классификации с участием лица, принимающего решения, является дифференциальный метод [9]. При использовании дифференциального метода границы между группами *A, B* и *C* определяются в несколько этапов. На первом этапе рассчитывается годовая сумма расходов (доходов) по всей номенклатуре запасов, на втором этапе рассчитываются средние расходы (доходы) на одно наименование запасов. На третьем этапе осуществляется разделение на группы. В группу *A* включают запасы, расходы (доходы) на которые в 6 и более раз превышают среднее значение, в группу *C* – запасы, расходы (доходы) на которые меньше среднего значения в 2 и более раза, остальные позиции входят в группу *B*.

Приведем в качестве примера таблицу результатов, полученных при разбиении дифференциальным методом лекарственных препаратов, реализуемых муниципальным унитарным предприятием Ангарского городского округа «Аптека № 6» в период с января 2015 по декабрь 2015 гг.

Таблица 1. Результаты *ABC*-анализа дифференциальным методом

Группа	Количество наименований в группе	Распределение по группам, %	Распределение по доходам от продаж, %
A	123	6,86	51,45
B	402	22,43	25,64
C	1267	70,71	22,91
Всего	1792	100	100

Из табл.1 видно, что ≈ 7 % или 123 наименования лекарственных средств приносит более половины доходов от продаж. Группа *B* (22,43 % или 402 наименования) обеспечивает чуть более 25% доходов; группа С (70,71 % или 1792 наименований) обеспечивает почти 23 % дохода.

Очевидно, что выбор соотношений между средними значениями расходов (доходов) по группам запасов подбирается ЛПР с учетом его приоритетов и проводимой предприятием ассортиментной политики.

В связи с высокой размерностью задачи управления запасами, а также в виду того, что основную прибыль или издержки приносят запасы групп *A* и *B*, достаточно задачу управления запасами решать лишь для запасов групп *A* и *B*. Для запасов группы *C* не следует применять усложненные процедуры управления.

3. Прогнозирование спроса в задачах управления запасами. Эффективность системы управления запасами в значительной степени зависит от способности дать с приемлемой точностью прогноз спроса на запасы. Исследование показало, что использование только одной модели для прогнозирования спроса на запасы не оправдано. Так, для запасов, спрос на которые за прошлый период не подвергался значительным сезонным колебаниям, можно применить простейшие модели прогнозирования, основанные на методе наименьших квадратов и на экспоненциальном сглаживании [1]. Если же спрос значительно меняется во времени, наблюдаются заметные колебания спроса в зависимости от времени года, то требуется другие модели прогнозирования.

Наиболее широкое применение получили методы прогнозирования с использованием временных рядов [1]. Так, например, модель временного ряда спроса на аскорбиновую кислоту по данным продаж за 2014-2015 гг. в муниципальной аптеке № 6 г. Ангарска приняла вид:

$$\hat{y} = 173{,}55 - 0{,}5128x - 7{,}39\cos\left(\frac{2\pi x}{23}\right) - 6{,}43\sin\left(\frac{2\pi x}{23}\right) + 61{,}97\cos\left(\frac{4\pi x}{23}\right) + 35{,}79\sin\left(\frac{4\pi x}{23}\right) +$$
$$+ 12{,}31\cos\left(\frac{6\pi x}{23}\right) + 1{,}34\sin\left(\frac{6\pi x}{23}\right) - 10{,}49\cos\left(\frac{8\pi x}{23}\right) - 13{,}61\sin\left(\frac{8\pi x}{23}\right).$$

На рис. 1 показаны данные о сбыте и расчетные по модели значения сбыта аскорбиновой кислоты, в том числе прогнозные значения сбыта на следующий календарный год. Средняя относительная ошибка аппроксимации полученной моделью данных продаж аскорбиновой кислоты составила 10,43 %.

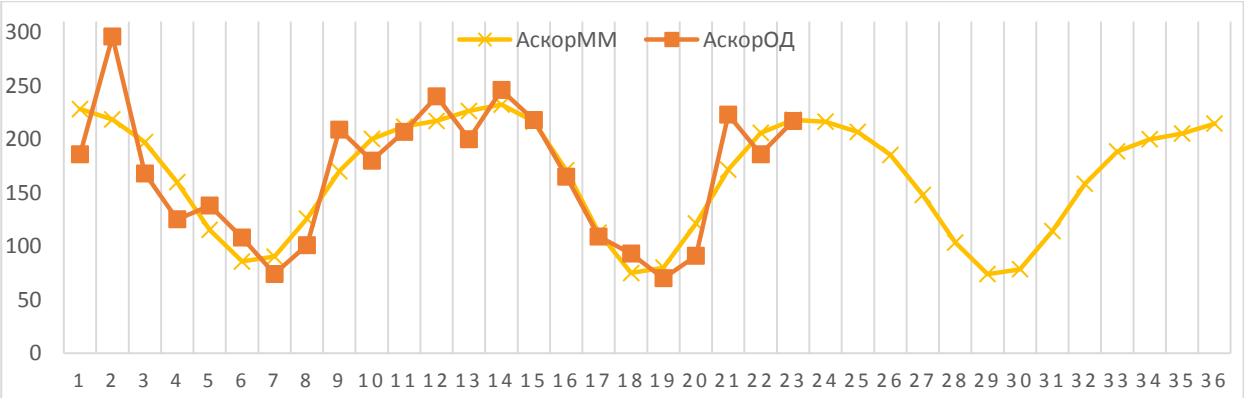

Рис. 1. Опытные и расчетные значения сбыта аскорбиновой кислоты (по осям – объемы продаж в ед. и порядковые номера месяцев, начиная с января 2014 г.)

Удовлетворительное совпадение расчетных величин с опытными данными достигнуто при использовании четырех гармоник. Однако во многих случаях может оказаться необходимым применение значительно большего числа гармоник.

Заключение. Предложена математическая модель задачи управления запасами на основе теории массового обслуживания. Модель задачи управления запасами рассчитана на стратегию пополнения запасов партиями, в которых приходится иметь дело с групповыми поставками. Предложена многоэтапная процедура решения задачи управления запасами. На первом этапе классифицируются виды запасов по ABC-анализу, а затем для запасов групп A и B на основе построенных прогнозных моделей решается задача нахождения оптимальной стратегии пополнения запасов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Айвазян С.А., Мхитарян В.С. Прикладная статистика и основы эконометрики. М.: ЮНИТИ. 1998. 1022 с.
2. Букан Д., Кенигсберг Э. Научное управление запасами. М.: Наука. 1967. 423 с.
3. Вентцель Е.С. Исследование операций. М.: Советское радио. 1972. 552 с.
4. Истомина А.А., Бадеников В.Я., Истомин А.Л. Оптимальное управление товарными запасами на основе теории массового обслуживания // Вестн. Ангар. гос. техн. ун-та. 2016. № 10. С.148–152.
5. Истомина А.А., Бадеников В.Я., Истомин А.Л. Задача формирования оптимального ассортимента и товарных запасов в розничной торговле в условиях неопределенности // Вестн. Астрахан. гос. техн. ун-та. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. 2017. № 2. С.105–116.
6. Лотоцкий В.А., Мандель А.С. Методы и модели управления запасами. М.: Наука, 1991. 188 с.
7. Мандель А.С. Управление многономенклатурными запасами в условиях неопределенности и нестационарности. Часть 1. Нормативная модель // Проблемы управления. 2011. № 6. С. 47–51.
8. Рыжиков Ю. И. Теория очередей и управление запасами. СПб.: Питер. 2001. 384 с.
9. Садриев Д.С, Садриев Р.Д. ABC-анализ и оптимизация товарного ассортимента // Маркетинг. 2008. №1. С. 119–125.

UDK 501-77:519.24:658.7.01

SUPPORT DECISION-MAKING FOR INVENTORY MANAGEMENT UNDER UNCERTAINTY

Alena A. Istomina
Engineer of electric chemical technology department, e-mail: alenaist@yandex.ru
Victor Y. Badenikov
Dr., Professor of automation technological processes department,
e-mail: badenikovVY@angtu.ru
Andrey L. Istomin
Dr., Professor of computing machines department, e-mail: a.l.istomin@mail.ru
Angarsk State Technical University, 60, Chaikovskogo Str., 665830, Angarsk, Russia

Abstract. The proposed multi-stage procedure for decision-making for inventory management under conditions of uncertainty. Practical solution to the problem of inventory control is based on a multistep procedure, the essence of which is that in the early stages of being built predictive models of demand for reserves, and then on the basis of the models solves the problem of inventory control based on Queuing theory.
Keywords: inventory control, queuing systems, optimization.

References

1. Aivazian A.S., Mkhitaryan V.S. Prikladnaya statistika i osnovy ekonometriki [Applied statistics and foundations of econometrics]. Moscow. YUNITI. 1998. 1022 p. (in Russian)
2. Joseph Bukan, Ernest Koenigsberg E. Nauchnoye upravleniye zapasami [Scientific inventory management]. Moscow. Nauka = Science. 1967. 423 p. (in Russian).
3. Ventzel E.S. Issledovaniye operatsiy [Operations Research] Moscow. Soviet radio. 1972. 552 p. (in Russian).
4. Istomina A.A., Badenikov V.Y., Istomin A.L. Optimal'noye upravleniye tovarnymi zapasami na osnove teorii massovogo obsluzhivaniya [Optimal inventory management based on queuing theory] // Vestnik Angar. gos. tekhn. un-ta = Bulletin of the Angarsk St. Tech. Univ. 2016. No. 10. Pp. 148–152. (in Russian).
5. Istomina A.A., Badenikov V.Y., Istomin A.L. Zadacha formirovaniya optimal'nogo assortimenta i tovarnykh zapasov v roznichnoy torgovle v usloviyakh neopredelennosti [Statement of the problem of formation of assortment and inventory in the retail trade under uncertainty] // Vestnik of Astrakhan state technical university. Series: management, computer science and informatics. 2017. No. 2. Pp. 105–116. (in Russian).
6. Lototsky V.A., Mandel' A.S. Metody i modeli upravleniya zapasami [Methods and models of inventory management] Moscow: Nauka = Science. 1991. 188 p. (in Russian).
7. Mandel A.S. Upravleniye mnogonomenklaturnymi zapasami v usloviyakh neopredelennosti i nestatsionarnosti. Chast' 1. Normativnaya model' [The Management of diversified stocks under conditions of uncertainty and nonstationarity. Part 1. Regulatory model] // Problemy upravleniya = Problems of management. 2011. No. 6. Pp. 47–51. (in Russian).
8. Ryzhikov Y.I. Teoriya ocheredey i upravleniye zapasami [The theory of queues and inventory management]. SPb. Peter. 2001. 384 p. (in Russian).
9. Sadriev D.S, Sadriev R.D. ABC - analiz i optimizatsiya tovarnogo assortimenta [ABC-analysis and optimization of the product portfolio] // Marketing. 2008. No. 1. Pp. 119–125. (in Russian).

УДК 539.4 : 64.066.8

РАЗРАБОТКА ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ СРЕДСТВ АНАЛИЗА ЖИВУЧЕСТИ И БЕЗОПАСНОСТИ ОБОЛОЧЕЧНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ТЕХНИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

Рейзмунт Елена Михайловна

К.т.н., научный сотрудник, Лаборатория вычислительной и экспериментальной механики, Институт вычислительных технологий СО РАН, 660049, г. Красноярск, пр. Мира, 53, e-mail: e.sigova@gmail.com

Аннотация. Для решения прикладных задач живучести и безопасности разработаны алгоритмы и вычислительные средства, направленные на анализ аварийных разрушений и оценку риска повторного возникновения аварий технических объектов, параметрическое моделирование сварных соединений с дефектами, анализ чувствительности конструкций к дефектам, повреждениям и запроектным воздействиям, оценку живучести и безопасности, структурной избыточности, потенциальной энергии деформации сварных соединений.

Ключевые слова: оболочечная конструкция, живучесть, безопасность, сварное соединение, авария, дефект.

Введение. Оболочечные конструкции относятся к основным силовым конструкциям большинства типов технологического оборудования энергетических, металлургических, нефтегазоперерабатывающих, химических и других производств. Их типичными представителями являются автоклавы, адсорберы, воздухосборники, полимеризаторы, реакторы, резервуары, сепараторы, ферментаторы, трубопроводы и многие другие технические объекты. Функциональное назначение оболочек заключается в ограждении пространства транспортирования и протекания технологических процессов, характеризующихся высокими температурами, давлениями, химически агрессивными и радиационно опасными средами.

Сварные силовые оболочечные конструкции технических объектов относятся к классу объектов, для которых вопросы безопасности являются актуальными и выходят на первый план по сравнению с традиционными вопросами прочности, жесткости, устойчивости. С одной стороны, большая часть аспектов обеспечения прочности, жесткости, устойчивости хорошо исследованы и нашли воплощение в нормировании и практическом выполнении инженерных расчетов, с другой – выполнение условий прочности, жесткости, устойчивости не является гарантией обеспечения живучести и безопасности конструкций. Это подтверждается многочисленными случаями аварий и катастрофических разрушений оболочечных конструкций [1, 2, 9].

Безопасность технических объектов как обобщающая категория, характеризующая их состояние, тесно связана с понятиями защищенности, риска, уязвимости, живучести. Обеспечение безопасности предполагает наличие защищенности от идентифицируемых опасностей и уязвимостей. В настоящее время, как правило, защищенность связывается с реализацией возможных предельных состояний объекта и количественно оценивается запасами по основным механизмам их возникновения, вероятностями их достижения и

соответствующими им рисками [6]. Риск как вероятностная мера возникновения опасностей определенного вида, или размер возможного ущерба от нежелательного события, или комбинация этих величин рассматривается как основная количественная оценка опасности [4, 13]. Анализ риска предполагает изучение уязвимостей в системе, сценариев развития обусловленных ими опасностей и возникающих при этом последствий [5]. Эти сценарии непосредственно связаны с комплексным свойством живучести по ГОСТ 27.002-89, характеризующим поведение конструкции в поврежденном состоянии и при запроектном нагружении.

Исследования фундаментальной проблемы конструкционной безопасности связаны с конкретизацией потенциальных уязвимостей и опасностей, снижением уровня неопределенности и информационным обеспечением алгоритмов оценки риска, живучести и защищенности. Результаты таких исследований приводят к расширению возможностей использования разнородной информации в комплексной процедуре анализа конструкционной безопасности, повышению уровня системных знаний об источниках и условиях реализации угроз, характерных для конкретных классов технических объектов.

Для структурно-сложных и структурно-неоднородных конструктивных форм оболочечных конструкций эти исследования преимущественно сосредотачиваются на учете системного взаимодействия их элементов при наличии дефектов и повреждений в широком диапазоне штатных и аварийных режимов функционирования.

Для решения прикладных задач разработаны инструменты анализа живучести и безопасности, которые включают в себя алгоритмы и вычислительные средства, направленные на реализацию следующих функций:

- анализ аварийных разрушений и оценка риска повторного возникновения аварий технических объектов;
- параметрическое моделирование сварных соединений с дефектами;
- анализ чувствительности конструкций к дефектам, повреждениям и запроектным воздействиям;
- оценка живучести и безопасности, структурной избыточности, потенциальной энергии деформации сварных соединений.

1. Анализ аварийных разрушений и оценка риска повторного возникновения аварий технических объектов. Анализ аварийных разрушений осуществляется с использованием человеко-машинного алгоритма решения обратных задач [8], включающего в себя исследование особенностей напряженного состояния конструкций в нештатных ситуациях и при различных вариантах развития аварии; разработку структурных моделей силовых конструкций, позволяющих установить закономерности разрушения силовых конструкций; моделирование причинно-следственных связей, приводящих к последовательным разрушениям.

Алгоритм включает следующие основные операции:

1) анализ фактических повреждений и разрушений в связи с длительностью эксплуатации технического объекта, формирование пространства состояний конструкций U для рассматриваемого технического объекта;

2) сбор и анализ доступной информации об истории жизненного цикла объекта, событиях, влияющих на изменение конструкционной прочности и ресурса;

3) логический анализ гипотетических причинно-следственных отношений пространства *U*, формирование гипотетического варианта пространства причин разрушений *Z* (формулировка гипотез о нагрузках и воздействиях, граничных условиях, наличии и параметрах дефектов силовых конструкций);

4) выбор начальных значений характеристик z_0;

5) определение приращений dz и текущих значений $z = z_0 + dz$;

6) аналитическое и численное исследование напряженно-деформированного состояния (НДС) силовых конструкций с учетом данных, полученных в п. 2, гипотез, сформулированных в п. 3, количественных параметров, определенных в пп. 4, 5;

7) выбор уравнений предельных состояний, соответствующих фактическим повреждениям и разрушениям;

8) прогнозная оценка повреждений и разрушений;

9) введение меры точности Δ для параметров $u \in U$ и ее сравнение с разницей фактически наблюдаемых (п. 1) и прогнозируемых (п. 6) повреждений и разрушений;

10) при недостижении требуемой точности возврат к п. 4 с корректировкой начальных значений характеристик z_0, или к п. 3 с корректировкой структуры пространства *Z*;

11) экспертная оценка риска повторного возникновения аварийного разрушения.

При постановке обратных задач в качестве следствия рассматриваются фактические повреждения и разрушения, а в качестве причин – нерасчетные (завышенные) нагрузки и воздействия произвольной природы, нарушение граничных условий (проектных условий взаимодействия с окружающими элементами природной среды и техносферы), наличие дефектов (преимущественно сплошности материала и сборки конструкции).

2. Параметрическое моделирование сварных соединений с дефектами. При анализе живучести и безопасности широко используются количественные оценки НДС элементов конструкций с дефектами и повреждениями. Типичной является ситуация отсутствия достоверных данных относительно как геометрических характеристик, так и зон локализации дефектов и повреждений. Эта ситуация неопределенности разрешается автоматизацией многовариантного численного анализа с варьированием геометрических характеристик поврежденных зон с целью поиска наихудших с позиций живучести и безопасности результатов. Для осуществления анализа реализуется методический подход, включающий в себя следующие этапы.

1. Разработка параметрической модели поврежденного объекта.

1.1. Анализ конструктивных решений, условий нагружения и повреждаемости объекта.

1.2. Обоснование минимального перечня параметров, позволяющих описать геометрию и свойства объекта и повреждения.

1.3. Установление диапазонов изменения параметров и ограничений на недопустимые их комбинации.

1.4. Построение и анализ сеточной сходимости параметрической конечно-элементной модели объекта с целью обоснования приемлемой последовательности генерации и характеристик сетки конечных элементов.

1.4.1. На начальном этапе выполняется предварительный расчет конструкции с грубой сеткой, позволяющий определить общий характер распределения напряжений и деформаций в конструкции, зоны локализации повышенного уровня напряжений, а также их взаимное влияние. Предпочтительно выполнить несколько расчетов с разной сеткой, чтобы исключить возможные неточности в общем характере результатов.

1.4.2. Далее внутри конструкции зоны, содержащие дефект, выделяются областями, используемыми в дальнейшем как подконструкции (если позволяет геометрия).

1.4.3. Если характер распределения НДС в решенной подконструкции и в соответствующей ей области внутри конструкции совпадает, то можно выполнять более детальные расчеты для подконструкции. В противном случае следует увеличивать размеры подконструкции.

1.4.4. При выборе области подконструкции следует также обращать внимание на взаимное влияние зон локализации повышенного уровня напряжений внутри конструкции. Если такое влияние наблюдается, то эти зоны следует объединять в одну подконструкцию.

1.4.5. Далее в рассматриваемую подконструкцию вносятся геометрические особенности или дефекты и выполняется ряд расчетов с последовательным измельчением сетки в области особенности или дефекта с целью исследования сходимости. Использование технологии подконструкции позволяет значительно уменьшить размерность задачи.

1.4.6. В случае малых размеров дефекта при больших габаритных размерах конструкции можно использовать многоуровневое подмоделирование, при котором на каждом последующем уровне вычислений подконструкция с предыдущего уровня используется как грубая модель (конструкция) для последующего уровня решения.

1.4.7. В тех случаях, когда размер подконструкции становится сопоставим с размерами самой конструкции, либо геометрия конструкции такова, что выделить в ней подконструкцию в интересующей области не представляется возможным, геометрические особенности или дефекты вносятся непосредственно в конструкцию. При этом измельчение сетки вокруг дефекта должно быть поэтапным, без резких переходов размеров конечных элементов.

1.5. Оформление параметрической модели в виде макроса, готового для систематических многовариантных расчетов.

2. Многовариантный численный анализ НДС.

2.1. Планирование вычислительного эксперимента с варьированием параметров модели.

2.2. Многовариантный расчет и формирование многомерного массива результатов.

2.3. Построение и исследование количественных зависимостей характеристик НДС от параметров модели.

На языке APDL [11] разработан макрос построения и анализа параметрической модели конструкции патрубкового узла цилиндрического сосуда давления с эллиптическими днищами, предусмотренного ПБ 03-384-00 «Правила проектирования, изготовления и

приемки сосудов и аппаратов стальных сварных». В качестве обобщенной модели дефекта типа «пора» и «включение» рассматривается несплошность в виде эллипсоида вращения, варьирование соотношения величин осей которого позволяет в широком диапазоне моделировать геометрию дефектов. Геометрия сосуда и патрубкового узла с дефектом сварного шва описывается множеством параметров, из которых одни (внутренний радиус обечайки сосуда; соотношение осей эллиптического днища; толщина стенки сосуда; высота цилиндрической обечайки сосуда; внутренний радиус патрубка; толщина стенки патрубка; давление; катет шва) формируют геометрию и нагружение узла, а другие (большая и малая оси эллиптического дефекта; параметры локализации дефекта в сечении сварного шва) – размер и локализацию дефекта. В автоматическом режиме по результатам анализа определяется интенсивность распределения напряжений по Мизесу в области локализации дефекта. Доступны для анализа и другие характеристики НДС.

3. Анализ чувствительности конструкций к дефектам, повреждениям и запроектным воздействиям. Анализ чувствительности конструкций к дефектам, повреждениям и запроектным воздействиям предполагает отслеживание отклика системы на малое воздействие извне (увеличение нагрузки) либо деградационные изменения внутри конструкции (развитие дефекта или повреждения). Применительно к оценке живучести силовых конструкций с дефектами, повреждениями и в условиях запроектных воздействий в качестве такого малого воздействия предлагается рассматривать единичное приращение размера дефекта da либо величины нагрузки dP, а в качестве реакции – результирующее изменение пиковых значений интенсивности напряжений $d\sigma$.Тогда в качестве оценки чувствительности рассматривается отношение $d\sigma$ к da (dP) как функция размера дефекта или повреждения (нагружения) $d\sigma/da = f(a)$ ($d\sigma/dP = f(P)$). Такая количественная оценка чувствительности не является критериальной характеристикой, поскольку отсутствует достоверная база для сравнительного анализа. Оценки чувствительности, получаемые для различных конструктивных зон одного или нескольких объектов, позволяют судить об уровне живучести с использованием качественных характеристик: «очень высокая», «высокая», «средняя», «низкая», «очень низкая».

Примером анализа чувствительности конструкций к запроектным воздействиям является исследование динамики развития зон упругопластического деформирования (повреждения) соединения крыши и стенки вертикального резервуара [10]. В ходе исследования получены следующие результаты, характеризующие свойства конструкции в поврежденном состоянии, в том числе чувствительность к запроектным нагрузкам:

- нагрузка, приводящая к возникновению первых упругопластических деформаций;
- предельная нагрузка, приводящая к коллапсу системы;
- количественная оценка коэффициента запаса предельной прочности;
- последовательность, в которой повреждаются элементы конструкции и степень их поврежденности в зависимости от уровня запроектного нагружения.

4. Оценка живучести и безопасности, структурной избыточности, потенциальной энергии деформации сварных соединений. Оценка живучести и безопасности типовых сварных соединений основана на алгоритме расчета циклической трещиностойкости сварных соединений с трещиноподобным дефектом [3]. В соответствии со статистическими

исследованиями описание дефекта осуществляется в вероятностной постановке в предположении Вейбулловского распределения его размеров [12]. Алгоритм реализует метод статистических испытаний (Монте-Карло) для моделирования кинетики трещины в сварном соединении. Для его практического использования в среде Delphi разработано приложение для Windows (рис. 1). На основании прогнозируемых статистических оценок циклической долговечности выполняется построение полных вероятностных диаграмм живучести [7], связывающих характеристики вероятности, долговечности с уровнями нагруженности и поврежденности, характеризуемой размерами и локализацией трещиноподобного дефекта.

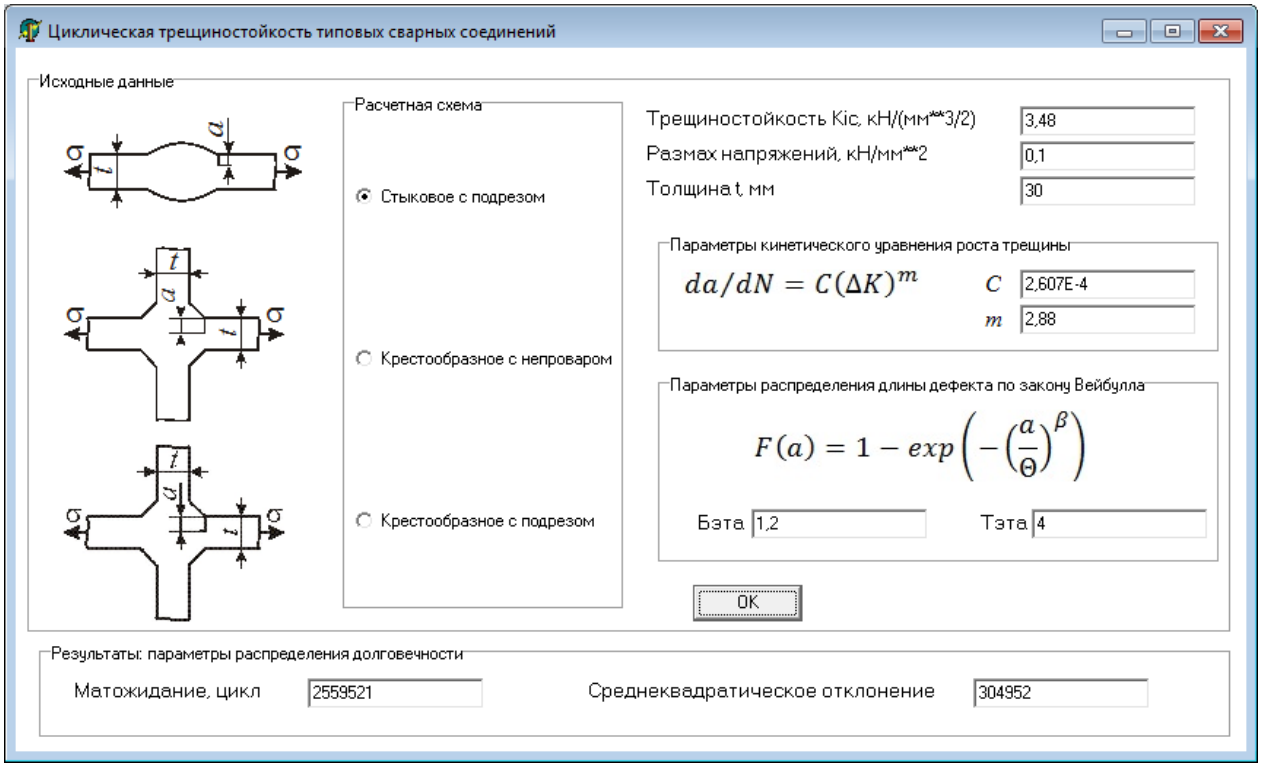

Рис. 1. Интерфейс программы расчета типовых сварных соединений с дефектами

Наличие и степень структурной избыточности могут быть оценены с использованием графовых моделей структуры сварной оболочечной конструкции, в которых элементы (детали) представляются вершинами графа, а сварные швы – его ребрами (дугами). Структурная избыточность, наличие нескольких путей передачи силового потока являются факторами, способствующими повышению живучести. При анализе связей элементов в рамках структурной схемы анализируется, приводит ли разрыв связи к потере конструкционной целостности, или сохраняются альтернативные пути передачи силового потока. В этом случае оценки живучести носят качественный характер и отвечают на вопрос: обладает ли конструкция свойством живучести (имеются избыточные структурные связи) или нет (избыточных связей нет и разрыв любой из них означает нарушение конструкционной целостности).

Оценка структурной избыточности сварных соединений реализуется с помощью следующего алгоритма: 1) анализ сварной оболочечной конструкции и построение ее структурной модели; 2) визуализация графа и построение его матрицы смежности с использованием онлайн-сервиса [14]; 3) вычисление минимального разреза графа n_{min} с помощью разработанного консольного приложения min_cut.exe, реализующего алгоритм Штор-Вагнера [15]; 4) оценка структурной избыточности сварных соединений $n_{min} - 1$.

Уровень накопленной в конструкции потенциальной энергии деформации является одним из факторов, формирующих ее техногенную опасность. Это вытекает из превращения энергии деформации как в энергию, затрачиваемую на разрушение, так и в кинетическую энергию элементов конструкции при нарушении ее целостности. Очевидно, увеличение уровня накопленной потенциальной энергии деформации сопровождается снижением безопасности эксплуатации технического объекта.

Несмотря на то, что количественная оценка накопленной энергии деформации не вызывает затруднений, существует неопределенность относительно критических (соответствующих опасному состоянию объекта) значений потенциальной энергии деформации. Таким образом, можно говорить о применении оценок потенциальной энергии деформации в качестве нечеткой характеристики безопасности.

В общем случае для оценки накопленной в объеме материала потенциальной энергии деформации используется выражение

$$u = \frac{1}{2}\int_V (\sigma_1\varepsilon_1 + \sigma_2\varepsilon_2 + \sigma_3\varepsilon_3)\,dV ,$$

для дискретной (конечно-элементной) модели размерности N, принимающее вид

$$u = \frac{1}{2}\sum_1^N (\sigma_1\varepsilon_1 + \sigma_2\varepsilon_2 + \sigma_3\varepsilon_3).$$

Вычислительная технология оценки накопленной в объеме материала сварного шва потенциальной энергии деформации, отнесенной к единице его длины, реализована в среде конечно-элементного анализа с применением макроса на языке APDL и включает в себя следующие основные этапы: 1) описание сварных швов самостоятельными объемами при разработке твердотельной модели; 2) выделение на стадии расчета НДС конечных элементов, ассоциированных с объемами сварных швов; 3) вычисление величины потенциальной энергии деформации, накопленной в каждом i-м (i=1, N) конечном элементе; 4) организация цикла суммирования по объему каждого сварного шва величин потенциальной энергии деформации, накопленной в каждом конечном элементе; 5) отнесение накопленной в объеме сварного шва потенциальной энергии деформации к единице его длины.

Заключение. Разработанные инструментальные средства интегрированы в информационную систему «Живучесть и безопасность оболочечных конструкций технических объектов», реализованную в виде Web-приложения, доступного по адресу: https://sites.google.com/site/informsistemaprikladnyhzadac/.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дмитриев Ф.Д. Крушения инженерных сооружений. Историко-технические очерки. М.: Государственное издательство литературы по строительству и архитектуре. 1953. 188 с.
2. Доронин С.В., Лепихин А.М., Сигова Е.М., Черняев А.П. Решение задачи конструкционной прочности // Энергонадзор. 2011. № 6(24). С. 22–24.
3. Ларионов В.П., Москвичев В.В., Доронин С.В. Расчет на трещиностойкость типовых сварных соединений металлоконструкций экскаваторов // Теплофизика и аэромеханика. 1993. № 2. С. 104–113.
4. Махутов Н.А., Зацаринный В.В., Альгин В.Б., Ишин Н.Н. Техногенный риск, надежность и диагностика технических систем: подходы, модели, методы // Механика машин, механизмов и материалов. 2012. № 3–4. С. 67–85.
5. Махутов Н.А., Резников Д.О. Оценка и нормирование рисков при эксплуатации сложных технических систем // Безопасность в техносфере. 2012. № 5. С. 3–9.
6. Махутов Н.А., Резников Д.О. Базовые критерии обеспечения защищенности технических систем // Наука и безопасность. 2015. № 3. С. 49–54.
7. Москвичев В.В., Доронин С.В. Оценка и оптимизация долговечности и надежности при ресурсном проектировании сварных конструкций // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 1996. № 3. С. 38–42.
8. Рогалев А.Н., Доронин С.В., Рейзмунт Е.М. Опыт решения и постановки обратных задач конструкционной прочности и живучести // Международная конференция «Актуальные проблемы вычислительной и прикладной математики – 2015», посвященная 90-летию со дня рождения академика Гурия Ивановича Марчука. Институт вычислительной математики и математической геофизики Сибирского отделения Российской академии наук. Новосибирск. 19-23 октября 2015 г. [Электрон. ресурс]. Новосибирск: Абвей. 2015. 1 электрон. опт. диск. 916 с.
9. Розенштейн И.М. Аварии и надежность стальных резервуаров. М.: Недра. 1995. 253 с.
10. Сигова Е.М., Доронин С.В. Оценка несущей способности соединения крыши и стенки вертикального резервуара при запроектном нагружении // Химическое и нефтегазовое машиностроение. 2014. № 12. С. 9–11.
11. Чигарев А.В., Кравчук А.С., Смалюк А.Ф. ANSYS для инженеров: Справочное пособие. М.: Машиностроение. 2004. 512 с.
12. Шокин Ю.И., Москвичев В.В., Лепихин А.М. Вероятностные модели технологической дефектности сварных соединений // Препринт ВЦ СО АН СССР № 8. Красноярск. 1988. 20 с.
13. Шокин Ю.И., Москвичев В.В., Ничепорчук В.В. Методика оценки антропогенных рисков территорий и построения картограмм рисков с использованием геоинформационных систем // Вычислительные технологии. 2010. Т.15. № 1. С. 120–131.
14. Graph-online. Режим доступа: http://graphonline.ru/ (дата обращения 14.04.2017)
15. Stoer M., Wagner F. A simple min-cut algorithm // Journal of the ACM. 1997. Vol. 44, No. 4. Pp. 585–591.

UDK 539.4 : 64.066.8

DEVELOPMENT OF INSTRUMENTAL ANALYSIS TOOLS OF SURVIVABILITY AND SAFETY FOR SHELL STRUCTURES OF TECHNICAL OBJECTS

Elena M. Reizmunt

PhD, Researcher, Laboratory of Computational and Experimental Mechanics,
Institute of Computational Technologies Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences
53, Mira avenue, 660049, Krasnoyarsk, Russia, e-mail: e.sigova@gmail.com

Abstract. To solve the applied problems of survivability and safety, algorithms and computational tools are developed to analysis of emergency damage and risk assessment of re-occurrence of an accident of technical objects, parametric modeling of welded joints with defects, analysis of the sensitivity of structures to defects, damages and beyond design impacts, survivability and safety assessment, structural redundancy, potential energy of deformation of welded joints.

Keywords: shell structures, survivability, safety, welded joint, emergency, defect.

References

1. Dmitriev F.D. Krushenija inzhenernyh sooruzhenij. Istoriko-tehnicheskie ocherki [The collapse of engineering structures. Historical and technical essays]. Moscow. Gosudarstvennoye izdatel'stvo literatury po stroitel'stvu i arkhitekture = State Publishing House of Literature on Construction and Architecture. 1953. 188 p. (in Russian).
2. Doronin S.V., Lepihin A.M., Sigova E.M., Chernjaev A.P. Reshenie zadachi konstrukcionnoj prochnosti [Solving the problem of structural strength] // Jenergonadzor = The magazine "Energonadzor". 2011. № 6(24). Pp. 22–24. (in Russian).
3. Larionov V.P., Moskvichev V.V., Doronin S.V. Raschet na treshhinostojkost' tipovyh svarnyh soedinenij metallokonstrukcij jekskavatorov [Calculation for crack resistance of typical welded joints of metal structures of excavators] // Teplofizika i aeromekhanika = Thermophysics and Aeromechanics. 1993. № 2. Pp. 104–113. (in Russian).
4. Mahutov N.A., Zacarinnyj V.V., Al'gin V.B., Ishin N.N. Tehnogennyj risk, nadezhnost' i diagnostika tehnicheskih sistem: podhody, modeli, metody [Technogenic risk, reliability and diagnostics of technical systems: approaches, models, methods] // Mehanika mashin, mehanizmov i materialov = Mechanics of Machines, Mechanisms and Materials. 2012. № 3–4. Pp. 67–85. (in Russian).
5. Mahutov N.A., Reznikov D.O. Ocenka i normirovanie riskov pri jekspluatacii slozhnyh tehnicheskih sistem [Basic criteria for ensuring the security of technical systems] // Bezopasnost' v tehnosfere = Safety in Technosphere. 2012. № 5. Pp. 3–9. (in Russian).
6. Mahutov N.A., Reznikov D.O. Bazovye kriterii obespechenija zashhishhennosti tehnicheskih sistem [Basic criteria for security systems] // Nauka i bezopasnost' = Science and safety. 2015. № 3. Pp. 49–54. (in Russian).

7. Moskvichev V.V., Doronin S.V. Ocenka i optimizacija dolgovechnosti i nadezhnosti pri resursnom proektirovanii svarnyh konstrukcij [Evaluation and optimization of durability and reliability in resource design of welded structures] // Zavodskaja laboratorija. Diagnostika materialov = Industrial Laboratory. Materials Diagnostics. 1996. № 3. Pp. 38–42. (in Russian).
8. Rogalev A.N., Doronin S.V., Rejzmunt E.M. Opyt reshenija i postanovki obratnyh zadach konstrukcionnoj prochnosti i zhivuchesti [Experience in solving and posing inverse problems of structural strength and survivability] // International Conference "Actual Problems of Computational and Applied Mathematics - 2015", dedicated to the 90th anniversary of the birth of Academician Gury Marchuk. Institute of Computational Mathematics and Mathematical Geophysics, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences. Novosibirsk. October 19-23, 2015. Electronic resource. Novosibirsk. Abvej. 2015. 1 jelektron. opt. disk. 916 p. (in Russian).
9. Rozenshtejn I.M. Avarii i nadezhnost' stal'nyh rezervuarov [Accidents and reliability of steel tanks]. Moscow. Nedra. 1995. 253 p. (in Russian).
10. Sigova E.M., Doronin S.V. Ocenka nesushhej sposobnosti soedinenija kryshi i stenki vertikal'nogo rezervuara pri zaproektnom nagruzhenii [Estimation of load-bearing capacity of the roof joint and the wall of the vertical tank under design-basis loading] // Himicheskoe i neftegazovoe mashinostroenie = Chemical and Petroleum Engineering. 2014. № 12. Pp. 9–11. (in Russian).
11. Chigarev A.V., Kravchuk A.S., Smalyuk A.F. ANSYS dlya inzhenerov: Spravochnoye posobiye [ANSIS for engineers: A reference book]. Moscow. Mashinostroyeniye = Mechanical engineering. 2004. 512 p.
12. Shokin Ju.I., Moskvichev V.V., Lepihin A.M. Verojatnostnye modeli tehnologicheskoj defektnosti svarnyh soedinenij [Probabilistic models of technological defects in welded joints] // Preprint VTS SO AN SSSR = Preprint CC of SB AS USSR. № 8. Krasnojarsk. 1988. 20 p. (in Russian).
13. Shokin Ju.I., Moskvichev V.V., Nicheporchuk V.V. Metodika ocenki antropogennyh ris-kov territorij i postroenija kartogramm riskov s ispol'zovaniem geoinformacionnyh sistem [Методика оценки антропогенных рисков территорий и построения картограмм рисков с использованием геоинформационных систем] // Vychislitel'nye tehnologii = Computational Technologies. 2010. T.15. № 1. Pp.120–131. (in Russian).
14. Graph-online. Available at: http://graphonline.ru/ (accessed 14.04.2017)
15. Stoer M., Wagner F. A simple min-cut algorithm // Journal of the ACM. 1997. Vol. 44, No.4. Pp. 585–591.

УДК 004.658.6, 533.6.071.4

ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС СБОРА, ОБРАБОТКИ И ХРАНЕНИЯ ДАННЫХ АЭРОДИНАМИЧЕСКОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

Локотко Анатолий Викторович
Ведущий научный сотрудник, e-mail: lok@itam.nsc.ru
Певзнер Анна Самуиловна
Ведущий программист, e-mail: pevzner@itam.nsc.ru
Яковлева Наталия Васильевна
Старший инженер, natali@itam.nsc.ru
Институт теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича СО РАН,
30090, Новосибирск, ул. Институтская, 4/1

Аннотация. В статье описан программный комплекс (ПК) для обеспечения сбора, хранения и обработки результатов измерений, проводимых в аэродинамических трубах периодического действия. ПК обеспечивает оперативную подготовку (выбор соответствующего измерительного оборудования, калибровку датчиков) и проведение экспериментальных исследований; централизованное хранение экспериментальных данных в базе данных и оперативный анализ как первичных, так и обработанных данных. Программный комплекс внедрен на трех аэродинамических установках ИТПМ СО РАН и позволяет использовать базу данных за 1999 – 2016 годы (результаты более 4000 экспериментов).

Ключевые слова: база данных, аэродинамический эксперимент, сбор данных, анализ данных.

Введение. Аэродинамические трубы являются сложными и дорогостоящими инженерными сооружениями, моделирующими полетные условия. Практически все экспериментальные исследования в аэродинамических трубах автоматизированы. Автоматизированные системы управления и сбора данных используются в разных областях науки и техники, от небольших лабораторных, измеряющих 2-3 параметра, до распределенных промышленных SCADA-систем (Supervisory Control And Data Acquisition), где фиксируются тысячи характеристик объекта. Большинство из таких систем имеет постоянный набор измеряемых параметров. Экспериментальные аэродинамические установки используется для решения разнообразных задач аэрогазодинамики, поэтому набор измеряемых параметров отличается для разных испытаний и содержит медленноменяющиеся данные, данные быстропротекающих процессов, фото- и видеоинформацию. Накоплен большой архив экспериментальных данных наших аэродинамических установок и возможность анализа имеющейся информации, в том числе и оперативного, актуальна и востребована при подготовке нового эксперимента.

Унификация систем сбора данных. Важной составляющей ПК являются системы сбора данных, которые уникальны для каждой установки, поскольку уникальны сами установки и их оборудование [2]. Но в каждой серии испытаний на любой из установок, как правило, есть некоторый набор точек на модели (преграде, сопле), в которых установлены

определенные измерители (датчики). Датчики подсоединены к АЦП (аналого-цифровым преобразователям), которые связаны с ЭВМ. Набор измеряемых точек на модели, датчиков и АЦП меняется в каждой серии экспериментов. Общая (универсальная) часть системы сбора данных позволяет настроить конфигурацию оборудования для конкретной серии испытаний.

Оперативная настройка под конкретные эксперименты. На основании рабочей программы эксперимента определяется набор величин (каналов, компонент, параметров), которые необходимо измерить и/или вычислить в процессе испытаний. Создается структура (технологическая карта, тех. карта), описывающая конфигурацию конкретного эксперимента. Каждая тех. карта (блок «технологическая карта», рис. 1) содержит заголовочную информацию и набор измерительных/вычислительных каналов. Каждый из каналов подробно описан (блок «каналы (компоненты) тех. карты», рис. 1).

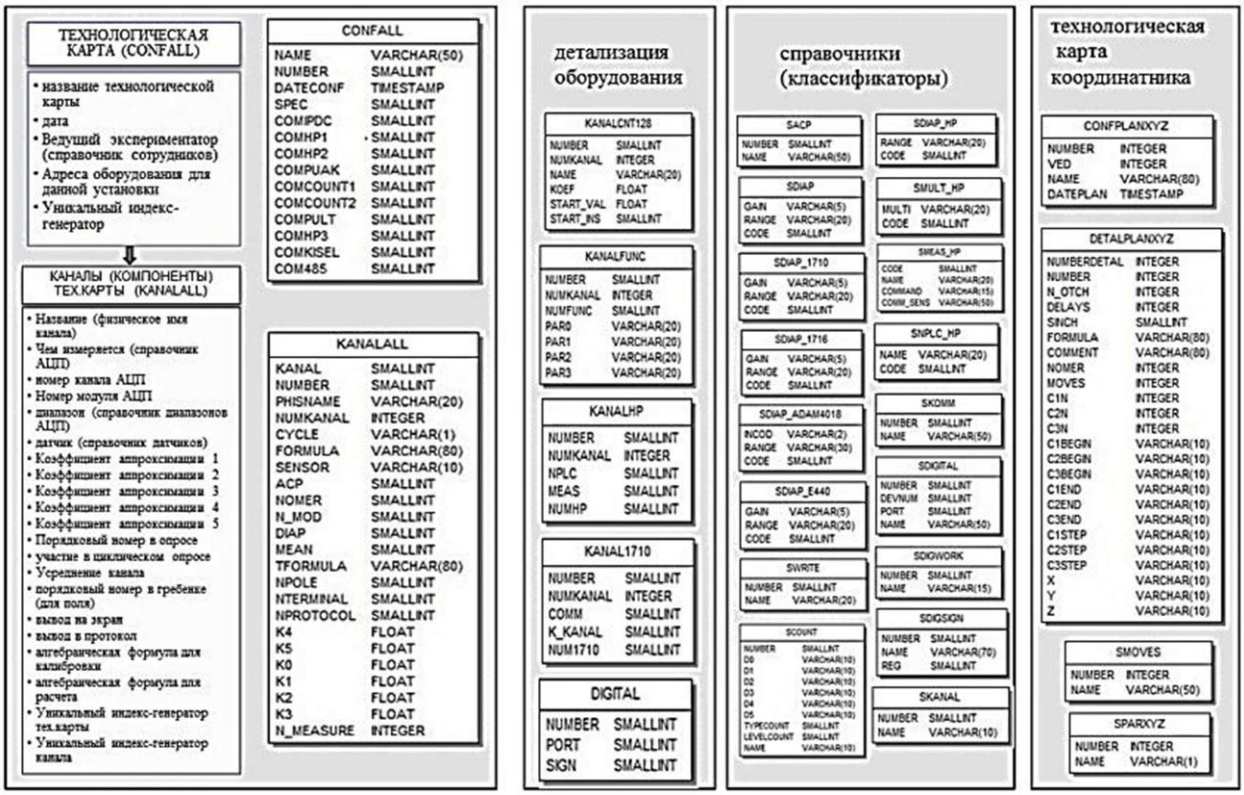

Рис. 1. Структура технологической карты эксперимента.

Измерительный канал определяется датчиком и устройством оцифровки и отображается строкой центральной таблицы (рис. 2). Информация о датчике и его калибровке выбирается из базы данных (БД) «Датчики и калибровки», устройство оцифровки - из справочника АЦП. В качестве устройства оцифровки используются мультиметры Agilent HP-34970A, платы Advantech 1710HG, модули ADAM и ICP DAS, LCard14-140, модули и счетчики разработки КТИ ВТ. Вычислительные каналы определяются специальной формулой или библиотечной подпрограммой и также отображаются строкой таблицы; они позволяют следить за вычисленным параметром в процессе эксперимента. На рис. 2 показан пример тех. карты. Верхняя таблица описывает выбранную конфигурацию. Средняя таблица – содержимое этой тех. карты. В нижней части рис. 2 – детальное описание выбранного канала, в данном случае это Y-координата.

При проведении эксперимента опрашиваются все заданные в тех. карте каналы. Фиксируется время начала и конца измерения. Измеренные данные отображаются в табличном и графическом виде (несколько каналов в зависимости от другого канала или

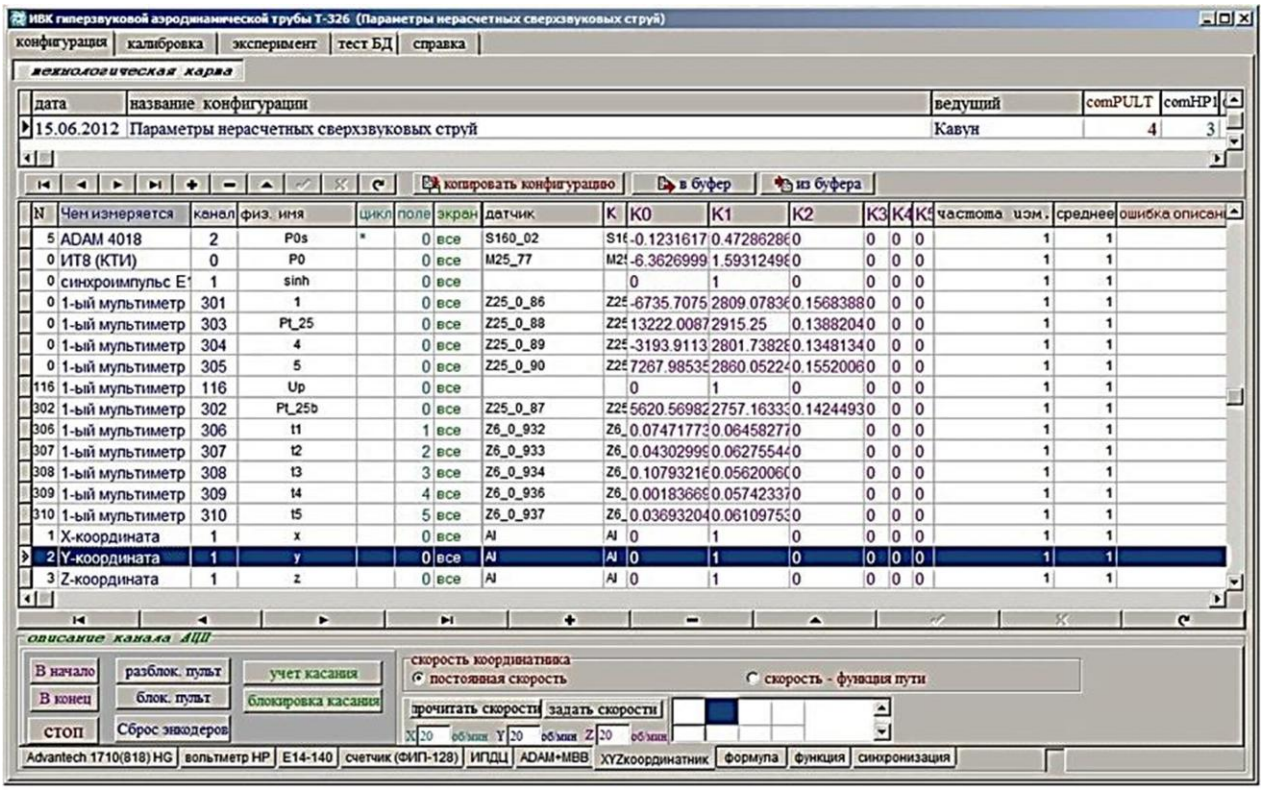

Рис. 2. Пример работы системы сбора данных: построение тех.карты

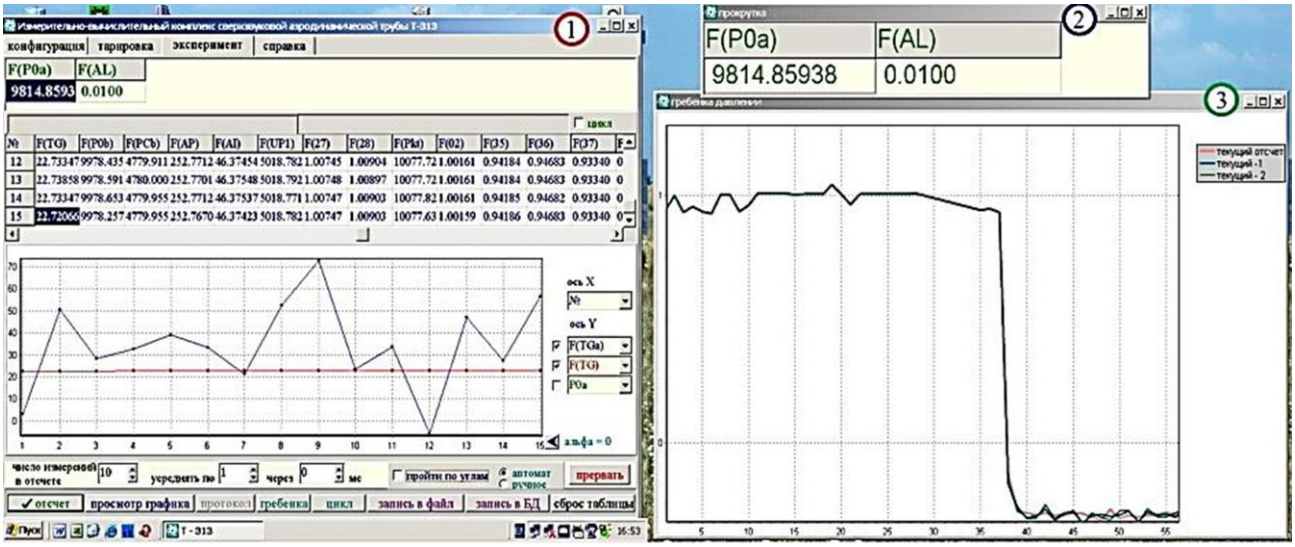

Рис. 3. Пример работы системы сбора данных: эксперимент

времени, то есть зависимость выбранных столбцов таблицы от другого столбца таблицы, рис. 3, окно 1). Каналы, значение которых экспериментатор должен отслеживать, выведены в специальное окно (рис. 3, окно 2) для непрерывного опроса через 1сек. Дополнительно (рис. 3, окно 3) отображены значения каналов (распределение давления) в выбранный момент времени (строки таблицы).

Таким образом, вся необходимая экспериментатору информация отображается в удобном для восприятия виде.

Организация хранения экспериментальных данных. Проблема структурирования аэродинамических данных и обеспечения доступа к ним возникла давно, и работы на эту тему велись с появлением больших ЭВМ [2]. Эпоха персональных машин привела к тому, что каждая группа экспериментаторов стала хранить свои данные у себя и самостоятельно обеспечивать их сохранность. Со временем развивается и меняется вычислительная техника, сменяются поколения ученых, поэтому актуален вопрос о централизованном хранении, чтобы избежать потери дорогостоящих экспериментальных данных при переходе на будущие программно-аппаратные платформы.

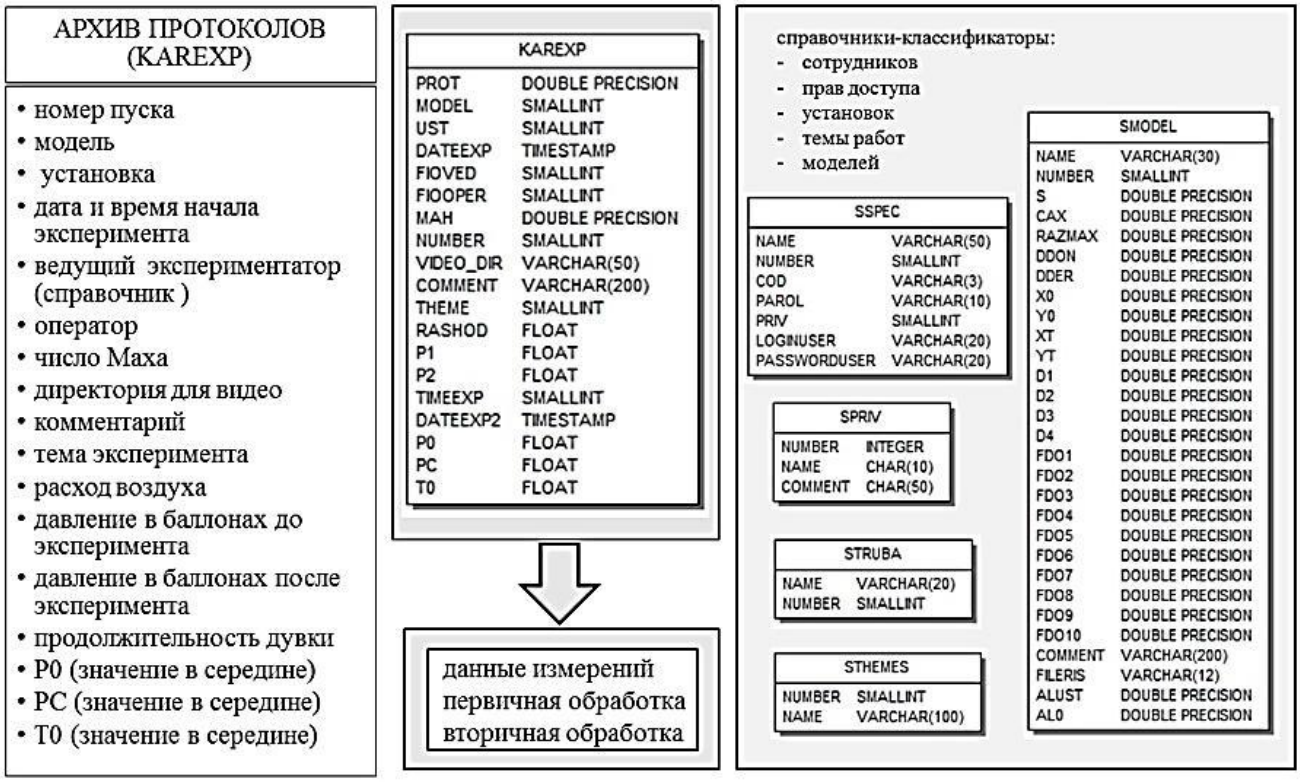

Рис. 4. Структура архива протоколов

В отличие от большинства баз данных, аэродинамический эксперимент содержит непосредственно измеряемые и очень дорогостоящие данные, которые желательно сразу (с минимальным вмешательством человека) записывать в централизованное хранилище. Сложностью является то, что каждая серия экспериментов имеет свой набор разнообразных измеряемых и вычисляемых параметров, что существенно усложняет создание единой структуры БД.

Одним из способов решения этой проблемы может быть создание своей структуры данных для каждой серии испытаний. Такой вариант, позволяющий использовать различные пакеты прикладных программ обработки, был реализован в ИТПМ СО РАН [3]. Эта БД не была связана с системой сбора данных и требовала каждый раз вмешательства программиста для построения структуры и переноса экспериментальных данных в базу, что усложняло ее использование. При разработке нынешней концепции системы сбора и хранения принят другой вариант организации данных (рис. 4), когда база содержит только однотипную для

всех экспериментов информацию [4]. Остальные данные сохраняются в прикрепленных файлах на сервере, а с развитием системы планируется перенос информации в соответствующие структуры БД. Такая база позволяет экспериментатору (без участия программиста) сохранять все экспериментальные данные, геометрические характеристики моделей, видеоинформацию в одном месте с тем, чтобы централизованно хранить и обеспечивать основные возможности работы с информацией (сортировка, поиск, оперативный анализ).

Структура программного комплекса экспериментальных исследований. ПК реализован в виде взаимосвязанных систем (рис. 5):

- серверная БД «Архив экспериментальных данных» *(Firebird/Linux)*;
- серверная БД «Датчики и калибровки» *(Firebird/Linux)*;
- системы сбора данных и управления для Т-313, Т-326, ВСУ (локальные БД технологических карт *(Firebird/Windows))*;
- первичный анализ экспериментальных данных;
- пакет программ вторичной обработки.

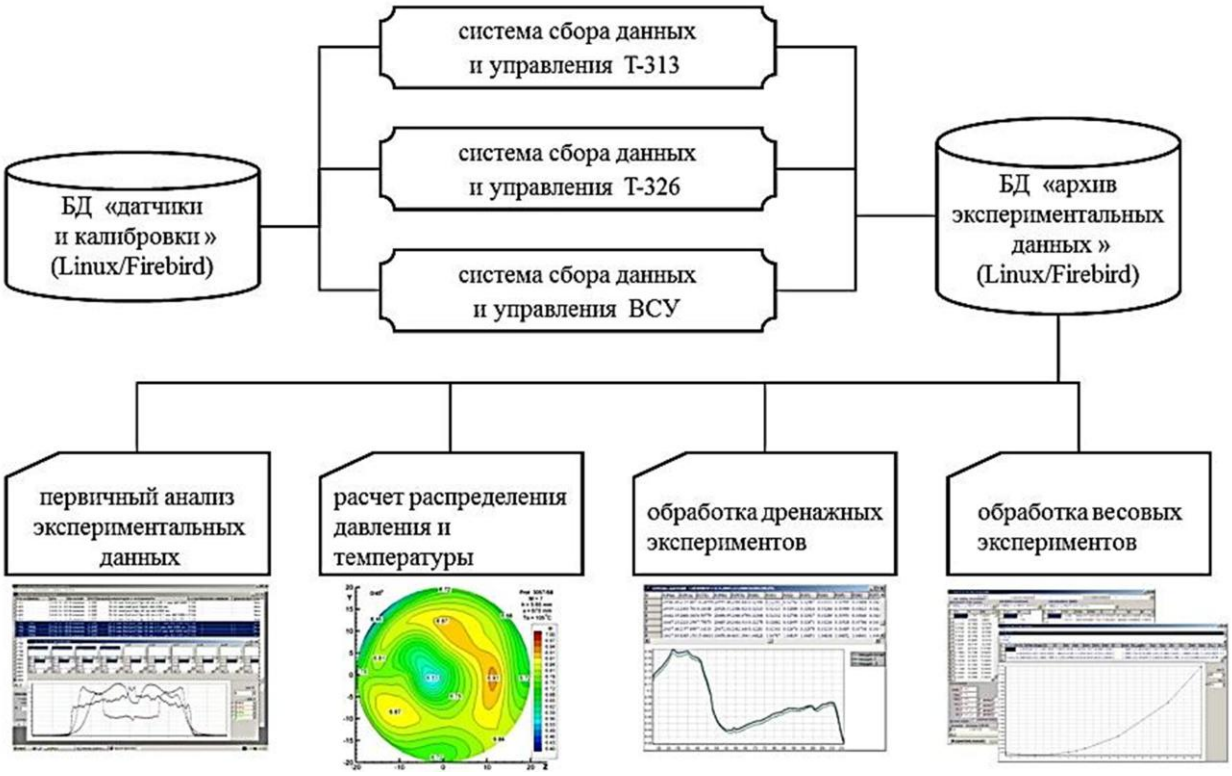

Рис. 5. Программный комплекс сбора, обработки и хранения данных аэродинамического эксперимента.

При подготовке к испытаниям пользователь формирует технологическую карту эксперимента (конфигурацию необходимого оборудования) и выбирает из БД датчики и их калибровки с параметрами, удовлетворяющие требованиям конкретного эксперимента.

После окончания эксперимента данные записываются в серверную БД «Архив экспериментальных данных» (Firebird/Linux) и становятся доступными всем зарегистрированным пользователям сети, имеющим на компьютере клиентское приложение

БД. Большинство реквизитов БД формализованы и связаны с соответствующими справочниками, что позволяет легко найти нужную информацию. Команды поиска и сортировки реализуются через SQL-запросы к серверу.

Первичная обработка экспериментальных данных. Реализованная БД «Архив экспериментальных данных» позволяет выполнять следующие функции:

- выбор данных по установке, числу Маха, модели, ведущему, диапазону дат;
- сортировка данных по заданному реквизиту; например, можно отсортировать все данные по дате проведения эксперимента;
- просмотр информации о модели и видеоинформации;
- первичный анализ экспериментальных данных.

Используя БД, экспериментатор может просмотреть данные в том виде, как они отображены в программах сбора данных, оперативно построить графики зависимости и/или распределения исследуемых величин в определенный момент времени. Все возможности программ сбора данных (кроме непосредственного сбора) реализованы в БД «Архив экспериментальных данных». Для оперативного принятия решения о последующих испытаниях необходим первичный анализ экспериментальных данных [4].

Одним из популярных методов анализа данных является механизм OLAP (On-Line Analytical Processing) — процесс оперативного анализа, класс программного обеспечения, предоставляющий пользователю возможность мгновенно, в режиме реального времени получать ответы на произвольные аналитические запросы.

Существует множество разработок по OLAP-технологиям для реляционных баз данных. К сожалению, для случаев, когда часть данных (по тем или иным причинам) приходится хранить в отдельных файлах, эти технологии не работают. Поэтому для наших задач реализована наиболее интересная и востребованная оперативная обработка экспериментальных данных - анализ следующих зависимостей в виде графиков (рис. 6).

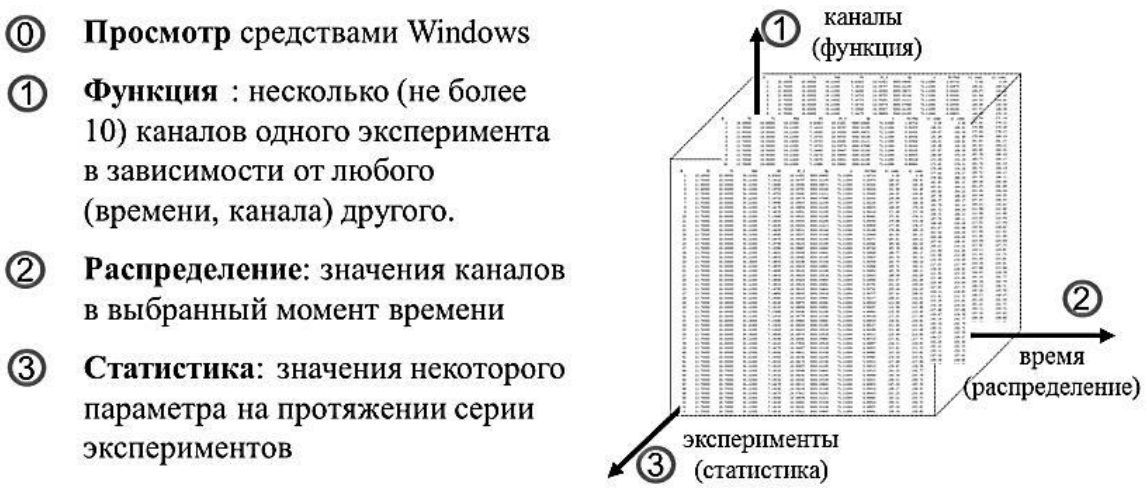

Рис. 6. Основные возможности оперативного анализа экспериментальных данных

Экспериментальные данные представляются в виде таблицы. «Функция» позволяет выбрать каналы для просмотра (столбцы таблицы), «распределение» выбирает момент времени (строки таблицы). Один и тот же эксперимент может рассматриваться как по строкам, так и по столбцам таблицы.

Для сравнения различных экспериментов («статистика») пользователь выделяет в таблице БД «Архив экспериментальных данных» нужные эксперименты.

Программы обработки включают первичную и вторичную обработку. Во время эксперимента электрические величины пересчитываются в физические, вычисляются критерии подобия (числа Маха, Рейнольдса, скоростной напор). После эксперимента проводится вторичная обработка данных, специфическая для каждого типа эксперимента (весовые, дренажные и т.д.). При необходимости разрабатываются специальные программы обработки.

Заключение. В статье описан программный комплекс сбора, хранения и обработки информации, используемый при проведении экспериментальных исследований в аэродинамических установках ИТПМ СО РАН:

- сверхзвуковой аэродинамической трубе Т-313;
- гиперзвуковой аэродинамической трубе Т-326;
- вертикальной струйной установке ВСУ.

Данный ПК позволяет выбрать конфигурацию оборудования для конкретного эксперимента, откалибровать датчики, провести измерения в выбранном режиме. Полученная информация по локальной сети поступает в базу данных «Архив экспериментальных данных», где реализованы основные возможности работы с данными (сортировка и выбор по заданному критерию) и оперативный анализ данных.

Разработанный ПК унифицирован на уровне программного интерфейса. Обеспечена взаимосвязь баз данных датчиков, калибровок, моделей, экспериментальных данных.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вышенков Ю.И., Иванов М.С., Малыхин С.М. Архив для накопления и анализа данных аэродинамического эксперимента. Новосибирск. 1980 // Отчет ИТПМ СО АН №1118
2. Гаркуша В.В., Запрягаев В.И., Певзнер А.С., Яковлев В.В., Яковлева Н.В. Автоматизированная система сбора, хранения и обработки экспериментальных данных // Всероссийская конференция «Аэродинамика и прочность конструкций летательных аппаратов», посвященная 70-летию основания СибНИА (Новосибирск, Россия, 20–21 сентября 2011г.). Труды конференции. Новосибирск: СибНИА. 2011. С. 208–215
3. Запрягаев В.И., Василенко Т.И., Певзнер А.С. Отчет ИТПМ СОРАН. Информационно-измерительная система «КАМАК-кейс». Новосибирск. 1999г.
4. Запрягаев В.И., Кавун И.Н., Певзнер А.С., Яковлева Н.В., Гаркуша В.В., Яковлев В.В., Пищик Б.Н. Система автоматизированного сбора и хранения данных применительно к эксперименту в аэродинамических трубах // XIV Байкальская Всероссийская конференция «Информационные и математические технологии в науке и управлении». Труды. Часть II. Иркутск: ИСЭМ СО РАН. 2009. С. 73 – 80.
5. Запрягаев В.И., Киселев Н.П., Кундасев С.Г., Певзнер А.С., Тютин А.А., Яковлева Н.В. Информационная система «датчики и калибровки» и ее использование в аэродинамическом эксперименте. // XX Байкальская Всероссийская конференция «Информационные и математические технологии в науке и управлении». Труды. Ч. II. Иркутск: ИСЭМ СО РАН. 2015. С. 91–97.
6. Усольцев Е.Г. Состав и структура данных об аэродинамическом эксперименте, собираемых для сопровождения результатов наблюдений // Вопросы авиационной науки

и техники: Научно-техн. Сборник. Вып. 3 – Вопросы методики эксперимента в аэродинамических трубах. Новосибирск: СибНИА. 1990г. С. 78–115.
7. Фаронов В. В., Шумаков П. В. Delphi 5. Руководство разработчика баз данных. М.: "Нолидж". 2000. 640 с.
8. Mosseichuk O.N. The development of a database of aerodynamic experiments and computations performed at ITAM // Intern. Conf. on the Methods of Aerophys. Research: Proc., Pt. III. Novosibirsk, 1998. Pp. 193–199.
9. Garkusha V.V., Zapryagaev V.I., Pevzner A.S., Yakovlev V.V., Yakovleva N.V. Automated system for experimental data acquisition, stored and processing // International Association of Science and Technology for Development. Research: Abstracts. Pt. II. Kazan. 2012. August 19 – 25. Pp. 102–104.

UDK 004.658.6, 533.6.071.4

PROGRAM COMPLEX OF DATA ACQUISITION, PROCESSING AND STORAGE APPLIED TO AN AERODYNAMIC EXPERIMENT

Anatolij V. Lokotko
Leading researcher, e-mail:: lok@itam.nsc.ru
Anna S. Pevzner
Principal Software Engineer, e-mail: pevzner@itam.nsc.ru
Natalija V. Yakovleva
Senior Engineer, e-mail: natali@itam.nsc.ru
Khristianovich Institute of Theoretical and Applied Mechanics SB RAS,
Institutskaya str., 4/1, 630090, Novosibirsk, Russia

Abstract. This paper describes a program complex for acquisition, storage, and processing of results measured in experimental research in blowdown wind tunnels. The system provides online preparation (choice of suitable measuring equipment, calibration of sensors) and experiments proper, centralized storage of experimental results in a database, and both raw and processed data mining. The software is introduced on three wind tunnels of the Khristianovich Institute of Theoretical and Applied Mechanics SB RAS and allows using the database collected in 1999 - 2015 (more than 4000 experiments).

Keywords: database, wind tunnel, data acquisition, data mining, OLAP (On-Line Analytical Processing).

References

1. Vyshenkov Ju.I., Ivanov M.S., Malyhin S.M. Arhiv dlja nakoplenija i analiza dannyh ajerodinamicheskogo jeksperimenta [Archive for accumulation and the analysis of data of aerodynamic experiment] Novosibirsk, 1980 // Report ITAM SB RAS №1118 (in Russian).
2. Garkusha V.V., Zapryagaev V.I., Pevzner A.S., Yakovlev V.V., Yakovleva N.V. Avtomatizirovannaja sistema sbora, hranenija i obrabotki jeksperimental'nyh dannyh [The automated system of collecting, storage and processing of experimental data] // Vserossijskaja

konferencija «Ajerodinamika i prochnost' konstrukcij letatel'nyh apparatov», posvjashhennaja 70-letiju osnovanija SibNIA = The Russian conference "Aerodynamics and Durability of Designs of Aircraft" devoted to the 70 anniversary of the basis of SIBNIA (Novosibirsk, Russia, 20–21 September 2011). Works of the conference. Novosibirsk: SibNIA. 2011. Pp. 208–215. (in Russian).

3. Zapryagaev V.I., Vasilenko T.I., Pevzner A.S., Informacionno-izmeritel'naja sistema «CAMAC-case» [Information and measuring system «CAMAC-case»] Novosibirsk. 1999 // Report ITAM SB RAS (in Russian).
4. Zapryagaev V.I., Kavun I.N., Pevzner A.S., Yakovleva N.V. Garkusha V.V., Yakovlev V.V., Pishhik B.N. Sistema avtomatizirovannogo sbora i hranenija dannyh primenitel'no k jeksperimentu v ajerodinamicheskih trubah [Automated data acquisition and storage system applied to a wind tunnel experiment] // XIV Bajkal'skaja Vserossijskaja konferencija «Informacionnye i matematicheskie tehnologii v nauke i upravlenii». Trudy = XIV Baikal Russian conference "Information and Mathematical Technologies in Science and Management". Proceeding. Irkutsk: MESI SB RAS. 2009. Vol. II. Pp. 73–80. (in Russian).
5. Zapryagaev V.I., Kiselev N.P., Kundasev S.G., Pevzner A.S., Tjutin A.A., Yakovleva N.V. Informacionnaja sistema «datchiki i kalibrovki» i ee ispol'zovanie v ajerodinamicheskom jeksperimente. [Information system «sensors and calibrations» and its application for experimental research in blowdown wind tunnels] // XX Bajkal'skaja Vserossijskaja konferencija «Informacionnye i matematicheskie tehnologii v nauke i upravlenii». Trudy = XIV Baikal Russian conference "Information and Mathematical Technologies in Science and Management". Proceeding. Irkutsk: MESI SB RAS. 2015. Vol. II. Pp. 91–97. (in Russian)
6. Usol'cev E.G. Sostav i struktura dannyh ob ajerodinamicheskom jeksperimente, sobiraemyh dlja soprovozhdenija rezul'tatov nabljudenij [Structure and structure of the data on aerodynamic experiment collected for maintenance of results of supervision // Voprosy aviacionnoj nauki i tehniki: Nauchno-tehnicheskij sbornik = Questions of aviation science and equipment: Scientific and technical collection. №.3 Voprosy metodiki jeksperimenta v ajerodinamicheskih trubah = Experiment technique questions in wind tunnels. Novosibirsk: SibNIA. 1990. Pp.78–115. (in Russian).
7. Faronov V.V., Shumakov P.V. Delphi 5. Rukovodstvo razrabotchika baz dannyh = Guide of the developer of databases. M.: "Nolidzh". 2000. 640 p. (in Russian).
8. Mosseichuk O.N. The development of a database of aerodynamic experiments and computations performed at ITAM // Intern. Conf. on the Methods of Aerophys. Research: Proc. Pt. III. Novosibirsk. 1998. Pp. 193–199.
9. Garkusha V.V., Zapryagaev V.I., Pevzner A.S., Yakovlev V.V., Yakovleva N.V. Automated system for experimental data acquisition, stored and processing // International Association of Science and Technology for Development. Research: Abstracts. Pt. II. Kazan. 2012. August 19 – 25. Pp. 102–104.

УДК 004.658.6, 533.6.071.4

АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ РАБОЧЕЕ МЕСТО ОПЕРАТОРА ГИПЕРЗВУКОВОЙ АЭРОДИНАМИЧЕСКОЙ ТРУБЫ Т-326

Запрягаев Валерий Иванович
Д.т.н., зав. лабораторией «Экспериментальная аэрогазодинамика», e-mail: zapr@itam.nsc.ru
Кавун Иван Николаевич
Научный сотрудник, e-mail: i_k@list.ru
Певзнер Анна Самуиловна
Ведущий программист, e-mail: pevzner@itam.nsc.ru
Тютин Алексей Алексеевич
Начальник установки
Яковлева Наталия Васильевна
Старший инженер, natali@itam.nsc.ru
Институт теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича СО РАН,
630090, Новосибирск, ул. Институтская, 4/1

.

Аннотация. В статье описаны гиперзвуковая аэродинамическая труба Т-326, размещенная в ИТПМ СО РАН, и автоматизированное рабочее место (АРМ) оператора установки, включающее систему сбор и сохранения в базе данных информации, необходимой для управления установкой (выход на режим, поддержание режима).

Ключевые слова: аэродинамическая труба (АДТ), автоматизированное рабочее место, база данных (БД).

Введение. Гиперзвуковая аэродинамическая труба Т-326 ИТПМ СО РАН (рис. 1) предназначена для исследования задач газовой динамики и теплообмена при умеренных (т.н. «полунатурных») значениях числа Рейнольдса и температуры торможения набегающего потока.

Начало проектирования трубы относится к 1967 г., ввод в строй первоначального варианта – к 1971 г. [3], когда было обеспечено проведение экспериментальных работ с числами Маха набегающего потока M = 6 и M = 8. Впоследствии в процессе доводки установка подверглась кардинальной перестройке, от первоначального проекта остались только камера Эйфеля и сопла. Трехступенчатая система эжекторов была заменена на перфорированный щелевой эжектор, вертикальный омический подогреватель с проволочными нагревательными элементами заменён на горизонтальный омический с нагревательными элементами в виде нихромовых трубок. В 1974 г. достигнуто расширение диапазона чисел Маха до M = 14 при работе с плазменным подогревателем. Таким образом, к середине 70-х годов Т-326 в существующей и поныне конфигурации обеспечивала работу при числах Маха M = 6 и M = 8 на омическом нагревательном тракте, а при M = 14 – на плазменном. До 90-х годов на установке активно велись работы по исследованию аэротермических характеристик, динамики прогрева и процессов аэротермического разрушения моделей.

В 90-е годы возникла необходимость расширения тематики научных исследований, в связи с чем была проведена модернизация Т-326 и газодинамический тракт трубы был дополнен сменным струйным модулем. Были выполнены исследования аэро- и

Рис. 1. Гиперзвуковая аэродинамическая труба Т-326 ИТПМ СО РАН

термодинамических характеристик тел сложной формы [13], исследования параметров гиперзвукового пограничного слоя [2], отрывного течения в окрестности осесимметричного тела с двойным конусом [1]. Ввод струйного модуля АДТ в эксплуатацию был осуществлен в 2000 г., что позволило исследовать структуру течения и характеристики пульсаций до- и сверхзвуковых струйных течений.

К 2010 году установка была оснащена современной системой сбора данных, предоставляющей новые возможности в проведении исследований [8, 9, 12]. Система автоматизированного сбора и хранения данных позволяет с высокой точностью управлять трехмерным координатным устройством перемещения измерительных зондов (зонды Пито, температурный, термоанемометра и т.д.) вручную и/или автоматически с опросом датчиков в заданном режиме, отображать данные в процессе эксперимента в табличном и графическом виде и сохранять их по завершении работы в БД.

Плазменный тракт трубы, позволяющий исследовать течения с числом Маха M = 14, в настоящее время законсервирован и не эксплуатируется.

На этой экспериментальной базе с начала 2000-х гг. и по настоящее время был выполнен ряд исследований сверхзвуковых струйных, отрывных и пульсирующих течений. В их число входят исследования трёхмерной структуры сверхзвуковых нерасчётных струйных течений, истекающих из сопел сложной геометрической формы [16], сопел с шевронами [5] и микроструями [10]. Выполнено исследование автоколебательных

пульсирующих режимов течения в передней отрывной области [4], проведено изучение локальной структуры в области присоединения сверхзвукового отрывного течения перед наклонным уступом [6] и некоторых других задач [11, 14].

В настоящее время совершенствование установки Т-326 продолжается. Одним из направлений является работа по уменьшению расхода воздуха за счёт оптимизации режима запуска трубы. Во время запуска и работы трубы оператор выставляет давление в эжекторе и регулирует взаимозависимые давление и температуру в основном тракте. Достижение и поддержание требуемых в эксперименте значений давления и температуры осуществляется изменением значений тока и напряжения на подогревателе, положения дросселя на регуляторе давления и др. Значительное разнообразие проводимых экспериментов и, как следствие, рабочих режимов установки, затрудняет создание системы автоматического регулирования работы установки, поэтому вначале было решено собрать и сохранить для дальнейшего анализа информацию о поведении основных параметров работы установки при выходе на режим и о нештатных ситуациях в ходе эксперимента.

В статье приведены описание устройства и параметров гиперзвуковой аэродинамической трубы Т-326, автоматизированного рабочего места оператора и структуры базы данных основных параметров работы установки.

Гиперзвуковая аэродинамическая труба Т-326 ИТПМ СО РАН является трубой периодического действия баллонного типа. Схема трубы показана на рис. 2, на которой обозначены: 1 – выход с электрического генератора на вход омического подогревателя, 2 – омический подогреватель, 3 – подвод воздуха высокого давления в форкамеру установки через подогреватель, 5 – сменное сопло, 6 – оптическое окно, 7 – альфа-механизм, 8 – механизм ввода модели в поток, 9 – камера Эйфеля, 10 – исследуемая модель, 11 – сверхзвуковой диффузор, 12 – подвод воздуха среднего давления в эжектор, 13 – щелевой эжектор.

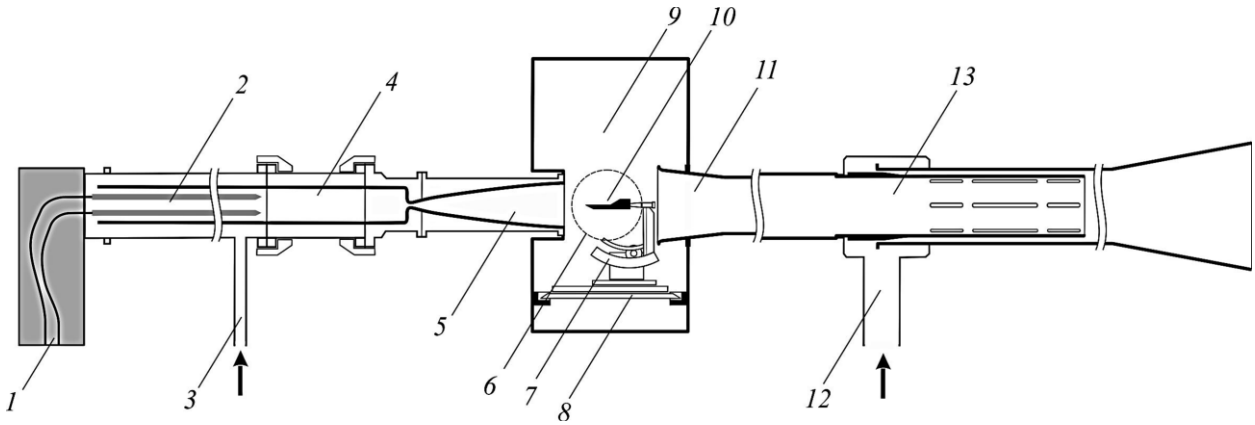

Рис. 2. Схема АДТ Т-326 ИТПМ СО РАН

При числах М = 6 и М = 8 работает омический подогреватель (2). Воздух из баллонов (общий объём баллонов высокого давления 96 м^3) с максимальным давлением 200 кг/см^2 (3) через регулятор давления поступает сначала в защитную рубашку подогревателя, охлаждая внешний силовой корпус, а потом в нихромовые трубки, которые нагреваются постоянным электрическим током. Для питания подогревателя (1) используется электромашинный преобразователь 2200 кВт/750 В. Далее воздух попадает в форкамеру (4), в которой расположен хонейкомб и две детурбулизирующие сетки (на схеме не показаны), и

осесимметричное сопло (5) с диаметром выходного сечения 200 мм. Сопло пристыковано к герметичной камере Эйфеля (9), в которой расположено устройство ввода модели в поток (8). Плита этого устройства движется по горизонтальным направляющим с помощью электропривода поперек оси сопла, ход плиты – 150 мм, время передвижения около 1 секунды. На плите могут быть размещены аэродинамические весы с моделью, модели на специальных подвесках (10) и т.д. В сдвигающихся боковых дверях камеры Эйфеля расположены оптические окна (6), которые используются для наблюдения за моделью и/или получения с помощью теневого прибора ИАБ-251 мгновенных (порядка 1 мкс) и осреднённых (1 – 100 мс) прямотеневых и шлирен-фотографий течения. Для изменения положения модели относительно направления набегающего потока может использоваться α-механизм (7), позволяющий варьировать угол атаки в диапазоне от -5 до +20°. Из камеры Эйфеля воздух через сверхзвуковой диффузор (11) попадает в эжектор (13) и далее в шахту шумоглушения (на схеме не показана).

Запуск и последующая работа установки осуществляются с помощью щелевого эжектора (13), позволяющего поддерживать требуемое разрежение в рабочей части трубы (порядка 200 – 600 Па). Эжектор работает от баллонов с воздухом среднего давления общим объёмом 8800 м^3 и давлением в них 18 кг/см^2. Этот воздух (12) подаётся на вход в эжектор под давлением 9.5 кг/см^2, что при расходе воздуха среднего давления 34.5 кг/с обеспечивает непрерывную работу установки в течение 30 минут.

По результатам исследования [7] течения при различных значениях чисел Маха (рис. 3, а и рис. 3, б, номинальные значения M = 6 и M = 8) установлено, что труба позволяет

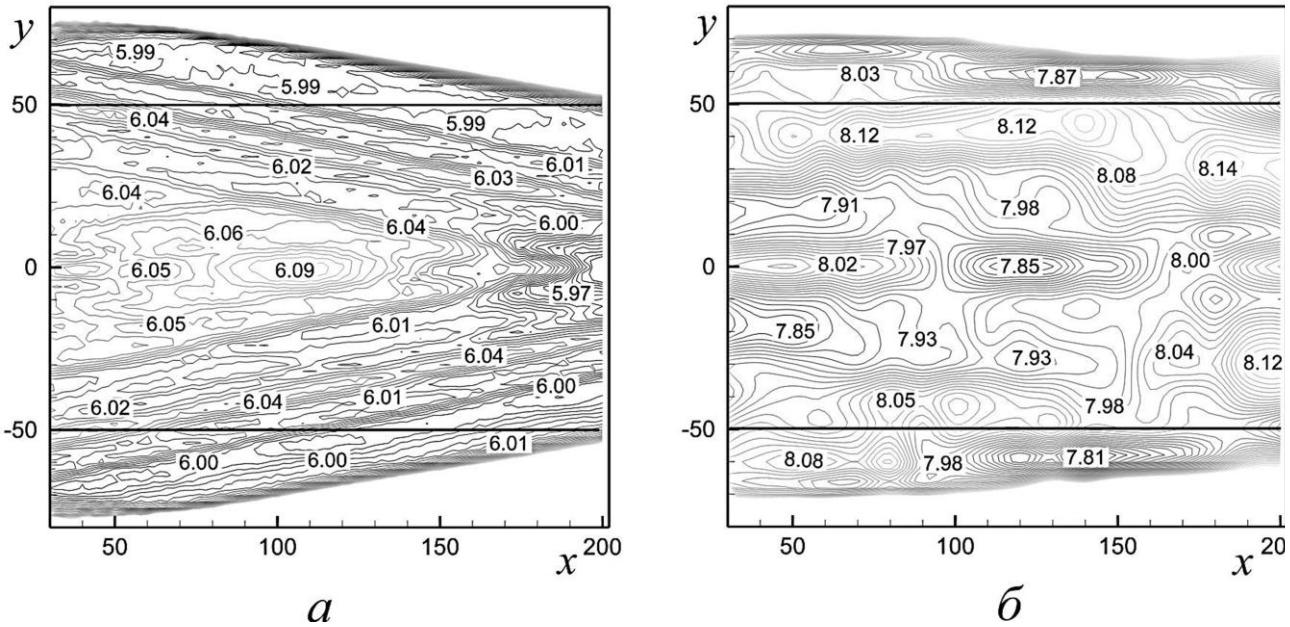

Рис. 3. Поле чисел Маха в рабочей части трубы Т-326 ИТПМ СО РАН: *а* – при номинальном режиме M = 6, *б* – при номинальном режиме M = 8

получить область однородного воздушного потока на расстоянии x = 30 – 200 мм от среза сопла в виде цилиндра диаметром 100 мм. На рис. 3 области однородного потока ограничены чёрными горизонтальными линиями -50 < y < +50 мм. Для режима M = 6 среднее значение числа Маха в этой области равно $M_m = 6.026$, среднее квадратическое отклонение $M_{RMS} = 0.016$ (0.2 % от среднего значения). Для режима M = 8 среднее значение числа Маха в

этой же области равно M_m = 7.985, среднее квадратическое отклонение M_{RMS} = 0.046 (0.6 % от среднего значения).

Основные параметры гиперзвуковой АДТ Т-326 ИТПМ СО РАН представлены в табл. 1.

Таблица 1. Параметры гиперзвуковой аэродинамической трубы Т-326 ИТПМ СО РАН

Номинальный режим работы АДТ	M = 6	M = 8
Диаметр среза сопла D_a, мм	200	
Длина рабочей части L, мм	400	
Диаметр области однородного потока D_w, мм	100	
Диапазон значений давления в форкамере $p_{0ф}$, атм	5 – 50	10 – 150
Диапазон значений температуры в форкамере $T_{0ф}$, °C	20 – 450	20 – 450
Среднее число Маха в области однородного потока M_m	6.026	7.985
Среднее квадратическое отклонение числа Маха от среднего значения M_{RMS} (%)	0.016 (0.2 %)	0.046 (0.6 %)
Диапазон значений локального числа Маха в области однородного потока, M_{min} – M_{max}	5.98 – 6.09	7.83 – 8.14
Диапазон значений единичного числа Рейнольдса Re_1, $м^{-1}$	$(2.4 – 100)\times10^6$	$(2.4 – 45)\times10^6$
Время номинального режима работы, мин.	до 30	

Автоматизированное рабочее место (АРМ) оператора установки. Система управления гиперзвуковой аэродинамической трубой Т-326 включает в себя системы: управления задвижками; регулирования работы эжектора; регулирования давления в форкамере омического тракта; регулирования давления в плазменном тракте; управления омическим подогревателем; охлаждения; блокировок. На рисунке 4 показан центральный пульт оператора.

Рис. 4. Пульт управления гиперзвуковой аэродинамической трубой Т-326

Структура базы данных (рис. 5) выбрана аналогично системе мониторинга, разработанной для Северомуйского тоннеля [15]; в ней предлагается сохранять не все данные подряд, а только при определенном (индивидуальном для каждого сигнала в данном эксперименте) отклонении от текущего значения. Частоту опроса сигналов можно менять. Таким образом, в БД будут записаны все существенные изменения сигналов при выходе установки на режим и во время проведения эксперимента, а во время простоя (во время между отдельными экспериментами) данные сохраняться не будут.

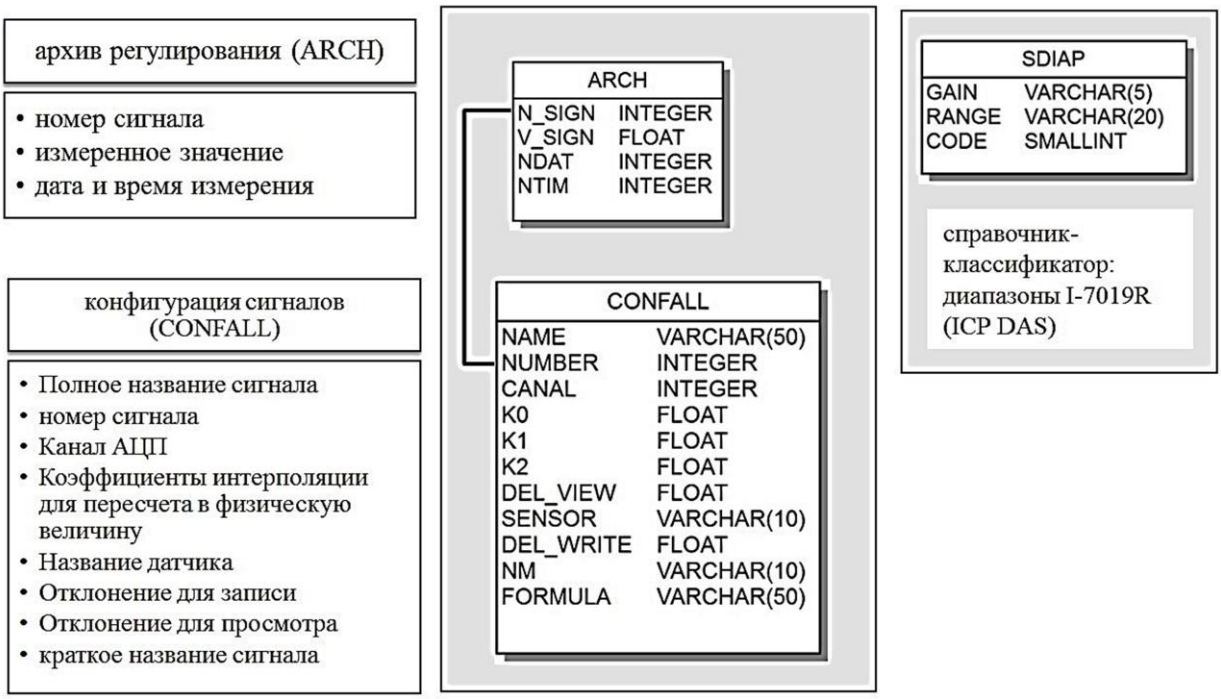

Рис. 5. Структура БД «АРМ оператора»

На первом этапе было решено регистрировать 7 аналоговых сигналов (давление и температура в форкамере, давление в камере Эйфеля, давление и температура в эжекторе, положение двух регулирующих дросселей на входе в форкамеру); в качестве устройства оцифровки выбран аналого-цифровой модуль ICP DAS I-7019R [17]. Этот модуль позволяет подключать как измерители давления, так и термопары и задавать индивидуальные диапазоны для каждого измерителя давления. Измеренные значения сигналов пересчитываются в размерные физические величины по заданным коэффициентам аппроксимации. В таблице 2 приведены названия измеряемых сигналов, тип измерительной аппаратуры (датчик), типовые значения диапазона возможного изменения параметров и порогового значение (уставки) для записи сигнала. Дополнительно вычисляется отношение давления в форкамере к давлению в камере Эйфеля (Npr – “nozzle pressure ratio”), что необходимо для управления режимами работы струйного модуля установки.

Рабочая программа отображает значения выбранных сигналов в графическом и числовом виде (рис. 6). При этом в базу данных записываются изменения всех подключённых сигналов, а не только выбранных для вывода на экран. В качестве серверной БД используется Firebird 2.5. Сохраненные данные анализируются для определения оптимального выхода на режим и анализа аварийных ситуаций.

Таблица 2. Регистрируемые сигналы

Сигнал	Датчик	Диапазон (mV)	Уставки
Температура в форкамере	К-термопара	–	1 °С
Давление в форкамере	S160/Z25	400/100	0.1/0.02 кг/см^2
Давление в камере Эйфеля	S1_6	50	0.0002 кг/см^2
Положение дросселя D16	реохорд	0 … 160	0.5 %
Положение дросселя D30	реохорд	-110 … +100	0.5 %
Давление в эжекторе	Z25	100	0.1 кг/см^2
Температура в эжекторе	К-термопара	–	1 °С

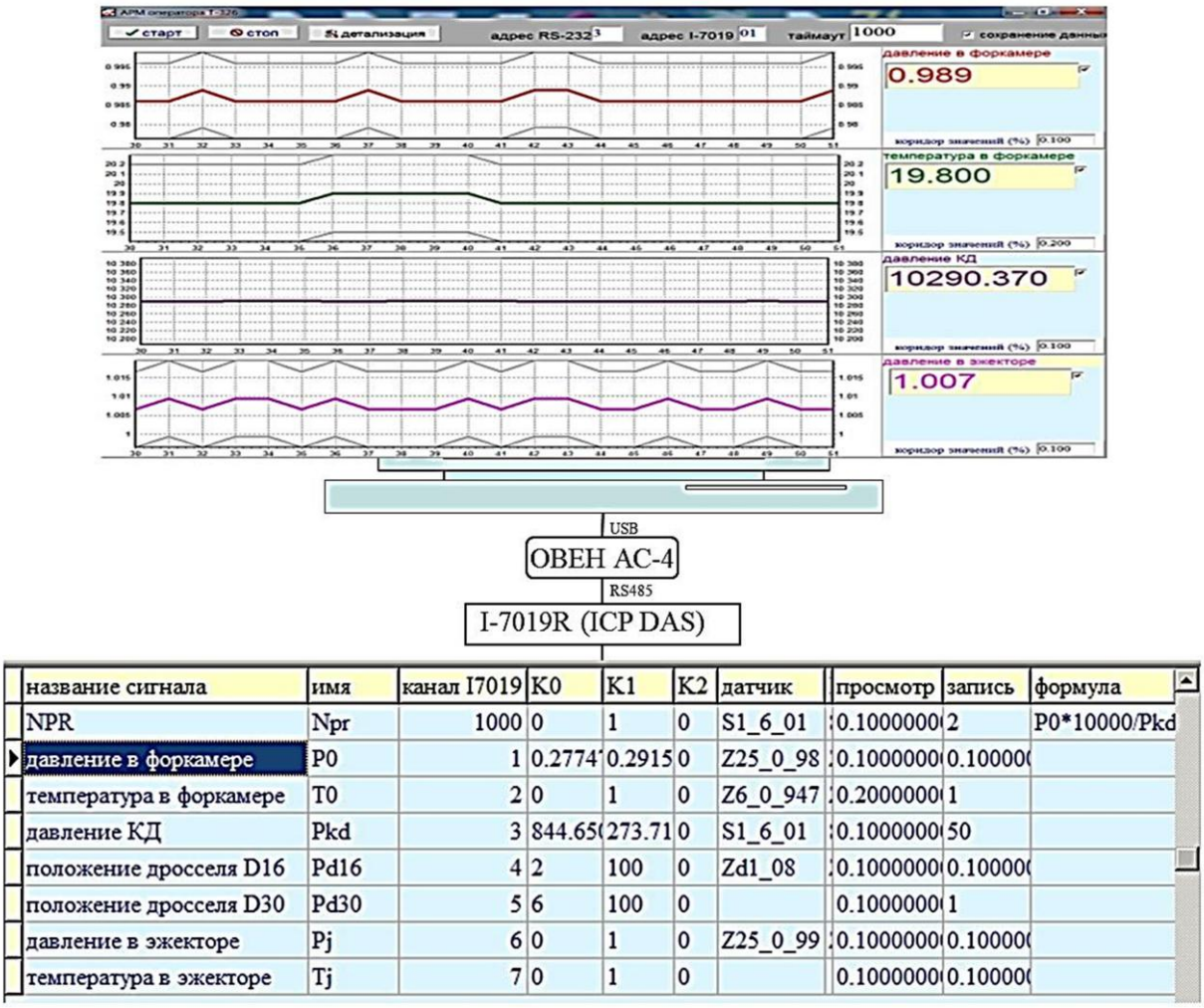

Рис. 6. Система сбора данных «АРМ оператора»

Заключение. Разработанная система «АРМ оператора» позволяет регистрировать с заданной частотой основные параметры, необходимые оператору для управления установкой, и сохранять эти данные для дальнейшего анализа. Данная система имеет возможность наращивания количества опрашиваемых каналов, что позволяет планировать развитии системы в будущем.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке гранта РФФИ №16-01-00314а.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бедарев И.А., Маслов А.А., Сидоренко А.А., Федорова Н.Н., Шиплюк А.Н. Экспериментальное и численное исследование гиперзвукового отрывного течения в окрестности конуса с «юбкой» // ПМТФ. 2002. Т 43, № 6. С. 100–112.
2. Бунтин Д.А., Сидоренко А.А., Шиплюк А.Н. Развитие естественных возмущений в гиперзвуковом пограничном слое острого конуса // ПМТФ. 2001. Т 42, № 1. С. 65–71.
3. Григорьев В.Д., Клеменков Г.П., Омелаев А.И., Харитонов А.М. Гиперзвуковая аэродинамическая труба Т-326 // Сб. Аэрофизические исследования. Новосибирск: Ин-т теорет. и прикл. Механики СО АН СССР. 1972. С. 16−18.
4. Запрягаев В.И., Кавун И.Н. Экспериментальное исследование возвратного течения в передней отрывной области при пульсационном режиме обтекания тела с иглой // ПМТФ. Т 48. № 4. 2007. С. 30–39.
5. Запрягаев В.И., Кавун И.Н., Киселев Н.П. Структура течения на начальном участке сверхзвуковой струи, истекающей из сопла с шевронами // ПМТФ. 2010. Т.51. №2. С. 71−80.
6. Запрягаев В.И., Кавун И.Н., Липатов И.И. Возникновение высоконапорного слоя в угле сжатия при сверхзвуковой скорости потока // Механика жидкости и газа. 2014. № 6. С. 135–144.
7. Запрягаев В.И., Кавун И.Н., Певзнер А.С., Тютин А.А., Яковлева Н.В. Применение системы автоматизированного сбора данных для исследования распределения давления в гиперзвуковой аэродинамической трубе Т-326 // Информационные и математические технологии в науке и управлении. Иркутск: ИСЭМ СО РАН. 2016. № 4–1. С. 99–108.
8. Запрягаев В.И., Кавун И.Н., Певзнер А.С., Тютин А.А., Гаркуша В.В., Собстель Г.М., Яковлев В.В. Автоматизированная система сбора, хранения и обработки экспериментальных данных для гиперзвуковой аэродинамической трубы // XVI Байкальская Всероссийская конференция «Информационные и математические технологии в науке и управлении». Труды. Ч. 2. Иркутск: ИСЭМ СО РАН. 2011. С. 6–11.
9. Запрягаев В.И., Кавун И.Н., Певзнер А.С., Яковлева Н.В., Гаркуша В.В., Яковлев В.В., Пищик Б.Н. Система автоматизированного сбора и хранения данных применительно к эксперименту в аэродинамических трубах // XIV Байкальская Всероссийская конференция «Информационные и математические технологии в науке и управлении». Труды. Часть II. Иркутск: ИСЭМ СО РАН. 2009. С. 73–80.
10. Запрягаев В.И., Киселев Н.П. Структура течения при взаимодействии единичной микроструи с потоком сверхзвуковой струи // ПМТФ. 2009. Т 50. № 3. С. 104–111.
11. Запрягаев В. И., Солотчин А. В., Кавун И. Н., Яровский Д.А. Натекание сверхзвуковой недорасширенной струи на преграды различной проницаемости // ПМТФ. 2011. Т 52. № 5. С. 60–67.
12. Кавун И.Н., Киселев В.Я., Кундасев С.Г., Певзнер А.С., Солотчин А.В., Хорошенко Е.И., Яковлев В.В. Система трехосевого позиционирования для гиперзвуковой аэродинамической трубы Т-326 // «Индустриальные информационные системы» - ИИС-2013. Всероссийская конференция (Новосибирск, 24 – 28 сентября 2013): Сборник тезисов докладов / Новосибирск: КТИ ВТ СО РАН. 2013. С. 28–29.

13. Киселев В.Я. и др. Исследование аэродинамических и тепловых характеристик асимметричных летательных аппаратов при гиперзвуковых скоростях // Теплофизика и аэромеханика. 1999. Т 6. № 3. С. 361–368.
14. Косарев В.Ф., Клинков С.В., Зайковский В.Н., Кундасев С.Г. Газодинамика сверхзвуковой радиальной струи. Часть I. // Теплофизика и аэромеханика. 2015. Т 22, № 6. С. 693–703.
15. Пищик Б. Н., Воронцова Л. А., Йосифов П. В., Нескородев В. Д., Окольнишников В. В., Осокина Т. М., Федоров А. И., Чернаков Д. В. Разработка автоматизированной системы управления технологическими процессами Северомуйского тоннеля // Автометрия. 2008 т. 44. № 3. С. 119–126.
16. Zapryagaev V.I., Lokotko A.V., Pavlov A.A. Gasdynamic structure of the initial portion of over-expanded flat jet exhausted into an ambient space // Thermophysics and Aeromechanics. 2005. Vol. 12. No. 1. Pp. 59–74.
17. https://icp-das.ru/catalog/i-7019r

UDK 004.67, 533.6.071.4

AUTOMATED WORKPLACE OF THE OPERATOR OF THE HYPERSONIC WIND TUNNEL T-326

Valeriy I. Zapryagaev
Dr., Professor, Head of Laboratory “Experimental aerogasdynamics”, e-mail: zapr@itam.nsc.ru
Ivan N. Kavun
Researcher, e-mail: i_k@list.ru
Anna S. Pevzner
Principal Software Engineer, e-mail: pevzner@itam.nsc.ru
Aleksej A. Tjutin
Head of hypersonic wind tunnel
Natalija V. Yakovleva
Senior Engineer, e-mail: natali@itam.nsc.ru
Khristianovich Institute of Theoretical and Applied Mechanics SB RAS,
Institutskaya str., 4/1, 630090, Novosibirsk, Russia

Abstract. This paper describes the hypersonic wind tunnel T-326 based at the Khristianovich Institute of Theoretical and Applied Mechanics SB RAS and automated workplace of the operator of the hypersonic wind tunnel T-326. The software provides acquisition and storage in the database of information necessary for system operation (process stabilization, regulation).
Keywords: wind tunnel, automated workplace, database.

References

1. Bedarev I.A., Maslov A.A., Sidorenko A.A., Fedorova N.N., Shiplyuk A.N. Jeksperimental'noe i chislennoe issledovanie giperzvukovogo otryvnogo techenija v okrestnosti konusa s «jubkoj» [Experimental and Numerical Study of a Hypersonic Separated Flow in the Vicinity of a Cone-

Flare Model] // Journal of Applied Mechanics and Technical Physics. 2002. Vol. 43, No. 6. Pp. 867–876. (in Russian).

2. Bountin D.A., Sidorenko A.A., Shiplyuk A.N. Razvitie estestvennyh vozmushhenij v giperzvukovom pogranichnom sloe ostrogo konusa [Development of Natural Disturbances in a Hypersonic Boundary Layer on a Sharp Cone] // Journal of Applied Mechanics and Technical Physics. 2001. Vol. 42, No. 1. Pp. 57–62. (in Russian)
3. Grigor'ev V.D., Klemenkov G.P., Omelaev A.I., Haritonov A.M. Giperzvukovaja ajerodinamicheskaja truba T-326 [The T-326 hypersonic wind tunnel] // Sbornik. Ajerofizicheskie issledovanija = Collection. Aerophysical Research. Novosibirsk, Khristianovich Institute of Theoretical and Applied Mechanics SB RAS. 1972. Pp. 16–18. (in Russian).
4. Zapryagaev V.I., Kavun I.N. Jeksperimental'noe issledovanie vozvratnogo techenija v perednej otryvnoj oblasti pri pul'sacionnom rezhime obtekanija tela s igloj [Experimental study of the reverse flow in the forward separation region in a pulsating flow around a spiked body] // Journal of Applied Mechanics and Technical Physics. 2007. Vol. 48, No. 4. Pp. 492–500. (in Russian).
5. Zapryagaev V.I., Kavun I.N., Kiselev N.P. Struktura techenija na nachal'nom uchastke sverhzvukovoj strui, istekajushhej iz sopla s shevronami [Flow structure at the initial section of a supersonic jet exhausting from a nozzle with chevrons] // Journal of Applied Mechanics and Technical Physics. 2010. Vol. 51, No. 2. Pp. 202 210. (in Russian).
6. Zapryagaev, V.I., Kavun, I.N., and Lipatov, I.I. Vozniknovenie vysokonapornogo sloja v ugle szhatija pri sverhzvukovoj skorosti potoka [High-pressure layer generation in a compression corner at a supersonic flow velocity] // Fluid Dynamics. 2014. Vol. 49, No. 6. Pp. 819–826. (in Russian).
7. Zapryagaev V.I., Kavun I.N., Pevzner A.S., Tjutin A.A., Yakovleva N.V. Primenenie sistemy avtomatizirovannogo sbora dannyh dlja issledovanija raspredelenija davlenija v giperzvukovoj ajerodinamicheskoj trube T-326 [Using a system of automated data acquisition for studying the pressure pattern in the T-326 hypersonic wind tunnel] // Informacionnye i matematicheskie tehnologii v nauke i upravlenii = Information and Mathematical Technologies in Science and Management". Irkutsk. MESI SB RAS. 2016. № 4–1. Pp. 99–108. (in Russian).
8. Zapryagaev V.I., Kavun I.N., Pevzner A.S., Tjutin A.A., Garkusha V.V., Sobstel' G.M., Yakovlev V.V. Avtomatizirovannaja sistema sbora, hranenija i obrabotki jeksperimental'nyh dannyh dlja giperzvukovoj ajerodinamicheskoj truby [Automated system for experimental data acquisition, storage and processing for a hipersonic wind tunnel] // XVI Bajkal'skaja Vserossijskaja konferencija «Informacionnye i matematicheskie tehnologii v nauke i upravlenii». Trudy = XVI Baikal Russian conference "Information and Mathematical Technologies in Science and Management". Proceeding. Irkutsk: MESI SB RAS. 2011. Vol. II. Pp. 6–11. (in Russian).
9. Zapryagaev V.I., Kavun I.N., Pevzner A.S., Yakovleva N.V. Garkusha V.V., Yakovlev V.V., Pishhik B.N. Sistema avtomatizirovannogo sbora i hranenija dannyh primenitel'no k jeksperimentu v ajerodinamicheskih trubah [Automated data acquisition and storage system applied to a wind tunnel experiment] // XIV Bajkal'skaja Vserossijskaja konferencija «Informacionnye i matematicheskie tehnologii v nauke i upravlenii». Trudy = XIV Baikal

Russian conference "Information and Mathematical Technologies in Science and Management". Proceeding. Irkutsk: MESI SB RAS. 2009. Vol. II. Pp. 73–80 (in Russian).

10. Zapryagaev V.I., Kiselev N.P. Struktura techenija pri vzaimodejstvii edinichnoj mikrostrui s potokom sverhzvukovoj strui [Flow structure formed by interaction of a single microjet with a supersonic jet flow] // Journal of Applied Mechanics and Technical Physics. 2009. Vol. 5. No. 3. Pp. 447–453. (in Russian).
11. Zapryagaev V.I., Solotchin A.V., Kavun I.N., Yarovsky D.A. Natekanie sverhzvukovoj nedorasshirennoj strui na pregrady razlichnoj pronicaemosti [Impingement of a supersonic underexpanded jet onto obstacles with different permeabilities] // Journal of Applied Mechanics and Technical Physics. 2011. Vol. 52. No. 5. Pp. 727–733 (in Russian).
12. Kavun I.N., Kiselev V.Ja., Kundasev S.G., Pevzner A.S., Solotchin A.V., Horoshenko E.I., Yakovlev V.V. Sistema treh osevogo pozicionirovanija dlja giperzvukovoj ajerodinamicheskoj truby T-326 [System of three axial positionings for a hypersonic wind tunnel of T-326] // Sbornik tezisov Vserossijskoj konferencii «Industrial'nye informacionnye sistemy 2013» = Collection of theses of the Russian conference "Industrial Information", Novosibirsk: Design Technological Institute of Digital Techniques SB RAS. 2013. Pp. 28–29. (in Russian).
13. Kiselev V.Ja. i drugie. Issledovanie ajerodinamicheskih i teplovyh harakteristik asimmetrichnyh letatel'nyh apparatov pri giperzvukovyh skorostjah [Research of aerodynamic and thermal values of asymmetric aircraft at hypersonic speeds] // Teplofizika i ajeromehanika = Thermal physics and aeromechanics. 1999. V 6. № 3. Pp. 361–368. (in Russian).
14. Kosarev V.F., Klinkov S.V., Zaikovskii V.N., Kundasev S.G. Gazodinamika sverhzvukovoj radial'noj strui. Chast' I. [Gas dynamics of a supersonic radial jet. Part I] // Thermophysics and Aeromechanics. 2015. Vol. 22. No. 6. Pp. 667– 76. (in Russian).
15. Pishhik B.N., Voroncova L.A., Josifov P.V., Neskorodev V.D., Okol'nishnikov V.V., Osokina T.M., Fedorov A.I., Chernakov D.V. Razrabotka avtomatizirovannoj sistemy upravlenija tehnologicheskimi processami Severomujskogo tonnelja [Development of the automated process control system of the Severomuysky tunnel] // Avtometriya. 2008 V. 44. № 3. Pp. 119–126. (in Russian).
16. Zapryagaev V.I., Lokotko A.V., Pavlov A.A. Gasdynamic structure of the initial portion of over-expanded flat jet exhausted into an ambient space // Thermophysics and Aeromechanics. 2005. Vol. 12. No. 1. Pp. 59–74.
17. https://icp-das.ru/catalog/i-7019r

УДК 621.314.5

АВТОМАТИЗАЦИЯ СИНТЕЗА ОПТИМАЛЬНОГО АЛГОРИТМА ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ЧАСТОТЫ

Дунаев Андрей Михайлович
Аспирант, Иркутский национальный исследовательский технический университет, 664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова 83,
e-mail: *west-ma@yandex.ru*

Аннотация. В статье рассмотрен подход к автоматизации процесса нахождения оптимального логического алгоритма диагностирования преобразователей частоты по функциональной схеме. Описана алгоритмизация основных этапов построения оптимальной последовательности выполнения элементарных проверок над функциональными блоками диагностируемого устройства: выбор блока первой проверки, определение блочных номенклатур ветвей, формирование совокупности возможных последовательностей выполнения элементарных проверок в ветвях, выявление оптимальных последовательностей по критерию минимальности средних затрат на выполнение. Приведён пример работы созданного приложения автоматизированного синтеза алгоритма.

Ключевые слова: оптимальный алгоритм диагностирования; процедура синтеза алгоритма диагностирования; средние затраты диагностирования; дерево алгоритма диагностирования.

Введение. Достаточное разнообразие заданных допустимых элементарных проверок позволяет получать диагностические алгоритмы различного качества. Представители означенного класса, проанализированные и разработанные автором данной статьи на более ранних этапах исследования, могут быть определены как квази-оптимальные по своему отношению к структуре диагностируемых устройств [9].

Однако следует отметить, что наибольшей практической значимостью обладают задачи построения оптимальных алгоритмов диагностирования [2], поскольку именно подобные задачи являют собой немаловажный аспект совершенствования средств обслуживания систем в связи с возрастанием сложности последних и повышением требований к эффективности их действия [6–8].

Целью настоящей работы является синтез оптимального алгоритма диагностирования неисправностей преобразователей частоты по функциональной схеме.

1. Логические алгоритмы диагностирования и критерий их оптимальности. Функциональная схема промышленного преобразователя частоты (ПЧ), представленная на рисунке 1, содержит 9 функциональных блоков, а также графическое обозначение передаваемых в системе сигналов [4].

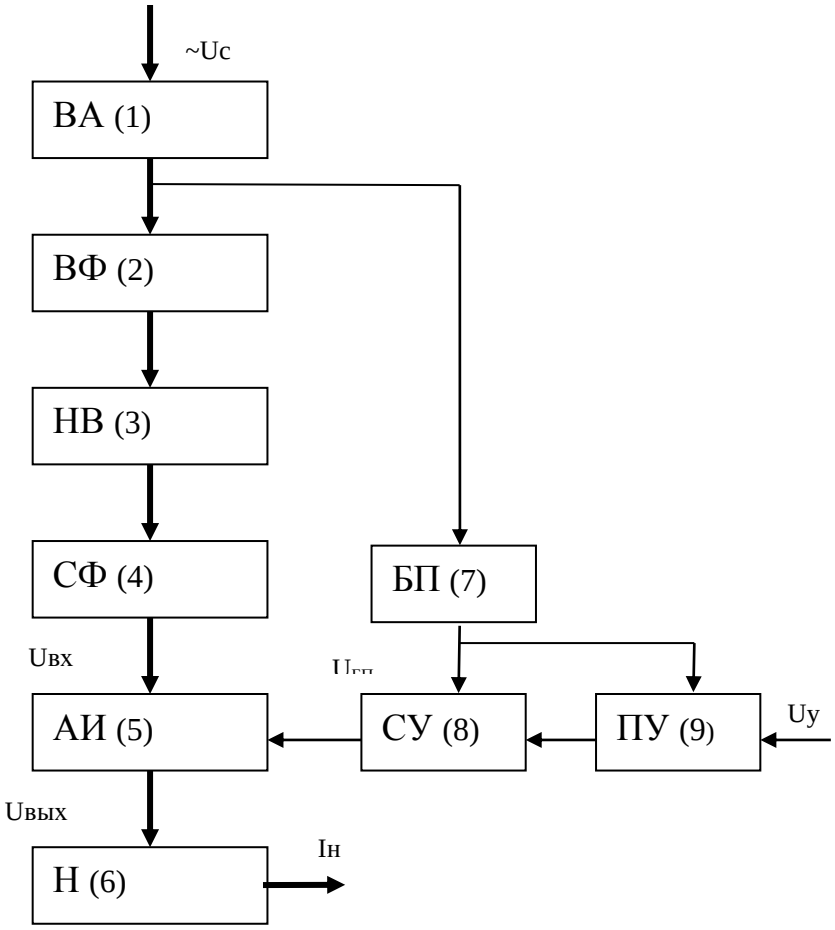

Рис. 1. Функциональная схема промышленного ПЧ

На рисунке 1 имеют место следующие обозначения: ВА – вводной автоматический выключатель; ВФ – входной фильтр; НВ – неуправляемый выпрямитель; СФ – сглаживающий фильтр; АИ – автономный инвертор; Н – нагрузка преобразователя; БП – блок питания системы управления; СУ – система управления; ПУ – панель управления; $\sim U_c$ – напряжение питающей сети переменного тока; $U_{ВХ}$ – входное напряжение силовой схемы преобразователя; $U_{ВЫХ}$ – выходное напряжение преобразователя; $U_{БП}$ – выходное напряжение блока питания; $U_У$ – сигнал задания выходной частоты; Iн – ток нагрузки.

Диагностические алгоритмы опираются на функциональную схему диагностируемого устройства и служат для описания порядка проведения элементарных проверок над его функциональными блоками [3, 5]. Эффективность указанных алгоритмов определяется средними затратами диагностирования для определения одного технического состояния объекта диагностирования, которые могут быть найдены по выражению (1):

$$C(Z_0, E_T) = \sum_{i=1}^{N} [\, p(e_i) \sum_{z_0}^{Z_i} t(e_i)], \qquad (1)$$

где Z_o – первая проверка алгоритма диагностирования; $p(e_i)$ – вес i-го технического состояния среди других технических состояний, $t(e_i)$ – время проверки i-го блока, e_i - техническое состояние i-го функционального блока, E_T - множество технических состояний объекта

диагностирования, $e_i \in E_T$; $\sum_{Z_0}^{Z_i} t(e_i)$ – сумма времён проверок алгоритма диагностирования от проверки Z_0 до проверки Z_i [3, 9].

Таким образом, критерием оптимальности алгоритма является минимальность средних затрат диагностирования для определения одного технического состояния объекта диагностирования [1]. Данные, необходимые для вычисления этого показателя, представлены в таблице 1. К ним относятся значения веса технического состояния и времени проверки i-го функционального блока.

Таблица 1. Времявероятностные характеристики функциональных блоков

i	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$p(e_i)$	0,01	0,04	0,05	0,02	0,4	0,1	0,14	0,2	0,04
$t(e_i)$	0,05	0,05	0,1	0,02	0,07	0,06	0,05	0,5	0,1

2. Процедура синтеза оптимального алгоритма. Синтез диагностического алгоритма, характеризуемого минимальными затратами, осуществляется согласно предлагаемой методике, включающей следующие этапы:

1. Анализ функциональной схемы диагностируемого устройства на предмет определения целесообразности выполнения проверок конкретных блоков в различных ситуациях.
2. Выбор блока, подлежащего проверке в первую очередь.
3. Построение блочной номенклатуры ветви.
4. Составление полного расклада последовательностей выполнения элементарных проверок над блоками ветви.
5. Нахождение оптимальных последовательностей элементарных проверок.
6. Синтез дерева искомого алгоритма из найденных оптимальных конфигураций его составных частей.

Результатами анализа, проводимого на первом из перечисленных этапов, должны стать два логических массива выполнения проверок (ЛМВП). Один из них формируется на случай получения неисправных выходных сигналов (ЛМВП0), другой – на случай получения исправных выходных сигналов (ЛМВП1).

Второй этап процедуры заключается в выборе блока первой проверки (БПП) по критерию минимальности времени проверки.

Необходимо отметить, что рассматриваемые далее третий, четвёртый и пятый этапы выполняются отдельно для каждой из ветвей синтезируемого дерева алгоритма.

Третий шаг состоит в определении блочной номенклатуры ветви синтезируемого алгоритма на основании результатов выполнения двух предыдущих этапов – данных ЛМВП и информации о БПП.

Четвёртая ступень рассматриваемой методики направлена на конструирование всех возможных порядков осуществления проверок. По причине наибольшей сложности данной части процедуры для реализации следует продемонстрировать полученное в результате алгоритмизации графическое представление описываемого этапа, показанное на рисунке 2.

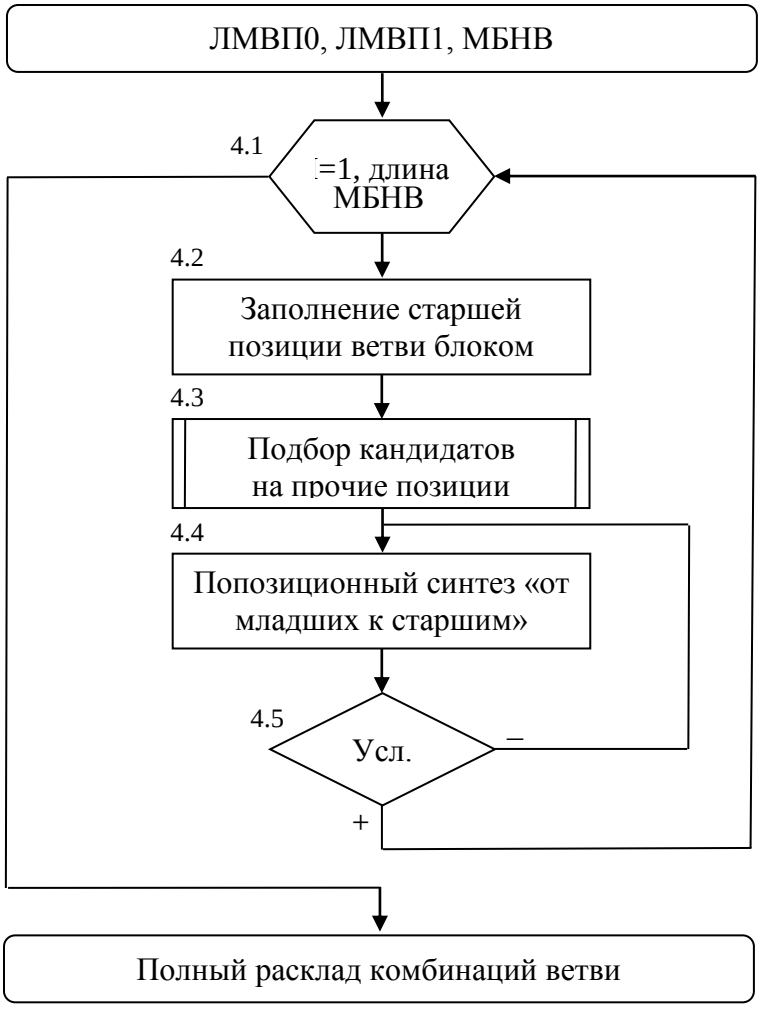

Рис. 2. Блок-схема подпроцедуры составления полного расклада комбинаций

Условием 1 обозначена исчерпанность кандидатов младшего уровня и невозможность формирования из оставшихся комбинации, равномощной номенклатуре ветви без МБНВ[I].

На пятом этапе предполагается выделение из сформированного расклада одной или нескольких последовательностей, характеризуемых минимальной стоимостью выполнения.

Шестой шаг ввиду своей простоты в детализированном описании не нуждается.

3. Работа приложения автоматизированного синтеза оптимального алгоритма. Структура разработанного рабочего прототипа «FC_OPTIM» размещена на рисунке 3.

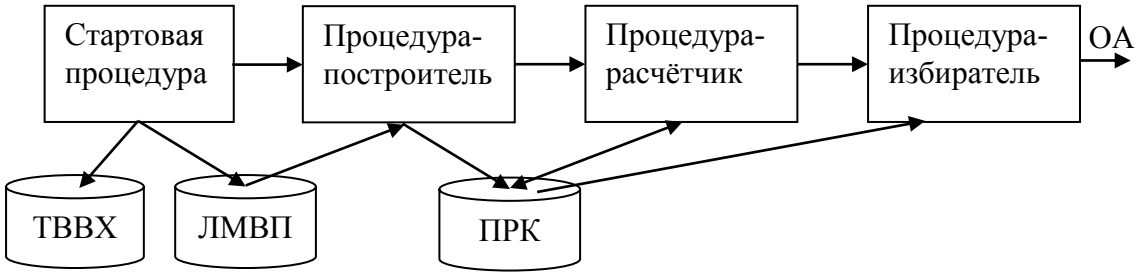

Рис. 3. Структура приложения «FC_OPTIM»

На рисунке 3 имеют место следующие обозначения: ТВВХ – таблица времявероятностных характеристик; ЛМВП – логические массивы выполнения проверок; ПРК – полный расклад комбинаций; ОА – оптимальный алгоритм.

Приложение использует псевдографическую систему представления дерева синтезируемого алгоритма диагностирования.

В этой системе представления ячейка, содержащая номер блока, который следует проверить в случае получения исправного выходного сигнала (левая дочерняя позиция), располагается на следующей строке таблицы непосредственно под ячейкой с номером блока произведённой элементарной проверки (родительской позиции).

Ячейка с номером блока, подлежащего проверке при получении неисправного сигнала (правая дочерняя позиция), находится правее левой дочерней позиции на соответственно 1, 2, 2^2, … , 2^{n-k} ячеек (где n – общее число уровней блоков-кандидатов, k – индекс уровня рассматриваемой материнской позиции, а индекс уровня дочерней позиции БПП принят равным 0).

Рисунком 4 проиллюстрировано состояние формы, соответствующее моменту начала работы приложения.

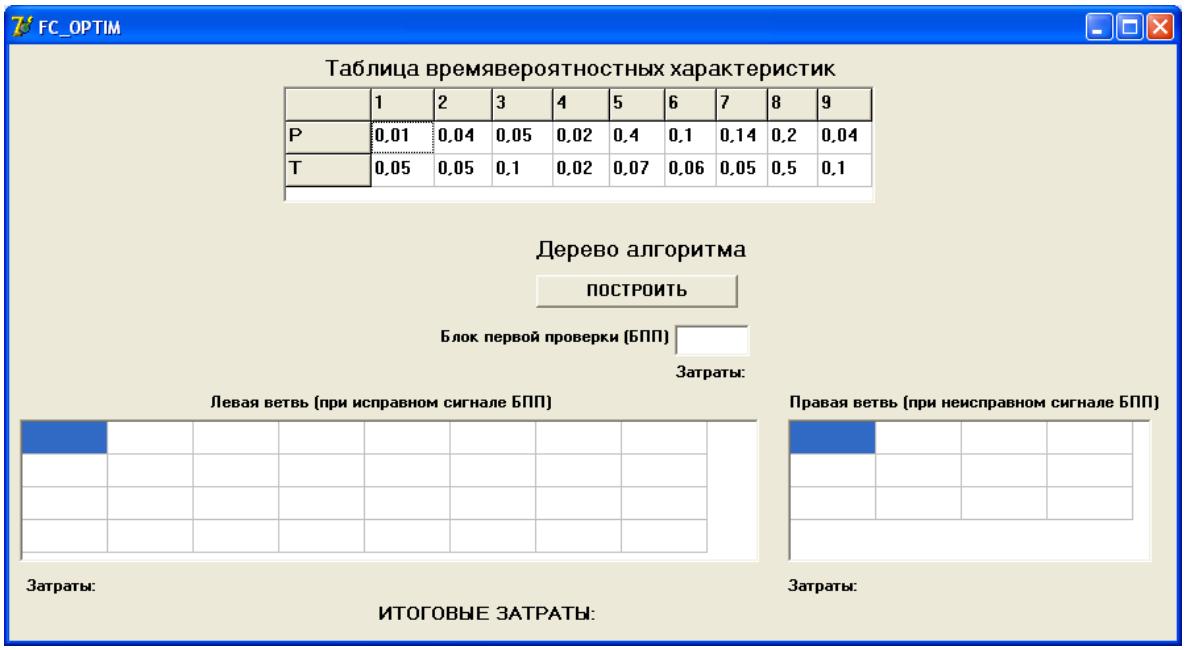

Рис. 4. Приложение «FC_OPTIM». Начало работы

На рисунках 5 и 6 зафиксированы результаты работы рассматриваемой программы. Ввиду того, что в ходе решения задачи была найдена 1 конфигурация правой ветви и 2 конфигурации левой, возможны две версии дерева алгоритма, отвечающего критерию оптимальности.

Рисунок 5 отражает первый вариант представления, соответствующий, как позволяет заключить опыт предыдущих исследований, M1a- и MPO-алгоритмам [4, 5]. На рисунке 6 показана конфигурация второго варианта, соответствующего MPT-алгоритму [1, 5].

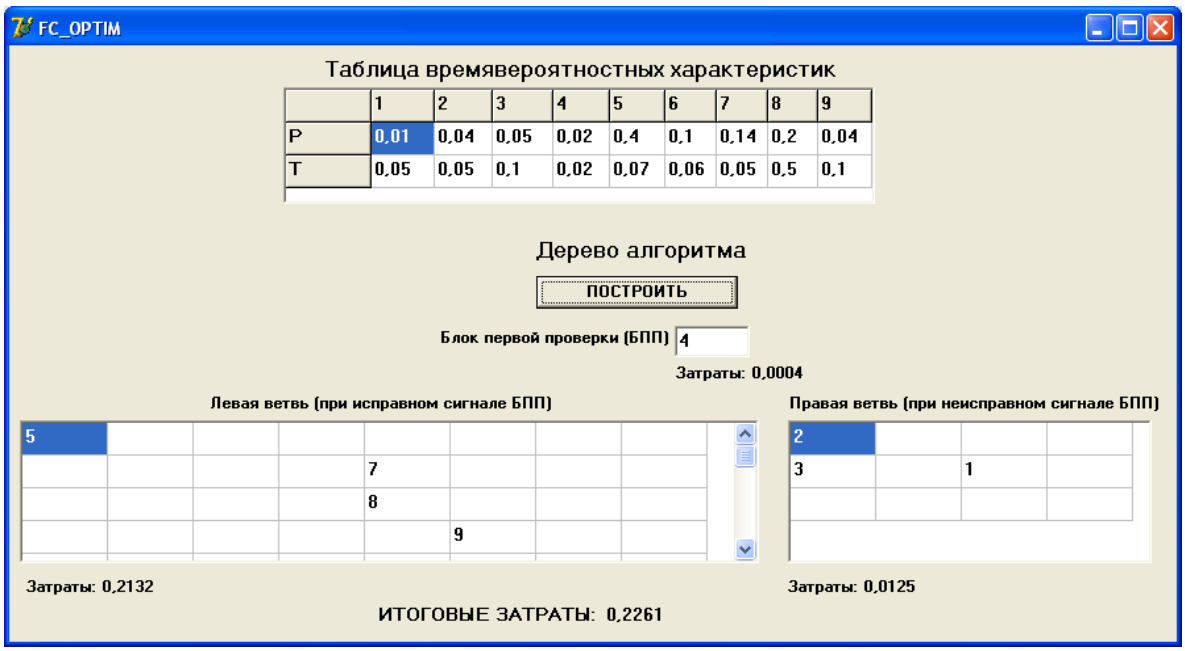

Рис. 5. Приложение «FC_OPTIM». Результаты работы. Первый вариант

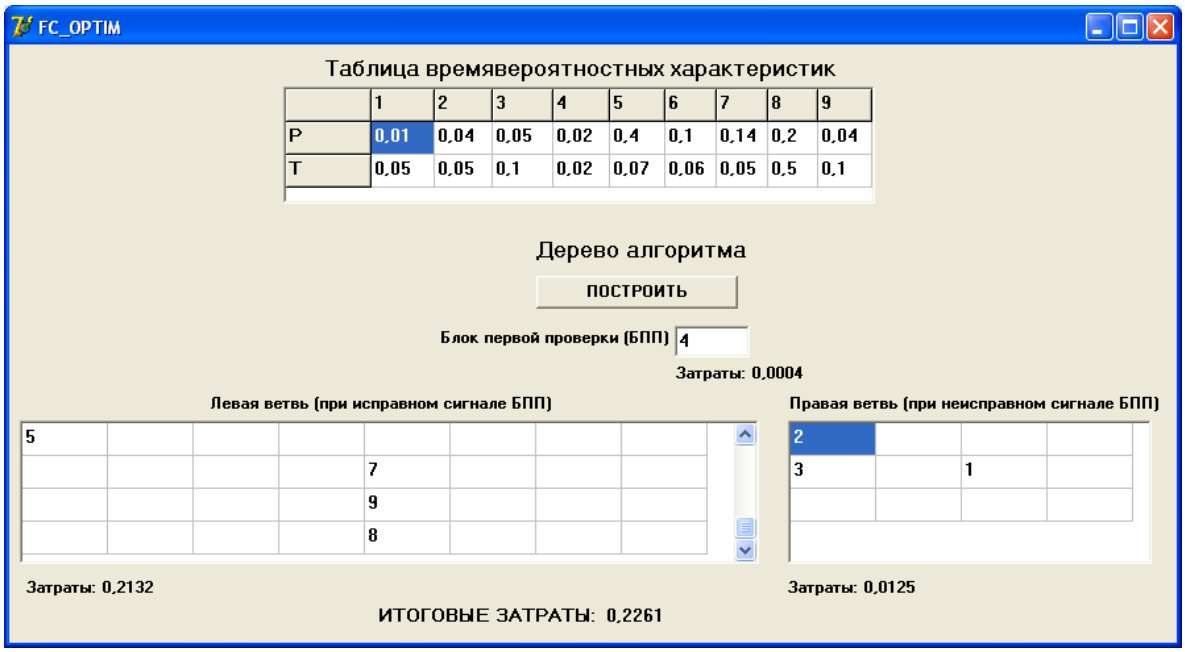

Рис. 6. Приложение «FC_OPTIM». Результаты работы. Второй вариант

Последний из построенных алгоритмов диагностирования в настоящий момент используется в качестве основы структурирования базы знаний рабочего прототипа экспертного комплекса для наладки преобразователей частоты «FC3».

Граф данного алгоритма приведён на рисунке 7. Вершины графа обозначают проверки функциональных блоков, дуги графа – результаты этих проверок: 0 – сигнал не в норме (неисправный), 1 - сигнал в норме (исправный) [5], а прямоугольные рамки содержат номера блоков, в которых локализована выявленная неисправность.

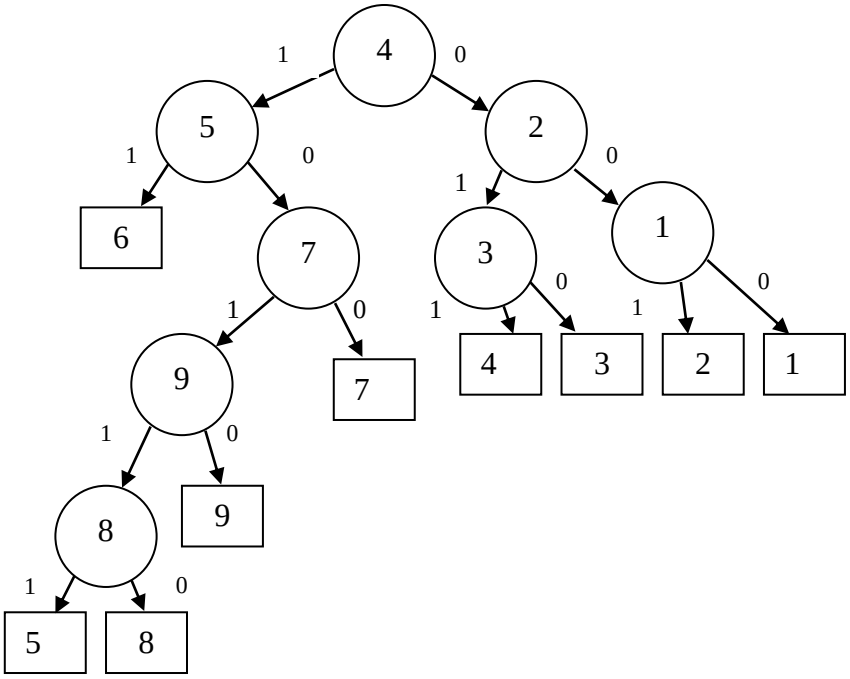

Рис. 7. Граф МРТ-алгоритма

Заключение. В рамках данной работы предложена процедура синтеза оптимального алгоритма диагностирования преобразователей частоты по функциональной схеме. Разработано приложение «FC_OPTIM» для автоматизации построения описанного алгоритма. Получены два дерева алгоритмов, удовлетворяющих критерию оптимальности. Одна из полученных конфигураций соответствует МРТ-алгоритму, в настоящее время используемому для структурирования базы знаний экспертного комплекса «FC3» [1].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бахвалов С.В., Дунаев А.М., Дунаев М.П. Выбор алгоритма для построения базы знаний экспертной системы диагностирования электрооборудования // Информационные и математические технологии в науке и управлении. 2016. №2. С. 46–51.
2. Григорьев А.В., Осотов В.Н. Диагностика в технике. Понятия, цели, задачи // Электротехника. 2003. № 4. С. 46–51.
3. Дунаев М.П. Методы управления технологическим процессом контроля и наладки промышленного оборудования (промышленность): автореферат дис. … док. тех. наук. Иркутск. 2004. 18 с.
4. Дунаев М.П. Экспертные системы для наладки электропривода. Иркутск: ИрГТУ. 2004. 138 с.
5. Дунаев М.П., Дунаев А.М. Экспертный комплекс для наладки преобразователей частоты // XX Bajkal'skaja Vserossijskaja konferencija «Informacionnye i matematicheskie tehnologii v nauke i upravlenii». Trudy = XX Baikal Russian conference "Information and Mathematical Technologies in Science and Management". Proceeding. Irkutsk: MESI SB RAS. 2015. V. 3. Pp. 20–28.
6. Забокрицкий Е.И., Холодовский Б.А., Митченко А.И. Справочник по наладке электроустановок и электроавтоматики. Киев: Наукова Думка. 1985. 704 с.

7. Мозгалевский А.В., Калявин В.П., Костанди Г.Г. Диагностирование электронных систем. Л.: Судостроение. 1984. 224 с.
8. Осипов О.И., Усынин Ю.С. Техническая диагностика автоматизированных электроприводов. М.: Энергоатомиздат. 1991. 160 с.
9. Техническая диагностика // I Всесоюзное совещание по технической диагностике. Сборник трудов / под общ. ред. П.П. Пархоменко. М.: Наука. 1972. 368 с.

UDK 621.314.5

AUTOMATION OF SYNTHESIS OF THE OPTIMAL ALGORITHM OF FREQUENCY CONVERTERS DIAGNOSTICS

Andrey M. Dunaev
Graduate student, National Research Irkutsk State Technical University (NR ISTU)
83, Lermontov Str., 664074, Irkutsk, Russia, e-mail: west-ma@yandex.ru

Abstract. The paper considered an approach for programming automation of the forming of the optimal electric equipment diagnosis algorithm. Follow steps of the process are described: selecting of the first checking functional unit, determination of tree parts representatives, forming of possible diagnostic checking sequences, finding of the optimal sequences. The example of the application for automated synthesis of the optimal diagnosis algorithm is described.
Keywords: optimal diagnosis algorithm; procedure of the synthesis of diagnosis algorithm; the average cost of diagnosis.

References

1. Bahvalov S.V., Dunaev M.P., Dunaev A.M. Vybor algoritma dlja postroenija bazy znanij jekspertnoj sistemy diagnostirovanija jelektrooborudovanija [The choice of the algorithm for building the knowledge base of the expert system for diagnosing electrical equipment] // Informacionnye i matematicheskie tehnologii v nauke i upravlenii = Information and Mathematical Technologies in Science and Management". 2016. № 2. Pp. 46–51. (in Russian).
2. Grigor'ev A.V., Osotov V.N. Diagnostika v tehnike. Ponjatija, celi, zadachi [Diagnosis in engineering. Concepts, goals, tasks] // Elektrotekhnika = Electrical engineering. 2003. № 4. Pp. 46–51. (in Russian).
3. Dunaev M.P. Metody upravlenija tehnologicheskim processom kontrolja i naladki promyshlennogo oborudovanija (promyshlennost'). Avtoref. dis. …dokt. tehn. nauk [Methods for controlling the technological process of control and adjustment of industrial equipment (industry)]. Irkutsk. 2004. 18 p. (in Russian).
4. Dunaev M.P. Jekspertnye sistemy dlja naladki jelektroprivoda [Expert systems for adjusting the electric drive]. Irkutsk: Izdatel'stvo IrGTU = IrSTU Publ. 2004. 138 p. (in Russian).
5. Dunaev M.P., Dunaev A.M. Jekspertnyj kompleks dlja naladki preobrazovatelej chastoty [Expert complex for adjustment of frequency converters] // XX Bajkal'skaja Vserossijskaja

konferencija «Informacionnye i matematicheskie tehnologii v nauke i upravlenii». Trudy = XX Baikal Russian conference "Information and Mathematical Technologies in Science and Management". Proceeding. Irkutsk: MESI SB RAS. 2015. Vol. 3. Pp. 20–28. (in Russian).

6. Zabokrickij E.I., Holodovskij B.A., Mitchenko A.I. Spravochnik po naladke jelektroustanovok i jelektroavtomatiki [Reference book for adjustment of electrical installations and electroautomatics]. Kiev. Naukova Dumka = Scientific thought. 1985. 704 p. (in Russian).
7. Mozgalevskij A.V., Kaljavin V.P., Kostandi G.G. Diagnostirovanie jelektronnyh sistem [Diagnostics of electronic systems]. Leningrad. Sudostroenie. 1984. 224 p. (in Russian).
8. Osipov O.I., Usynin Ju.S. Tehnicheskaja diagnostika avtomatizirovannyh jelektroprivodov [Technical diagnostics of automated electric drives]. Moscow. Energoatomizdat. 1991. 160 p. (in Russian).
9. Tehnicheskaja diagnostika [Technical diagnostics] // I Vsesojuznoe soveshhanie po tehnicheskoj diagnostike. Sbornik trudov / pod obsh. red. P.P. Parhomenko = I All-Union Conference on Technical Diagnostics: Collection of works / commonly ed. P.P. Parkhomenko. Moscow. Nauka = Science. 1972. 368 p. (in Russian).

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

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 **До 15 апреля** **До 1/25 июля** **До 25 ноября**	Прием статей: 2-й выпуск (издание – апрель 2017 г.) 3-й выпуск (издание – июнь 2017 г.) 4-й выпуск (издание – ноябрь 2017) 1-й выпуск (издание – февраль 2018)
До 7 апреля	Оплата участия в конференции
29 июня	Заезд и регистрация участников в Иркутске
29-30 июня	Школа-семинар научной молодежи (Иркутская сессия)
1 июля	Трансфер «Иркутск – Тогот»
2-7 июля	Работа конференции и школы-семинара научной молодежи
8 июля	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 сдвоенные 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	Одноместное 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. Иногородние 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 автотранспорт).

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.

Программный комитет конференции

Председатель-координатор:

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

Сопредседатели программного комитета:

Абламейко С.В., академик НАН Беларуси, Минск, Белорусский гос. ун-т

Бычков И.В., академик РАН, Иркутск, ИДСТУ СО РАН

Воеводин В.В., чл.-корр. РАН, Москва, НИВЦ МГУ

Воропай Н.И. чл.-корр. РАН, Иркутск, ИСЭМ СО РАН

Донской В.И., академик Крымской АН, Россия, Симферополь, Таврический ун-т им. В.И. Вернадского

Федотов А.М., чл.-корр. РАН, Новосибирск, ИВТ СО РАН

Члены программного комитета:

Андрианов А.Н. д.ф.-м.н., Москва, ИПМ РАН

Аршинский Л.В., д.т.н., Иркутск, ИрГУПС

Бухановский А.В., д.т.н., Санкт-Петербург, НИУ ИТМО

Берестнева О.Г. , д.т.н., Томск, ТПУ

Вольфенгаген В.Э., д.т.н., Москва, МИФИ

Горнов А.Ю., д.т.н., Иркутск, ИДСТУ СО РАН

Грибова В.В., д.т.н., Владивосток, ИАПУ ДВО РАН

Дунаев М.П., д.т.н., Иркутск, ИрГТУ

Елисеев С.В., д.т.н., Иркутск, ИрГУПС

Казаков А.Л., д.ф.-м.н., Иркутск, ИНЦ 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

Карпенко А.П., д.ф.-м.н, Москва, МГТУ им. Баумана

Силич В.А., д.т.н., Томск, ТПУ

Смирнов С.В., д.т.н., Самара, ИПУСС 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

Оргкомитет конференции

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

Зам. председателя: **Бахвалов С.В.**, к.т.н., ИрГТУ

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

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: imt@isem.irk.ru
Web-сайт: http://imt.isem.irk.ru

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

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 (привезти 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 соглашение 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 оргвзноса), 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.

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