

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

Научный журнал

№ 2



ISSN 2413 – 0133

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ ЖУРНАЛА

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

ИСПОЛНИТЕЛЬНАЯ РЕДАКЦИЯ ЖУРНАЛА

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

Рабочие контакты

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

Раб. тел.: 8 (3952) 500-646 доп. 441

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

Раб. тел.: 8 (3952) 500-646 доп. 440

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

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

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

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

Подписано в печать 14.04.2016 г. Тираж 100 экз.

© Издательство ИСЭМ СО РАН

ПРЕДИСЛОВИЕ РЕДАКТОРА	5
Методы и системы искусственного интеллекта	
Карпенко А.П. Основные сущности популяционных алгоритмов для задачи глобальной оптимизации	8
Аршинский Л.В. Особенности работы машины вывода системы моделирования правдоподобных рассуждений «Гераклит»	18
Булатов Ю.Н., Крюков А.В. Применение генетических алгоритмов для настройки автоматических регуляторов установок распределенной генерации	30
Бахвалов С.В., Дунаев А.М., Дунаев М.П. Выбор алгоритма для построения базы знаний экспертной системы диагностирования электрооборудования	46
Математическое моделирование и его применение в научных исследованиях	
Дивеев А.И., Софронова Е.А., Шмалько Е.Ю. Метод идентификационного синтеза управления и его применение к мобильному роботу	53
Бержинский Ю.А., Горнов А.Ю., Финкельштейн Е.А., Ордынская А.П. Исследование сложного упругопластического деформирования механических систем с несколькими степенями свободы с помощью вычислительного эксперимента	62
Закарюкин В.П., Крюков А.В., Лэ Ван Тхао Учет транспозиции проводов при моделировании электромагнитных полей, создаваемых высоковольтными линиями электропередачи	71
Кононов Ю.Д. Проблемы учета влияния горизонта прогнозирования ТЭК на рациональный состав и агрегирование моделей	80
Любимова Е.В. Адаптация моделей прогнозирования регионального энергопотребления к изменению классификации статистики	86
Информационные и вычислительные технологии	
Грибова В.В., Клещев А.С., Москаленко Ф.М., Тимченко В.А., Федорищев Л.А., Шалфеева Е.А. Облачная платформа IASPAAS: текущее состояние и перспективы развития	94
Клименко О.А. Модели представления академического веб-пространства	103
Дородных Н.О., Коршунов С.А., Юрин А.Ю. Концепция подхода к созданию программных компонентов генерации баз знаний на основе трансформации концептуальных моделей	111
Мозер Д.В., Долгонос В.Н., Яворский В.В., Сергеева А.О., Байдикова Н.В. Информационное обеспечение интерактивной геоинформационной системы предупреждения и прогнозирования чрезвычайных ситуаций	121
Коршунов С.А., Дородных Н.О. Программное средство визуализации на основе WEBGL	129
Правила приема статей в журнал	137

	Content
EDITOR'S FOREWORD	5
Methods and systems of artificial intelligence	
Anatoly P. Karpenko Basic essence of the population algorithms for global optimization problem	8
Leonid V. Arshinskiy Features of the inference engine of the plausible reasoning modeling system "Heraclitus"	18
Yury N. Bulatov, Andrey V. Kryukov Application of genetic algorithms for setting adjustment controllers of distributed generation plants	30
Sergey V. Bakhvalov, Andrey M. Dunaev, Mikhail P. Dunaev The approach to the structuring of knowledge base of expert system for electric equipment diagnosis	46
Mathematical modeling and its application in scientific research	
Askhat I. Diveev, Elena A. Sofronova, Elizaveta Yu. Shmalko Method of identificational synthesis control and its application for mobile robot	53
Yuri A. Berzhinsky, Alexander Yu. Gornov, Evgeniya. A. Finkelstein, Alisa P. Ordynskaya The program for calculation of complex elastic-plastic deformation of mechanical systems with multiple degrees of freedom	62
Vasilij P. Zakaryukin, Andrey V. Kryukov, Le Van Thao Accounting of wires transposition when electromagnetic fields' modeling created by high voltage power lines	71
Yury D. Kononov Problems in accounting the impact of forecasting horizon of the energy sector on rational composition and aggregation of applied models	80
Ekaterina V. Lyubimova Adapting forecast models of regional energy consumption to statistical classification change	86
Information and Computing Technologies	
Valeriya V. Gribova, Alexander S. Kleschev, Philip M. Moskalenko, Vadim A. Timchenko, Leonid A. Fedorischev, Elena A. Shalfeeva IACPAAS cloud platform: current state and evolution trends	94
Olga A. Klimenko Models of academic web space	103
Nikita O. Dorodnykh, Sergey A. Korshunov, Alexander Yu. Yurin The concept of an approach for development of software components of knowledge bases generation based on the transformation of conceptual models	111
Dmitriy V. Mozer, Viktor N. Dolgonosov, Vladimir V. Yavorskiy, Anastasiya O. Sergeyeva, Natalya V. Baidikova Dataware of the interactive geoinformation system of prevention and liquidation of emergency situations	121
Sergei A. Korshunov, Nikita O. Dorodnyh Visualization software tool based on the WEBGL library	129
Call for papers	137

ПРЕДИСЛОВИЕ РЕДАКТОРА

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

Начиная с 2016 г., Труды конференции, которые последние десять лет издавались в 2-3-х томах к началу конференции, издаются как периодическое издание четыре раза в год. Журналу присвоен международный индекс ISSN, статьи индексируются в РИНЦ. К публикации принимаются также статьи «заочных» участников. Вашему вниманию предлагается второй выпуск журнала.

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

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

Члены программного комитета конференции являются членами редколлегии нашего издания, его тематика совпадает с тематикой конференции.

Второй выпуск журнала включает три раздела: методы и системы искусственного интеллекта, математическое моделирование и его применение в научных исследованиях, информационные и вычислительные технологии.

Первый раздел «Методы и системы искусственного интеллекта» открывается статьей А.П. Карпенко (МГТУ им. Н.Э. Баумана), посвященной вопросам разработки алгоритмов глобальной поисковой оптимизации, которые называют поведенческими, интеллектуальными, метаэвристическими, роевыми, биоинспирированными, многоагентными, популяционными и т.д. Эффективность таких алгоритмов соизмерима, а часто превосходит ставшие уже классическими эволюционные алгоритмы, наиболее известным из которых является генетический алгоритм. Результаты, рассматриваемые в статье, получены при частичной поддержке РФФИ.

В статье Аршинского Л.В. (ИрГУПС, г. Иркутск) обсуждаются вопросы организации логического вывода в системе моделирования правдоподобных рассуждений «Гераклит». Эта система, первоначально разрабатывалась для исследований в области логик с векторной семантикой, но сейчас позиционируется как инструментальная среда разработки экспертных систем. Имеются свидетельства о регистрации этой системы.

В статье Булатова Ю.Н. и Крюкова А.В. (ИрГУПС, г. Иркутск) рассматривается применение генетических алгоритмов для настройки автоматических регуляторов установок распределенной генерации электроэнергии. Актуальность выполненной работы авторы связывают с развитием концепции интеллектуальных электроэнергетических систем (ЭЭС) с активно-адаптивными сетями (Smart Grid), что предполагает повышение надёжности и живучести ЭЭС на основе создания развитой системы автоматического управления, построенной с использованием интеллектуальных технологий.

Раздел завершает статья Бахвалова С.В., Дунаева А.М. и Дунаева М.П. (ИРНИТУ, г. Иркутск), посвященная выбору алгоритма диагностирования электрооборудования, который

будет взят за основу при разработке структуры базы знаний соответствующей экспертной системы.

Второй раздел «Математическое моделирование и его применение в научных исследованиях» открывается статьей Дивеева А.И., Софроновой Е.А., Шмалько Е.Ю. (ФИЦ «Информатика и управление» РАН, г. Москва). В статье рассматриваются специальные численные методы для решения задач идентификации и синтеза управления, которые используют относительно новый метод символьной регрессии, метод сетевого оператора. Приведен пример применения этих методов к мобильному роботу.

В статье Бержинского Ю.А., Горнова А.Ю., Финкельштейн Е.А., Ордынской А.П. (ИДСТУ СО РАН, ИЗК СО РАН, г.Иркутск) рассматривается модификация модели сложного упругопластического деформирования механической системы с несколькими степенями свободы. Приведены результаты вычислительных экспериментов, проведенных с использованием компьютерной программы для определения пластических деформаций при воздействии максимального расчетного землетрясения. Результаты, представленные в статье, получены при частичной поддержке РФФИ.

Статья Закарюкина В.П., Крюкова А.В., Лэ Ван Тхао (ИрГУПС, г. Иркутск) посвящена вопросам учета транспозиции проводов при моделировании электромагнитных полей, создаваемых высоковольтными линиями электропередачи. В статье приведены результаты компьютерного моделирования полей двухцепной и шестифазной линий электропередачи, подтверждающие важность учета транспозиции проводов. Предлагается распространить технологию компьютерного моделирования электромагнитных полей на многопроводные линии любых применяемых на практике конструкций.

Следующие две статьи этого раздела посвящены экономическим вопросам. В статье Кононова Ю.Д. (ИСЭМ СО РАН, г. Иркутск) обосновывается целесообразность использования разных по составу и степени агрегирования математических моделей в зависимости от горизонта прогнозирования (10-20-30 лет) развития топливно-энергетического комплекса. Результаты, представленные в статье, получены при поддержке РФФИ. В статье Любимовой Е.В. (ИЭОПП СО РАН, г. Новосибирск) рассматриваются результаты адаптации моделей прогнозирования электропотребления СФО, разработанных в Институте экономики и организации промышленного производства (ИЭОПП) СО РАН, к Общероссийскому классификатору видов экономической деятельности.

Третий раздел «Информационные и вычислительные технологии» открывается статьей Грибовой В.В. и Клещева А.С. с соавторами (Институт автоматики и процессов управления ДВО РАН, г. Владивосток), посвященной облачным технологиям. Описаны основные характеристики и функциональные возможности облачной платформы IASaaS и возможности коллективной разработки облачных сервисов и их компонентов на этой платформе. Результаты получены при частичной финансовой поддержке РФФИ и ПФИ ДВО РАН «Дальний Восток».

В статье Клименко О.А. (ИВТ СО РАН, г. Новосибирск) представлены результаты исследования академического веб-пространства методами вебметрики, теории графов и численными методами. Описаны новые модели представления академического веб-пространства, полученные в рамках выполненной работы.

Статья Дородных Н.О., Коршунова С.А., Юрина А.Ю. (ИДСТУ СО РАН, г. Иркутск) посвящена проблеме повышения эффективности создания интеллектуальных систем (ИС) и

их подсистем (компонентов). Предлагается подход к автоматизированной разработке программных компонентов ИС, описанных на языках представления знаний CLIPS или OWL. Подход основан на трансформации концептуальных (информационных) моделей, построенных при помощи инструментов онтологического моделирования или CASE-средств, в код баз знаний. Работа выполнена при частичной поддержке РФФИ.

В статье Мозера Д.В., Долгоносова В.Н. с соавторами (Карагандинский государственный технический университет, г. Караганда, Карагандинский государственный индустриальный университет, г. Темиртау) рассматриваются особенности формирования информационного обеспечения на основе разнородных данных для интерактивной геоинформационной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций. Приведены примеры применения дистанционного зондирования в Карагандинской области, как одной из составляющих интерактивной геоинформационной системы

Раздел завершается статьей Коршунова С.А., Дородных Н.О. (ИДСТУ СО РАН, г. Иркутск), в которой описывается ориентированный на пользователей-непрограммистов подход к разработке программных средств визуализации на основе использования стандартной библиотеки WebGL. Приводится пример визуальной модели промышленной зоны, основанный на применении предложенного подхода.

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

В заключение выпуска приведены правила подачи статей в журнал. Будущих авторов просим обращать внимание на сроки подачи статей и требования к их оформлению (смотрите на сайте конференции), отличающиеся от требований к статьям в сборниках предыдущих лет.

Второй выпуск выходит весной 2016 г., и хочется пожелать авторам и читателям, чтобы все проблемы и неприятности, которые накопились за долгую зиму, растаяли, как снег под яркими лучами весеннего солнца!

До встречи на Байкале в июле 2016-го!

Л.В. Массель

ОСНОВНЫЕ СУЩНОСТИ ПОПУЛЯЦИОННЫХ АЛГОРИТМОВ ДЛЯ ЗАДАЧИ ГЛОБАЛЬНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ

Карпенко Анатолий Павлович

Д.ф.-м.н., зав. кафедрой САПР, МГТУ им. Н.Э. Баумана,
105005 Москва, ул. 2-я Бауманская, д.5, e-mail: apkarperko@mail.ru

Аннотация. Представлены постановка задачи глобальной оптимизации, классификация алгоритмов решения этой задачи, общая схема популяционных алгоритмов. Показано, что в связи с большим и постоянно увеличивающимся числом этих алгоритмов, актуальной является проблема их обобщения и систематизации. Рассмотрена одна из составляющих этой проблемы – систематизация основных сущностей, к которым отнесены свободные параметры, пространство соседства, окрестность особи, след особи и другие. Раскрывается суть этих и других сущностей, приведены варианты их использования в различных популяционных алгоритмах.

Ключевые слова: глобальная оптимизация, популяционный алгоритм, метаэвристический алгоритм

Введение. В последние годы интенсивно развиваются алгоритмы глобальной поисковой оптимизации, которые называют поведенческими, интеллектуальными, метаэвристическими, вдохновленными (инспирированными) природой, роевыми, многоагентными, популяционными и т.д. [1-5]. Эффективность таких алгоритмов соизмерима, а часто превосходит ставшие уже классическими эволюционные алгоритмы, наиболее известным из которых является генетический алгоритм. Известны многочисленные примеры успешного решения с помощью популяционных алгоритмов (*population algorithms*), сложных оптимизационных задач, например, задач автоматизированного проектирования [], синтеза сложных химических соединений, оптимального управления динамическими системами. Популяционные алгоритмы (П-алгоритмы) также успешно используются в алгоритмах многокритериальной оптимизации, предполагающих предварительное построение некоторой аппроксимации множества (фронта) Парето соответствующей задачи.

П-алгоритмы многочисленны и весьма разнообразны, так, в книге [1] представлены около 30 таких алгоритмов, что не исчерпывает весь их спектр. Продолжают появляться новые П-алгоритмы, например, «галактический», «империалистический», «волчий» алгоритмы [6-8]. Многообразие П-алгоритмов порождает проблему обобщения и систематизации их сущностей, базовых принципов, используемых операторов и т.д. Данная работа посвящена одному из аспектов этой проблемы: в работе рассматриваются основные сущности П-алгоритмов.

1. Постановка задачи. В качестве основной рассматриваем детерминированную задачу безусловной оптимизации

$$\max_{X \in R^{|X|}} f(X) = f(X^*) = f^*, \quad (1)$$

где $|X|$ - размерность вектора варьируемых параметров $X = (x_i, i \in [1:|X|])$; $f(X)$ - целевая функция со значениями в пространстве R^1 ; X^* , f^* - искомые оптимальное решение и значение целевой функции соответственно. В аналогичной задаче *условной* оптимизации $X \in \Omega \subset R^{|X|}$, где $\Omega = \{X \mid \Gamma(X) \geq 0\}$ - выпуклое множество допустимых значений вектора X ; $\Gamma(X)$ - ограничивающая вектор-функция.

Приближение к решению задачи (1) - кандидата на решение - называем *особью* и обозначаем p_i , $i \in [1:|P|]$. Здесь P - используемое множество особей – *популяция* (см. ниже).

2. Общая схема и классификация алгоритмов поисковой оптимизации.

Ограничиваемся рассмотрением *итерационных* алгоритмов оптимизации, которые в вычислительной практике используют в подавляющем большинстве случаев. Общая схема итерационного алгоритма имеет следующий вид.

1. Инициализируем алгоритм - задаем начальное значение счетчика числа итераций $t = 0$, начальные положения особей $X_i(0)$, $i \in [1:|P|]$, а также значения свободных параметров алгоритма.

2. Применяем *поисковые операторы* алгоритма к текущим положениям особей $X_i(t) = X_i^t$, в результате чего они приобретают новые положения $X_i(t+1) = X_i^{t+1}$.

3. Проверяем выполнение условий завершения итераций. Если эти условия не выполнены, полагаем $t = t + 1$ и возвращаемся к шагу 2. В противном случае, принимаем лучшее из найденных положений особей в качестве приближенного решения задачи.

Поисковые операторы вычисляют новые положения особей в соответствии с некоторой функцией $\Phi(\cdot)$ вида

$$X_i^{t+1} = \Phi(X_k^t, f(X_k^t), G(X_k^t), k \in [1:|P|], t \in [0:t]), i \in [1:|P|], t+1 \leq \hat{t}, \quad (2)$$

где \hat{t} - число итераций, использованных в процессе поиска. Смысл формулы заключается лишь в том, что новое положение особи p_i определяется, вообще говоря, всеми предыдущими положениями всех особей популяции, а также соответствующими значениями целевой и ограничивающих функций. В итерационных алгоритмах функция $\Phi(\cdot)$ является одной и той же на всех итерациях, исключая, может быть, лишь некоторое небольшое число начальных «разгонных» итераций.

Поисковые алгоритмы оптимизации можно классифицировать по следующим признакам: характер искомого решения; характер ограничений; характер функций $\Phi(\cdot)$; класс алгоритма; число предыдущих учитываемых шагов; порядок используемых производных. В контексте данной работы наиболее важной является классификация этих алгоритмов на *траекторные* алгоритмы и *популяционные* алгоритмы. *Траекторные* алгоритмы (*single-state algorithms*) предполагают обновление на каждой итерации положения лишь одной из особей. При этом общее число особей может быть большим единицы, и на разных итерациях могут перемещаться разные особи. В П-алгоритмах, во-первых, число особей больше единицы и, во-вторых, на каждой из итераций перемещаются, все особи, исключая, возможно, лишь некоторые из них (например, «лучшие» особи), или, по меньшей мере, перемещается некоторое число особей, большее единицы.

3. Базовые определения и общая схема П-алгоритмов оптимизации. Особью p_i называют кандидат в решение задачи оптимизации. Особь определяется, прежде всего, своим текущим положением в пространстве поиска, обозначаемым $X_i = X_i(t)$, а также соответствующим значением *фитнесс-функции* $\varphi_i = \varphi_i(t)$, называемым также *приспособленностью* особи. Здесь t - текущий номер итерации (поколение популяции). Полагаем, что большим значениям целевой функции $f(X)$ соответствуют большие значения фитнес-функции $\varphi(X)$.

Популяция (субпопуляция) есть совокупность особей $P = \{p_i, i \in [1:|P|]\}$, где величина $|P|$ - число особей в популяции (*размер популяции*) является свободным параметром П-алгоритма и может, вообще говоря, меняться в процессе эволюции популяции. Состояние популяции определяет вектор $\mathbf{X}(t) = (X_i(t), i \in [1:|P|])$ текущих положений всех ее особей в пространстве поиска. Отличие субпопуляции от (одиночной) популяции заключается в том, что особи субпопуляции обязательно коммутируют с особями других субпопуляций данной *мультипопуляции*. Подавляющее большинство П-алгоритмов в их канонической форме использует одиночные популяции. Ограничимся поэтому рассмотрением однопопуляционных алгоритмов, упрощенную общую схему которых представляем в виде совокупности следующих шагов: 1) инициализируем популяцию P ; 2) реализуем эволюцию особей популяции; 3) завершаем поиск.

4. Свободные параметры П-алгоритмов. Одной из важных особенностей П-алгоритмов является наличие в них большого числа *свободных (статических)* параметров, от значения которых может в значительной, а иногда и в решающей степени, зависеть эффективность этих алгоритмов. Популяционные алгоритмы часто используют также *динамические* свободные параметры, значения которых являются некоторыми функциями, например, номера текущей итерации t . Сам вид этих функций фиксирован с точностью до одного или нескольких свободных (статических) параметров. Можно выделить следующие классы указанных функций: неадаптивные (программные) функции; адаптивные функции; функции, управляемые событиями. С другой стороны, выделяют детерминированные и стохастические функции.

Заметим, что имеет место задача определения оптимальных значений свободных параметров, называемая задачей *мета-оптимизации* [1].

Примером статических свободных параметров являются веса инерционной, когнитивной и социальной составляющих скорости особей в каноническом алгоритме роя частиц [1]. Основным аргументом в пользу использования динамических свободных параметров является то обстоятельство, что на различных этапах функционирования П-алгоритма оптимальными могут быть различные значения его свободных параметров. Например, на ранних этапах эволюции предпочтительным является большой шаг мутации в генетическом алгоритме, обеспечивающий широкое исследование пространства поиска (его *диверсификацию*). На поздних этапах эволюции, напротив, этот шаг должен быть уменьшен, чтобы обеспечить высокую точность решения (*интенсифицировать* поиск).

5. Пространства соседства особей и совокупностей особей. О соседстве особей и совокупностей особей можно говорить в терминах следующих *пространств соседства*:

целевое пространство; пространство поиска; «топологическое» пространство. Связываем с каждым из этих пространств соответствующую меру близости. В данной совокупности особей может быть одновременно определено более одного пространства соседства.

Пространства соседства особей. Целевое пространство $R^1 = R_F$. Мера близости $\mu_F(p_i, p_j)$ особей p_i, p_j в этом пространстве имеет, например, вид

$$\mu_F(p_i, p_j) = \mu_F(X_i, X_j) = \text{abs}(\varphi(X_i) - \varphi(X_j)),$$

где вместо функции $\varphi(X)$ может использоваться аддитивная свертка этой функции с одной или несколькими вспомогательными фитнес-функциями.

Пространство поиска $R_X = R^{|X|}$. Обычно в качестве меры близости $\mu_X(p_i, p_j)$ особей p_i, p_j в этом пространстве используют евклидово расстояние между особями

$$\mu_X(p_i, p_j) = \mu_X(X_i, X_j) = \|X_j - X_i\|_E.$$

Известно значительное число других функций $\mu_X(X_i, X_j)$, которые могут быть использованы в качестве меры близости $\mu_X(p_i, p_j)$ в пространстве R_X , например,

манхеттоновское расстояние $\|X_i, X_j\|_M^1$.

Топологическое пространство R_T определяет топология соседства особей (*neighborhood topology*), которую задает неориентированный граф соседства $G(P)$. Вершины этого графа соответствуют особям популяции, а ребра связывают непосредственных соседей. В алгоритме роя частиц, например, используют топологии соседства типа клика, кольцо, двумерный тор, кластерная топология и другие. Топология соседства может быть динамической, то есть меняться с ростом номера поколения t . Различным топологиям соответствует различный диаметр графа соседства (минимальное число ребер, соединяющих вершины этого графа), который (диаметр) определяет скорость распространения информации между особями. Мера близости $\mu_T(p_i, p_j)$ особей p_i, p_j в пространстве R_T определяем как расстояние между соответствующими вершинами графа $G(P)$, то есть как минимальное число ребер, соединяющих вершины p_i, p_j этого графа.

Пространства соседства совокупностей особей. Вообще говоря, соседство совокупностей особей, как и соседство особей, можно определить в терминах целевого пространства, пространства поиска, топологического пространства. Меры близости в этих пространствах оперируют не с характеристиками особей, но с характеристиками их совокупностей. Поскольку число этих характеристик велико, можно предложить большое число таких мер.

Приведем несколько примеров. В качестве меры близости совокупностей особей O_i, O_j в целевом пространстве можно использовать меру

$$\mu_F(O_i, O_j) = \text{abs}(\varphi(\bar{X}_i) - \varphi(\bar{X}_j)),$$

где \bar{X}_i, \bar{X}_j - центры «тяжести» указанных совокупностей соответственно.

В качестве меры близости рассматриваемых совокупностей особей в пространстве поиска R_X может быть использовано евклидово расстояние между центрами «тяжести» этих совокупностей

$$\mu_X(O_i, O_j) = \|\bar{X}_i - \bar{X}_j\|_E.$$

Мерой близости $\mu_T(O_i, O_j)$ совокупностей O_i, O_j в топологическом пространстве может служить минимальное число ребер графа, соединяющих его вершины O_i, O_j .

6. Совокупности особей. Различаем следующие совокупности особей: окрестность особи; множество соседей; группа; клуб.

Окрестность особи p_i определяет набор

$$Area(p_i) = \langle p_i, \{d_A\}, \{Rule_A\}, \{w_A\} \rangle, \quad Area(p_i) \in R_X,$$

где $\{d_A\}$ - набор свободных параметров, используемых для определения окрестности; $\{Rule_A\}$ - набор правил отбора особей в окрестность; $\{w_A\}$ - набор характеристик данной окрестности. В разных П-алгоритмах окрестность особи называют по-разному, например, в муравьином алгоритме *COAC – регион поиска* [1]. В простейшем случае, окрестность особи p_i определяют с помощью правила

$$X \in Area(p_i) | \mu_F(X, X_i) \leq d,$$

где параметр d - радиус окрестности. Очевидно, что окрестность $Area(p_i)$ в этом случае представляет собой шар в пространстве R_X . Таким образом, например, определяется окрестность в алгоритме оптимизации роem светлячков *GSO* [1].

Если набор правил $\{Rule_A\}$ и параметры набора $\{d_A\}$ являются статическими, то соответствующую окрестность $Area(p)$ называем *статической* окрестностью. В противном случае окрестность $Area(p)$ называем *динамической* окрестностью. Например, в светлячковом алгоритме *GSO* используются динамические окрестности, изменяющиеся вследствие изменения радиуса окрестности по правилу

$$d' = \min(b_0, \max(0, d + b_1(m - |Neighbor(p)|))),$$

где b_0 - минимально допустимый радиус окрестности; m - *желательное число* соседей; $b_1 > 0$ - весовой коэффициент; $|Neighbor(p)|$ - число особей во множестве соседей, определяемом окрестностью данной особи.

Множество соседей особи p_i в пространстве S определяет набор

$$Neighbor(p_i) = \langle p_i, S, \{d_N\}, \{Rules_N\}, \{w_N\} \rangle, \quad S \in \{R_F, R_X, R_T\},$$

где наборы $\{d_N\}, \{Rules_N\}, \{w_N\}$ имеют тот же смысл, что одноименные наборы в определении окрестности $Area(p)$. Рассмотрим в качестве примера определение множества соседей в пространстве R_X . Одно из правил набора $\{Rules_N\}$ в этом случае имеет вид

$$p_j \in Neighbor(p_i) | X_j \in Area(p_i),$$

то есть, соседом особи p_i может быть только та особь $p_j \in P$, которая на текущей итерации находится в окрестности $Area(p_i)$. Множества соседей могут быть *статическими* и *динамическими*.

Группу особей определяет набор

$$Group(p) = \langle p, S, \{d_G\}, \{Rule_G\}, \{w_G\} \rangle, \quad Group(p) \in P, \quad S \in \{R_F, R_X, R_T\},$$

где правила отбора особей в группу могут быть построены на основе правил, представленных выше. Также может быть использовано большое число иных правил. Например, правила отбора особей в группу особей пространства R_X могут быть основаны на близости этих особей в некоторой метрике данного пространства. Ярким примером использования групп является алгоритм роя частиц со стереотипированием, в котором используется евклидова мера близости особей [1].

Примером использования (статических) групп особей в пространстве R_T является тасующий алгоритм лягушек *SFL* (в котором группы называются мемеплексами) [1]. В этом алгоритме правило отбора особей в группу можно интерпретировать следующим образом: группу образует заданное число особей, являющихся смежными в смысле топологии соседства особей типа «кольцо».

Клуб особей определяется аналогично группе особей набором

$$Club(p) = \langle p, S, \{d_C\}, \{Rule_C\}, \{w_C\} \rangle, \quad Club(p) \in P.$$

В отличие от группы особей, каждая особь популяции P может входить одновременно в несколько клубов. Можно предложить большое число правил формирования клуба особей. Например, в клубном алгоритме роя частиц (*Clubs-Based PSO*) [1] клуб образует случайный набор особей популяции P . В общем случае, клубы являются динамическими, то есть в процессе итераций П-алгоритма особи могут входить в клубы и выходить из них.

П-алгоритмы используют не единичные окрестности, множества соседей, группы и клубы особей, но наборы этих сущностей, каждый из которых определяется правилами его создания (инициализации) и правилами эволюции. Мощности всех указанных наборов обычно являются свободными параметрами П-алгоритма. Например, набор окрестностей особей популяции P определяет набор

$$AREA(P) = \{Area(p)\} = \{P, \{D_A\}, \{RULES_A\}, \{W_A\}\},$$

где $\{D_A\}$ - набор свободных параметров, используемых для определения данного набора окрестности; $\{RULE_A\}$ - набор правил инициализации и эволюции окрестностей набора; $\{W_A\}$ - набор характеристик набора. Окрестности набора $AREA(P)$, вообще говоря, могут пересекаться.

Окрестности набора $AREA(P)$ инициализируют путем задания центров этих окрестностей. При этом могут быть использованы детерминированные или стохастические правила. Например, в муравьином алгоритме *COAC* [1] координаты центров окрестностей (регионов поиска) являются случайными, равномерно распределенными в области поиска. Начальные радиусы окрестностей, как свободные параметры П-алгоритма, по общим правилам, могут быть детерминированными или случайными величинами с заданными законами распределения. Например, в том же алгоритме *COAC* эти радиусы есть случайные величины, равномерно распределенные в заданном интервале. Эволюционировать набор

окрестностей $AREA(P)$ может, прежде всего, если входящие в него окрестности являются динамическими. Например, в алгоритме *COAC* одной из причин эволюции набора окрестностей является адаптивность радиусов этих окрестностей. Второй причиной эволюции набора окрестностей $AREA(P)$ может являться уничтожение старых и создание новых окрестностей в процессе эволюции популяции.

Множества соседей в пространстве $S \in \{R_F, R_X, R_T\}$ определяет набор вида

$$NEIGHBOR(P) = \{P, S, \{D_N\}, \{RULES_N\}, \{W_N\}\},$$

где обозначения аналогичны введенным выше. Множества набора $NEIGHBOR(P)$ могут пересекаться. Операция миграции особей между множествами набора $NEIGHBOR(P)$ не определена, поэтому состав множеств соседей может меняться только вследствие изменения величин, определяющих эти множества. Например, множество соседей может эволюционировать из-за изменения правил вхождения особей во множество.

По аналогии с набором множеств соседства, определяются наборы групп особей и клубов:

$$GROUP(P) = \{P, \{D_G\}, \{RULES_G\}, \{W_G\}\};$$

$$CLUB(P) = \{P, \{D_C\}, \{RULES_C\}, \{W_C\}\}.$$

В отличие от группы особей, каждая особь популяции P может входить одновременно в несколько клубов.

7. След особи. След особи представляет собой предысторию ее эволюции в пространстве поиска в течение некоторого числа итераций Π -алгоритма, предшествующих текущей итерации t . В обозначениях формулы (2) след особи $p_i \in P$ есть последовательность

$$X_i^\tau = X_i(\tau), \quad \tau = 0, 1, 2, \dots, t.$$

След особи определяет направление движения особи, а также часть пространства поиска, обследованного данной особью на предыдущих итерациях. В Π -алгоритмах след особи используют, во-первых, для формирования инерционной составляющей шага особи, а, во-вторых, для запрета повторного обследования уже исследованных фрагментов пространства поиска. Значимость предыдущих положений особи для планирования ее последующего движения, как правило, падает с ростом удаленности этих положений от текущего положения особи (по номеру итераций). Для формализации этой зависимости используют понятие *феромон*, заимствованное из муравьиных алгоритмов [1].

Следы особей могут быть сформированы не для всех особей популяции P , но лишь для некоторой совокупности ее особей. Для отбора особей, для которых определен их след, могут использоваться различные правила *отбора*, которые, в частности, могут быть построены на основе типов особей и их характеристик.

8. Характеристики особи и совокупности особей. К характеристикам особи относим ее состояние, тип и параметры. Характеристики совокупности особей определяются аналогично.

Состояние особи определяется приспособленностью особи и ее фазовыми переменными. *Приспособленность* $\varphi_i = \varphi(X_i)$ особи p_i в ее текущем положении определяется значением фитнес-функции. Приспособленность является важнейшей

характеристикой особи и представляет собой индивидуальную характеристику текущего качества особи (можно сказать, ее «самооценку»). Фазовыми переменными особи p_i называем ее положение X_i в пространстве поиска, скорость $V_i = V_i(t) = X_i(t) - X_i(t-1)$ и, возможно, ускорение $A_i = A_i(t) = V_i(t) - V_i(t-1)$.

Тип особи определяет особенности ее эволюции. Например, в алгоритме колонии пчел различают рабочих пчел (*worker bees*), пчел-разведчиков (*scout bees*) и пчел-наблюдателей (*onlooker bees*) [1]. Набор типов особей в популяции обозначаем

$$Tipe = \{tipe_j, j \in [1:|Tipe|]\},$$

так что тип особи p_i , если она типизирована, есть $tipe(p_i) \in Tipe$. В соответствие с тем, сколько типов особей определено в популяции, различаем однородные и неоднородные популяции.

Параметры особи. Различаем параметры, основанные на ее текущих состояниях, и основанные на следе особи. Значения первых параметров могут быть определены на основе «самооценки» особи и на основе оценки данной особи другой особью. Основной самооценкой особи p_i является ее приспособленность $\varphi_i = \varphi(X_i)$. В качестве самооценок могут также выступать все фазовые координаты особи. Относительное качество особи может характеризовать такой ее параметр, как *ранг*, равный ее номеру в списке всех особей популяции, отсортированных в порядке убывания их текущих приспособленностей. Оценка особи p_j для особи p_i называется *привлекательностью* (*attractiveness*). В пространстве $S \in \{R_F, R_X, R_T\}$ эта величина в общем случае определяется функцией вида

$$\alpha_{i,j} = \beta(\mu_S(p_i, p_j)), \quad i, j \in [1:|P|], \quad i \neq j,$$

где $\mu_S(p_i, p_j)$ - мера расстояния между особями p_i, p_j в соответствующем пространстве.

Характеристики, основанные на следе особи, также разделяем на «самооценочные» и внешние. В качестве характеристик первого сорта могут быть использованы минимальные, максимальные, средневзвешенные и среднеквадратичные отклонения указанных выше самооценок особи p_i во всех точках ее следа (от итерации $t - \Delta t_i$ до текущей итерации t). Например, в П-алгоритмах нередко используют характеристику особи вида

$$\chi_i = \chi_i(t) = \sum_{\tau=t-\Delta t_i}^t b_\tau \varphi_i(\tau); \quad i \in [1:|P|],$$

которая называется *здоровьем* особи p_i в ее текущем положении. Таким образом, к примеру, определяется состояние здоровья бактерии в бактериальном алгоритме [1]. Характеристики, основанные на внешней оценке особи p_i , могут быть построены по аналогичным схемам. Например, возможна оценка здоровья данной особи с точки зрения особи p_j вида

$$\chi_{i,j} = \chi_{i,j}(t) = \sum_{\tau=t-\Delta t_i}^t b_\tau \alpha_{i,j}(\tau); \quad i \in [1:|P|].$$

В качестве характеристики совокупности особей O (окрестность, множество соседей, группа или клуб) могут быть использованы характеристики, аналогичные характеристикам, построенным на основе характеристик особи. Наряду с этим у совокупности особей имеются

характеристики, не вытекающие из характеристик особи. Примером характеристик такого сорта, которая широко используется для оценки качества популяции (субпопуляции) и управления ею, является характеристика равномерности распределения особей совокупности O_i в пространстве поиска.

Заключение. В силу ограниченности размера статьи, за ее пределами остались такие сущности, как коммуникация особей и их совокупностей, шаг и процесс эволюции особи и популяции. По той же причине в работе не представлены основные сущности мультипопуляционных алгоритмов.

Обобщение и классификация П-алгоритмов требуют еще рассмотрения их базовых операций, поисковых операторов, моделей особей, методов гибридизации, адаптации и мета-оптимизации, а также некоторых других механизмов, используемых при синтезе П-алгоритмов.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ №16-07-00287.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Карпенко А.П. Современные алгоритмы поисковой оптимизации. Алгоритмы, вдохновленные природой. М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2014. 446 с.
2. Biswas Anupam, Mishra K.K., Tiwari Shailesh, Misra A.K. Physics-Inspired Optimization Algorithms: A Survey // Journal of Optimization, 2013, Vol. 2013, pp.1-16.
3. Sehrawat P., Rohil H. Taxonomy of Swarm Optimization // International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering, 2013, Vol. 3, Iss. 8, pp.1400-1406.
4. Agarwal P., Mehta Sh. Nature-Inspired Algorithms: State-of-Art, Problems and Prospects // International Journal of Computer Applications (0975 – 8887), 2014, Vol. 100, No. 14, pp. 14-21.
5. Devi R.B., Barlaskar E., Devi O.B., Medhi S.P., Shimray R.R. Survey on evolutionary computation and its application in different fields // International Journal on Information Theory (IJIT), 2014, Vol.3, No.3, pp.73-82.
6. Shah-Hosseini H. Principal components analysis by the galaxy-based search algorithm: a novel metaheuristic for continuous optimization // Journal International Journal of Computational Science and Engineering archive, 2011, Vol. 6, Iss. 1/2, pp. 132-140.
7. Bijami E., Marnani J.A. Imperialist competitive algorithm for optimal simultaneous coordinated tuning of damping controller // International Journal on “Technical and Physical Problems of Engineering”, 2012, Vol. 4, Iss. 11, No. 2, pp. 34-41.
8. Tang R., Fong S., Xin-She Yang, Deb S. Wolf Search Algorithm with Ephemeral Memory // Digital Information Management (ICDIM), 2012 Seventh International Conference on, pp. 165 – 172.

BASIC ESSENCE OF THE POPULATION ALGORITHMS FOR GLOBAL OPTIMIZATION PROBLEM

Anatoly P. Karpenko

Professor, Head of division, Bauman Moscow State Technical University (BMSTU),
105005 Moscow, 2-nd Baumanskaya, 5, e-mail: apkarperko@mail.ru

Annotation. We present the statement of the global optimization problem, classification algorithms for solving this problem, the general scheme of the population-based algorithms. We show that in view of the fact that the number of these algorithms is large and constantly growing, urgent is the problem of generalization and systematization of these algorithms is urgent. We consider one of the components of this problem - a generalization and systematization of the main essence of the population algorithms: the free parameters, the space of the neighborhood, the neighborhood individuals and others. We reveal the essence of these and other essences, as well as give them options for use in different population-based algorithms.

Keywords: global optimization, population algorithm metaheuristic algorithm

References

1. Karpenko A.P. *Sovremennye algoritmy poiskovoj optimizacii. Algoritmy, vdohnovlennye prirodoj.* [Modern algorithms of search engine optimization. Algorithms inspired by nature.] Moscow. MSTU NE Bauman Publ., 2014. 446 p. (in Russian).
2. Biswas Anupam, Mishra K.K., Tiwari Shailesh, Misra A.K. *Physics-Inspired Optimization Algorithms: A Survey* // *Journal of Optimization*, 2013, Vol. 2013, pp.1-16.
3. Sehrawat P., Rohil H. *Taxonomy of Swarm Optimization* // *International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering*, 2013, Vol. 3, Iss. 8, pp.1400-1406.
4. Agarwal P., Mehta Sh. *Nature-Inspired Algorithms: State-of-Art, Problems and Prospects* // *International Journal of Computer Applications (0975 – 8887)*, 2014, Vol. 100, No. 14, pp. 14-21.
5. Devi R.B., Barlaskar E., Devi O.B., Medhi S.P., Shimray R.R. *Survey on evolutionary computation and its application in different fields* // *International Journal on Information Theory (IJIT)*, 2014, Vol.3, No.3, pp.73-82.
6. Shah-Hosseini H. *Principal components analysis by the galaxy-based search algorithm: a novel metaheuristic for continuous optimization* // *Journal International Journal of Computational Science and Engineering archive*, 2011, Vol. 6, Iss. 1/2, pp. 132-140.
7. Bijami E., Marnani J.A. *Imperialist complete algorithm for optimal simultaneous coordinated tuning of damping controller* // *International Journal on "Technical and Physical Problems of Engineering"*, 2012, Vol. 4, Iss. 11, No. 2, pp. 34-41.
8. Tang R., Fong S., Xin-She Yang, Deb S. *Wolf Search Algorithm with Ephemeral Memory* // *Digital Information Management (ICDIM)*, 2012 Seventh International Conference on, pp. 165 – 172.

ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ МАШИНЫ ВЫВОДА СИСТЕМЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРАВДОПОДОБНЫХ РАССУЖДЕНИЙ «ГЕРАКЛИТ»

Аршинский Леонид Вадимович

Д.т.н., доцент, зав. кафедрой «Информационные системы и защита информации»,
Иркутский государственный университет путей сообщения,
664074 г. Иркутск, ул. Чернышевского 15, e-mail: larsh@mail.ru

Аннотация. В работе обсуждаются вопросы организации логического вывода в инструментальной среде разработки экспертных систем «Гераклит». Вывод в ней представляет собой цепочку вычислений на продукционной вычислительной сети с тремя типами вершин: вершины-факты, вершины-продукции и вершины-объединения свидетельств. Продукции упорядочиваются причинно-следственным образом. При выводе не требуется сопоставлять факты с шаблонами и многократно перебирать продукции, что делает его достаточно быстрым и эффективным.

Ключевые слова: экспертная система, машина вывода, база знаний, присоединенный вывод, вычислительная сеть, логики с векторной семантикой, V^{TF} -логики.

Введение. В докладе обсуждаются вопросы организации логического вывода в инструментальной среде разработки экспертных систем «Гераклит». Вывод в ней представляет собой цепочку вычислений на продукционной вычислительной сети с тремя типами вершин: вершины-факты, вершины-продукции и вершины-объединения свидетельств. Третий тип вершин формируется, если какой-либо факт выведен по двум и более цепочкам. Вершины распределены по уровням (слоям, ярусам). Продукции выражают семантику вычислительного процесса, имена фактов – семантику числовых значений. Вычисления начинаются от стартового уровня и захватывают вершины от уровня к уровню, пока не будет пройдена вся сеть (не завершится самая длинная цепочка). Такая организация не требует сопоставления фактов с шаблонами (антецедентами), хранения и преобразования выведенных фактов и т.п., что характерно для «символьных» ЭС. Как результат, в системе отсутствуют соответствующие архитектурные компоненты. Отсутствует и многократный перебор продукций. Это упрощает систему и делает логический вывод достаточно быстрым и эффективным. Машина вывода работает с неполными, противоречивыми и малодостоверными данными. Логико-математическим аппаратом их обработки выступает один из классов логик с векторной семантикой: V^{TF} -логики (векторные логики с аспектами Истина и Ложь). Обсуждаются различные стратегии объединения свидетельств, возможные в V^{TF} -логиках.

1. СМПП «Гераклит». Одним из практических результатов исследований в области логик с векторной семантикой стала разработка системы моделирования правдоподобных рассуждений (СМПП) «Гераклит», представляющей собой инструментальную среду разработки экспертных систем (ЭС) на основе V^{TF} -логик (логики с векторной семантикой, где вектор истинности образован компонентами ⟨Истина; Ложь⟩) [1]. Модель знаний –

продукционная. Продукции представляют собой высказывания вида «Если A то K , иначе K' » (консеквент K' не обязателен). Антецедент A может включать в себя связки И, ИЛИ, НЕ, а также скобки. Для консеквентов скобки не предусматриваются, поскольку предполагается, что они могут содержать связки НЕ и либо И, либо ИЛИ. Объединение в одном правиле двух продукций $A \rightarrow K$ и $\neg A \rightarrow K'$ сделано для сокращения числа правил в БЗ.

Несмотря на то, что система создавалась главным образом как исследовательская для изучения особенностей логического вывода в V^{TF} -логиках, с ее помощью разработан ряд ЭС, некоторые из которых содержат до нескольких сотен правил [7]. Первая версия системы зарегистрирована в 2006 г. [3], вторая – в 2013 [4]. Особенности функционирования ее машины вывода обсуждаются в настоящей работе.

2. Представление знаний в СМНР «Гераклит». Обсуждение особенностей машины вывода «Гераклит» требует предварительного объяснения технологии хранения знаний в системе. Знания в «Гераклит» хранятся в реляционной базе данных (БД), включающей в себя таблицу фактов и четыре таблицы для хранения продукций [5].

Таблица фактов содержит код факта (ключевое поле), имя факта (его содержательное описание), приоритет (позволяет обращаться сначала к наиболее приоритетным фактам), его значение истинности в виде V^{TF} -вектора с интервальными значениями компонентов: $\langle [f_0^+, f_1^+]; [f_0^-, f_1^-] \rangle$ (см. рис. 1), а также ряд технологических атрибутов. Для ускорения расчетов границы интервалов выражаются целыми числами от 0 до 100.

Таблица индексируется по ключевому полю, по имени, по приоритету.

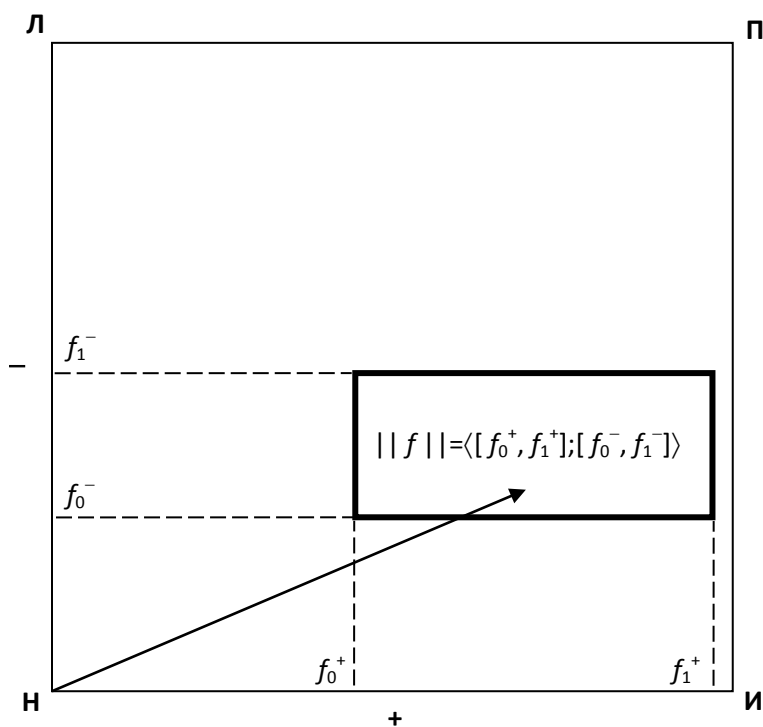


Рис. 1. Интервальное представление вектора истинности утверждения f .

Продукции хранятся в четырех таблицах. Это:

1. Таблица «узлов» продукций, где содержатся основные сведения о продукции: код (ключевое поле), имя продукции, поясняющее описание к ней (заносятся при необходимости), признак активации продукции, приоритет продукции, счетчик числа ее

срабатываний (формируется за весь срок эксплуатации продукции, но при необходимости может обнуляться), момент последнего обращения к продукции в текущем сеансе диалога, технологические атрибуты.

Таблица также индексируется. Индексация привязана к работе машины вывода.

2. Таблица фактов антецедента ЕСЛИ. Она содержит код узла продукции, код факта, поле логической связки И/ИЛИ, признак отрицания факта, признаки открывающей и закрывающей скобок, технологические атрибуты.

3. Таблица фактов консеквент ТО. Здесь также содержится код узла, код факта (входящего в консеквент), поле логической связки И либо ИЛИ, признак отрицания факта. Кроме того, здесь хранятся значение истинности продукции применительно к данному факту в виде V^{TF} -вектора с интервальными значениями компонентов: $\langle [i_0^+, i_1^+]; [i_0^-, i_1^-] \rangle$ и технологические атрибуты. Значения вектора истинности задаются разработчиком БЗ.

4. Таблица фактов консеквент ИНАЧЕ. Аналогична предыдущей.

Количество фактов в антецеденте и консеквентах может быть произвольным. Продукции связывается воедино с помощью кодов узлов, а доступ к фактам возможен через коды фактов.

3. Формирование БЗ в СМНР «Гераклит». Перед обсуждением машины вывода следует отметить некоторые вещи.

Первое. Система работает только с фактами, хранимыми в базе фактов (БФ).

Второе. Все факты в ней делятся на четыре непересекающихся класса:

- факты, входящие только в антецеденты правил (стартовые, факты-вопросы);
- факты, входящие только в консеквенты правил (терминальные, факты-гипотезы);
- факты, входящие и в левые и в правые части правил (промежуточные);
- факты, не вошедшие ни в одно правило (нераспределенные).

Эта классификация является полной в том смысле, что всякий факт попадает в один из классов. Причем входить он может только в единственный класс.

Продукции, содержащие в антецеденте только стартовые факты будем называть стартовыми, содержащие в консеквенте только терминальные факты – терминальными, все остальные продукции – промежуточными.

Третье. Вывод в «Гераклит» является присоединенным, т.е. каждый шаг вывода сопровождается расчетом истинности заключения на основе истинностей посылок. Для такого вывода характерна т.н. процедура объединения свидетельств, когда истинность полученного на каком-то этапе факта f изменяется, если этот же факт был получен по другой цепочке вывода [8]. Из этого обстоятельства вытекает принципиальное обстоятельство: *факт f не может принимать участие в выводе, пока не будут учтены все правила, содержащие его в своем консеквенте.* Для этого необходимо, чтобы продукции системы, реализующей присоединенный вывод, были *правильно упорядочены* в том смысле, что *всякая продукция, содержащая в своем консеквенте промежуточный факт f , должна выполняться прежде всякой продукции, содержащей f в своем антецеденте.*

Обозначим продукцию «Если A то K , иначе K' » как $A \rightarrow K | K'$. Обозначим также множество фактов, входящих в антецедент и консеквенты как $\{A\}$, $\{K\}$ и $\{K'\}$ соответственно. Будем говорить, что продукция $P_1 = A_1 \rightarrow K_1 | K'_1$ непосредственно предшествует продукции $P_2 = A_2 \rightarrow K_2 | K'_2$, если $\{A_2\} \cap (\{K_1\} \cup \{K'_1\}) \neq \emptyset$, иначе говоря,

если антецедент A_2 содержит (промежуточные) факты, входящие хотя бы в один из консеквентов K_1 или K_2 . Непосредственно предшествующие продукции отсутствуют только у стартовых продукций. С учетом этого принцип правильного упорядочения можно переформулировать так: *для того, чтобы система продукций в БЗ была правильно упорядочена, необходимо и достаточно, чтобы для любой продукции P все непосредственно предшествующие ей продукции выполнялись прежде P .*

Такой порядок продукций назовем *причинно-следственным* и будем исходить из того, что причинно-следственное упорядочение *должно выполняться всегда до начала диалога с системой.*

Причинно-следственное упорядочение БЗ невозможно, если в консеквенте какой-либо продукции выводится факт, вносящий вклад в формирование ее же антецедента. Подобную ситуацию назовем *причинно-следственной петлей*. Примером этому может быть логический круг: $a \rightarrow b$; $b \rightarrow a$; или пара продукций: $a \rightarrow \neg b$; $b \rightarrow \neg a$. Последние логический круг не образуют, но требованию правильной упорядоченности не соответствуют. «Гераклит» имеет средства решения подобных проблем.

Алгоритм упорядочения разделяет факты и продукции на уровни или «слои», расставляя причинно-следственные приоритеты. Высшим приоритетом обладают стартовые факты и стартовые продукции. Далее следуют факты, выводимые из стартовых продукций и продукции, содержащие в антецеденте факты, входящие в консеквенты стартовых продукций.

Следующий, третий слой, образуют факты, выводимые из стартовых фактов и промежуточных фактов предыдущего уровня, а также продукции, содержащие в антецеденте промежуточные факты, выведенные на втором шаге. И так далее. Число уровней равно длине самой протяженной цепочки вывода в БЗ.

Причинно-следственный порядок является главным и не может быть изменен пользователем. Внутри логических уровней пользователь может задать свои приоритеты, но перенос продукций из одного уровня в другой возможен только в случае изменения антецедента или консеквента продукции и выполняется только средствами системы.

Внутри логического уровня (слоя) продукции могут упорядочиваться по пользовательскому приоритету, по сложности посылки, по времени последнего срабатывания правила в текущем сеансе диалога. Наконец, в упорядочении правил участвует и число срабатываний продукции (в результате первыми вызываются наиболее востребованные из них).

Требование причинно-следственного упорядочения обеспечивает вывод всех возможных гипотез за один проход БЗ, т.к. возвраты к уже пройденным правилам отсутствуют, причем в первую очередь выполняются продукции, приводящие к гипотезам за наименьшее число шагов. В системе реализуется стратегия просмотра «в ширину», с первоочередным завершением самых коротких цепочек. *Причинно-следственная упорядоченность правил продукций является одним из основных принципов организации вывода в «Гераклит».* Соответствующий пример дается в конце работы.

4. Логический вывод в «Гераклит» может выполняться от фактов и от гипотез. Вывод от фактов состоит в расчете истинности гипотез на основе истинности стартовых фактов и продукций. При выводе от гипотез указываются проверяемые гипотезы, после чего система формирует список релевантных гипотезам фактов и выполняется прямой вывод от

них. Результатом может быть как подтверждение, так и опровержение гипотезы, а также получение других гипотез.

В системе различаются два типа вывода: пошаговый и фронтальный. Пошаговый вывод от фактов означает, что система последовательно выбирает продукции и задает вопросы пользователю о стартовых фактах, входящих в антецедент очередного правила. При фронтальном выводе пользователь отвечает на вопросы обо всех стартовых фактах в системе.

В начале процедуры прямого вывода (от фактов) значения векторов истинности всех фактов принимаются равными $\langle [0,0];[0,0] \rangle$ (Неопределенность). Ответы пользователя даются в виде числовых значений вектора истинности в окне диалога (рис. 2). При этом для удобства ему предлагается возможность давать фиксированные ответы с модальностями «точно», «почти», «возможно» (модальности формализованы интервалами). Чем слабее модальность, тем шире интервал. Модальность «Точно» означает нулевую ширину интервала:

- «Точно Да» – истинность $\langle [100,100];[0,0] \rangle$;
- «Точно Нет» – истинность $\langle [0,0];[100,100] \rangle$;
- «Точно Да и Нет» – истинность $\langle [100,100];[100,100] \rangle$;
- «Точно 50 на 50» – истинность $\langle [50,50];[50,50] \rangle$;
- «Не знаю» – истинность $\langle [0,0];[0,0] \rangle$.

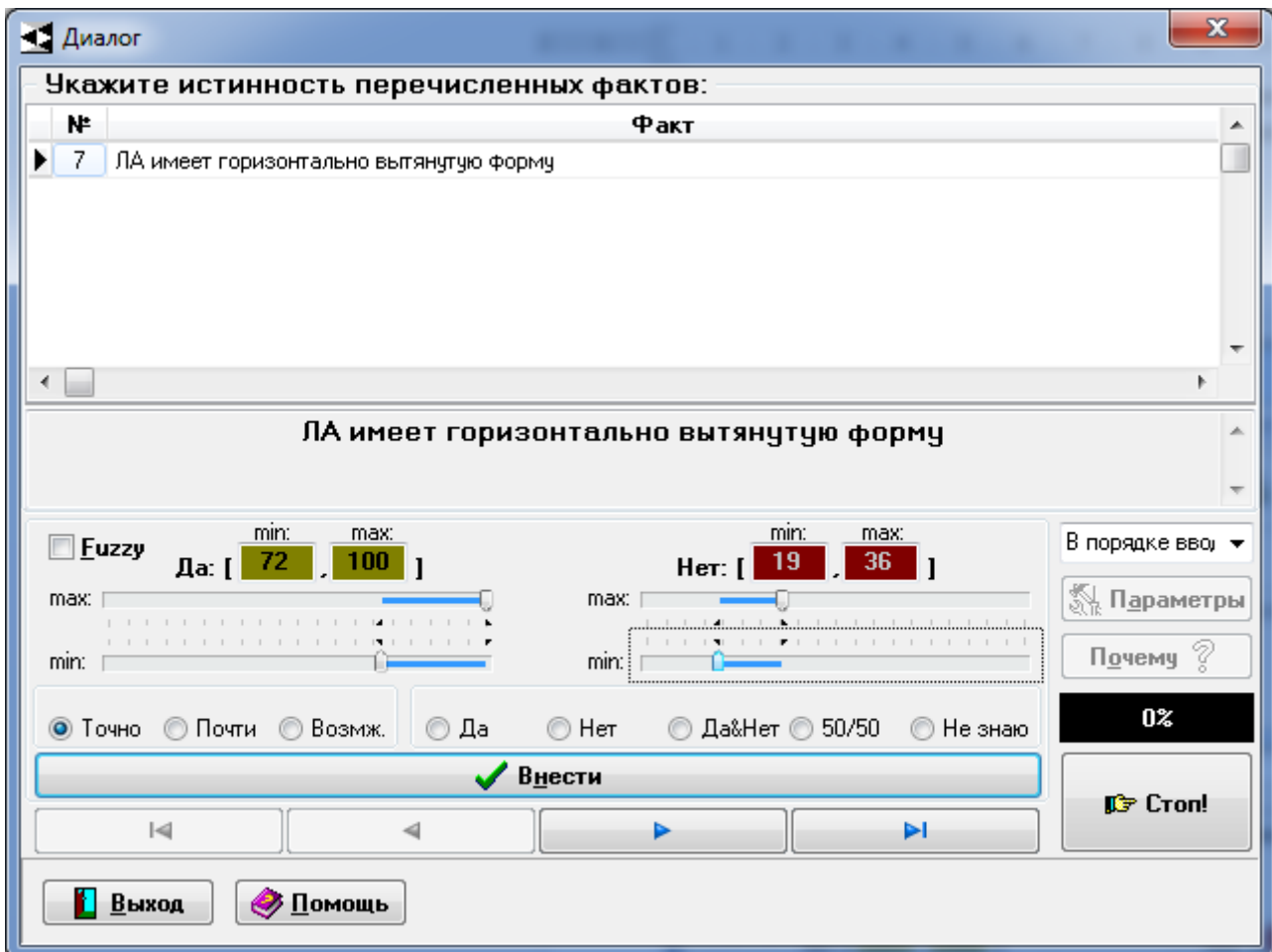


Рис. 2. Окно диалога с системой

Для модальности «Почти» выбрана ширина 25:

«Почти Да» – истинность $\langle [75,100]; [0,25] \rangle$;

«Почти Нет» – истинность $\langle [0,25]; [75,100] \rangle$;

«Почти Да и Нет» – истинность $\langle [75,100]; [75,100] \rangle$;

«Почти 50 на 50» – истинность $\langle [40,60]; [40,60] \rangle$;

«Почти не знаю» – истинность $\langle [0,25]; [0,25] \rangle$;

Для модальности «Возможно» – 50:

«Возможно Да» – истинность $\langle [50,100]; [0,50] \rangle$;

«Возможно Нет» – истинность $\langle [0,50]; [50,100] \rangle$;

«Возможно Да и Нет» – истинность $\langle [50,100]; [50,100] \rangle$;

«Возможно 50 на 50» – истинность $\langle [25,75]; [25,75] \rangle$;

«Возможно не знаю» – истинность $\langle [0,50]; [0,50] \rangle$.

Вектор истинности предполагает независимость Истины от Лжи. Однако на практике такая возможность может оказаться избыточной. Чек-бокс «Fuzzy» позволяет связать Истину и Ложь известным образом, делая их при ответах зависящими друг от друга.

В ходе вывода вычисляются значения векторов истинности фактов консеквента по правилу [2]:

$$a, a \rightarrow b \vdash b: \|b\| = \langle [a_0^+ \bullet i_0^+, a_0^- \oplus i_1^+]; [a_0^+ \bullet i_1^-, a_0^- \oplus i_0^+] \rangle.$$

Здесь через двоеточия указана схема расчета истинности заключения на основе истинности посылок: $\|a\| = \langle [a_0^+, a_1^+]; [a_0^-, a_1^-] \rangle$ и $\|a \rightarrow b\| = \langle [i_0^+, i_1^+]; [i_0^-, i_1^-] \rangle$.

Система допускает в антецеденте связки И, ИЛИ и НЕ, а также скобки. Формализация И и ИЛИ осуществляется с помощью *первых форм* конъюнкции & и дизъюнкции \vee (т.н. 01- и 10- композиция, соответственно) [1]. Для интервалов это выглядит так:

$$\|a \& b\| = \langle [a_0^+ \bullet b_0^+, a_1^+ \bullet b_1^+]; [a_0^- \oplus b_0^-, a_1^- \oplus b_1^-] \rangle;$$

$$\|a \vee b\| = \langle [a_0^+ \oplus b_0^+, a_1^+ \oplus b_1^+]; [a_0^- \bullet b_0^-, a_1^- \bullet b_1^-] \rangle;$$

где \bullet и \oplus – известные в нечеткой математике триангулированные норма и ко-норма в инфиксной записи, связанные по правилу:

$$x \bullet y + (1 - x) \oplus (1 - y) = 1, \text{ где } x, y \in [0,1].$$

Пользователь может выбрать одну из трех пар норм:

$$x \bullet y = \min(x, y); \quad x \oplus y = \max(x, y);$$

$$x \bullet y = xy; \quad x \oplus y = x + y - xy;$$

$$x \bullet y = \max(0, x + y - 1); \quad x \oplus y = \min(1, x + y).$$

Формализация НЕ допускается в двух видах:

$$\| \neg a \| = \langle [a_0^-, a_1^-]; [a_0^+, a_1^+] \rangle;$$

$$\| \sim a \| = \langle [100 - a_1^+, 100 - a_0^+]; [100 - b_1^-, 100 - b_0^-] \rangle.$$

Первый – это *отрицание в форме перестановки* (отрицание как опровержение, когда аргументы «за» становятся аргументами «против» и наоборот), второй – *отрицание в форме дополнения* (отрицание в силу недоинформированности). Вид отрицания выбирает пользователь. По умолчанию оно задается в форме перестановки.

Формализация связок antecedента позволяет рассчитать его истинность и определить, следует ли работать с правилом. Для принятия решения используются меры достоверности $\mu_o(a)$ и определенности $\mu_o(a)$:

$$\mu_o(a) = a^+ - a^-;$$

$$\mu_o(a) = a^+ \oplus a^-.$$

Здесь a^+ и a^- – «характерные» значения интервалов $[a_0^-, a_1^-]$ и $[a_0^+, a_1^+]$, в качестве которых можно взять середину интервала или иную точку внутри него (настраиваемый параметр). Если истинность antecedента не достигла порогового значения меры определенности (недостаток информации, малая уверенность в ней), или не достигнут порог меры достоверности при отсутствии части ИНАЧЕ, продукция в расчете не участвует. Помимо этого, в системе рассчитываются скалярные меры:

точности:
$$\mu_m(a) = \sqrt{\frac{(a_1^+ - a_0^+)^2 + (a_1^- - a_0^-)^2}{2}};$$

противоречивости:
$$\mu_n(a) = a^+ \bullet a^-;$$

строгости:
$$\mu_c(a) = |a^+ - a^-|;$$

избыточности:
$$\mu_{изб}(a) = a^+ + a^- - 100.$$

Полученные гипотезы упорядочиваются (индексируются) по достоверности-определенности-точности. Сведения о степени их противоречивости, строгости и избыточности приводятся факультативно.

5. Объединение свидетельств. Особенностью присоединенного вывода является необходимость обновлять значения истинности утверждения, если оно получено по нескольким цепочкам вывода (объединение свидетельств). В основе основных схем объединения лежат т.н. вторые формы дизъюнкции и конъюнкции (11- и 00- композиции). Для V^{TF} в интервальном случае они выглядят как [2]:

$$\| a \vee_2 b \| = \langle [a_0^+ \oplus b_0^+, a_1^+ \oplus b_1^+]; [a_0^- \oplus b_0^-, a_1^- \oplus b_1^-] \rangle;$$

$$\| a \&_2 b \| = \langle [a_0^+ \bullet b_0^+, a_1^+ \bullet b_1^+]; [a_0^- \bullet b_0^-, a_1^- \bullet b_1^-] \rangle.$$

Пользователю предлагается на выбор несколько схем объединения, из которых основная выглядит так (объединение по схеме *10/11-композиции*; предлагается по умолчанию).

1. Если по двум цепочкам получено утверждение факта f , объединенная истинность вычисляется по первой форме дизъюнкции:

$$\| f \| = \langle F^+; F^- \rangle = \langle [f_{01}^+ \oplus f_{02}^+, f_{11}^+ \oplus f_{12}^+]; [f_{01}^- \bullet f_{02}^-, f_{11}^- \bullet f_{12}^-] \rangle;$$

f_{ij}^+, f_{ij}^- – границы интервалов значений аспектов истинности факта f , полученного по двум цепочкам вывода:

$$\| f \|_1 = \langle [f_{01}^+, f_{11}^+]; [f_{01}^-, f_{11}^-] \rangle,$$

и

$$\| f \|_2 = \langle [f_{02}^+, f_{12}^+]; [f_{02}^-, f_{12}^-] \rangle.$$

Иначе говоря, применяется эвристика: чем больше свидетельств поступило в пользу факта f , тем больше мы ему доверяем.

2. Если по двум цепочкам получено отрицание факта f , объединенная истинность вычисляется как:

$$\| f \| = \langle F^{++}; F^{--} \rangle = \langle [f_{01}^+ \bullet f_{02}^+, f_{11}^+ \bullet f_{12}^+]; [f_{01}^- \oplus f_{02}^-, f_{11}^- \oplus f_{12}^-] \rangle.$$

Чем больше свидетельств поступило против факта f , тем меньше мы ему доверяем.

3. Если получены и утверждение и отрицание факта f , объединенная истинность вычисляется по второй форме дизъюнкции:

$$\| f \|_{\text{объед.}} = \langle F^+ \oplus F^{++}; F^- \oplus F^{--} \rangle.$$

Это позволяет формализовать ситуацию противоречия, когда имеются аргументы как за, так и против f .

При необходимости, система по выбору пользователя также позволяет объединять свидетельства по схеме *01/00-композиции*:

$$\| f \| = \langle F^+; F^- \rangle = \langle [f_{01}^+ \bullet f_{02}^+, f_{11}^+ \bullet f_{12}^+]; [f_{01}^- \oplus f_{02}^-, f_{11}^- \oplus f_{12}^-] \rangle \text{ – для утверждения};$$

$$\| f \| = \langle F^{++}; F^{--} \rangle = \langle [f_{01}^+ \oplus f_{02}^+, f_{11}^+ \oplus f_{12}^+]; [f_{01}^- \bullet f_{02}^-, f_{11}^- \bullet f_{12}^-] \rangle \text{ – для отрицания};$$

$$\| f \|_{\text{объед.}} = \langle F^+ \bullet F^{++}; F^- \bullet F^{--} \rangle \text{ – для объединения};$$

11-композиции, – вторая форма дизъюнкции не зависимо от утверждения или отрицания факта:

$$\| f \|_{\text{объед.}} = \langle [f_{01}^+ \oplus f_{02}^+, f_{11}^+ \oplus f_{12}^+]; [f_{01}^- \oplus f_{02}^-, f_{11}^- \oplus f_{12}^-] \rangle;$$

00-композиции, – вторая форма конъюнкции не зависимо от утверждения или отрицания факта:

$$\| f \|_{\text{объед.}} = \langle [f_{01}^+ \bullet f_{02}^+, f_{11}^+ \bullet f_{12}^+]; [f_{01}^- \bullet f_{02}^-, f_{11}^- \bullet f_{12}^-] \rangle;$$

10-композиции, – первая форма дизъюнкции не зависимо от утверждения или отрицания факта:

$$\| f \|_{\text{объед.}} = \langle [f_{01}^+ \oplus f_{02}^+, f_{11}^+ \oplus f_{12}^+]; [f_{01}^- \bullet f_{02}^-, f_{11}^- \bullet f_{12}^-] \rangle;$$

01-композиции, – первая форма конъюнкции не зависимо от утверждения или отрицания факта:

$$\|f\|_{\text{объед.}} = \langle [f_{01}^+ \bullet f_{02}^+, f_{11}^+ \bullet f_{12}^+]; [f_{01}^- \oplus f_{02}^-, f_{11}^- \oplus f_{12}^-] \rangle.$$

Кроме того возможно объединять свидетельства по среднему арифметическому и среднему геометрическому. В результате пользователю предоставляется достаточно большой арсенал средств для настройки вывода. Различные схемы объединения моделируют различные стратегии объединения, возможные при принятии решений.

1. Объединение по схеме *10/11-композиции* – стратегия *нарастающего доверия*. Доверие к f возрастает по мере получения утвердительных доказательств факта, доверие к $\neg f$ – по мере вывода его отрицаний. Дает гарантированный максимум доверия к факту и его отрицанию, определяемый лучшими из подтверждающих и опровергающих свидетельств. Наличие «сильных» доказательств того и другого ведет к противоречивому отношению к f .

2. Объединение по схеме *01/00-композиции* – стратегия *нарастания недоверия*. Доверие и к f и к $\neg f$ тем меньше, чем менее убедительны соответствующие свидетельства и чем их больше. Дает гарантированный минимум доверия к факту и его отрицанию, определяемый худшими из подтверждающих и опровергающих свидетельств.

3. Объединение по схеме *11-композиции* – стратегия *полного доверия*. Доверяем «без разбора» и подтверждающим и опровергающим свидетельствам. Вариант стратегии нарастающего доверия, но здесь быстрее растет степень противоречивости факта.

4. Объединение по схеме *00-композиции* – стратегия *полного недоверия*. Верим «худшим» из подтверждающих и опровергающих свидетельств. Вариант стратегии нарастающего недоверия, но здесь быстрее растет степень неопределенности факта. В итоге это может привести к неопределенному $\langle 0;0 \rangle$ восприятию факта: «не верю ни чему».

5. Объединение по схеме *10-композиции* – стратегия *безудержного оптимизма*. Все решают свидетельства в пользу f .

6. Объединение по схеме *10-композиции* – стратегия *безудержного пессимизма*. Все решают свидетельства в пользу $\neg f$.

7. Объединение по правилу среднего (арифметического, геометрического и т.д.) – стратегия *осторожной веры*. Свидетельства за и против усредняются.

По умолчанию предлагается стратегия нарастающего доверия. Система допускает выбор индивидуальных стратегий для каждого факта.

Таким образом, вывод в «Гераклит» представляет собой цепочку вычислений на своего рода продукционной вычислительной сети с тремя типами вершин: вершины-факты, вершины-продукции и вершины-объединения свидетельств. Третий тип вершин формируется, если какой-либо факт выведен по двум и более цепочкам. Вершины распределены по уровням (слоям, ярусам): стартовые факты и стартовые продукции, далее факты из консеквентов стартовых продукций и, если необходимо, вершины-объединения; следующий за ним связан с фактами предыдущих двух уровней и так далее (рис. 3). Продукции выражают семантику вычислительного процесса, имена фактов – семантику числовых значений. Вычисления начинаются от стартового уровня и захватывают вершины от уровня к уровню, пока не будет пройдена вся сеть (не завершится самая длинная цепочка). Причинно-следственный порядок для продукций на рис. 3 выглядит так.

Стартовый уровень:

$$\{C_1, C_2\} \rightarrow \{T_1, P_4\};$$

$$\{C_3\} \rightarrow \{П_1, П_2\};$$

$$\{C_4, C_5\} \rightarrow \{П_2\};$$

$$\{C_7\} \rightarrow \{П_3\}.$$

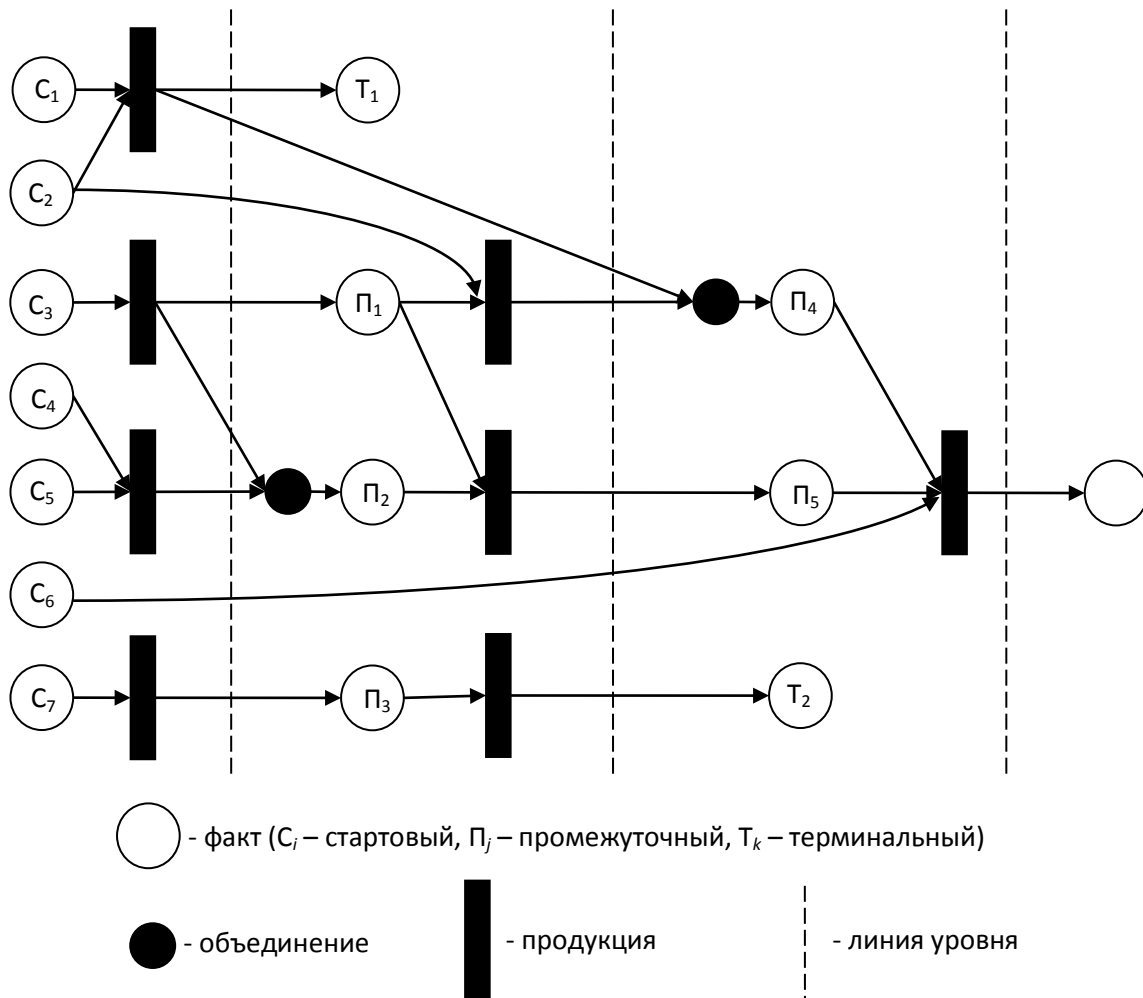


Рис. 3. Сеть вывода в «Гераклит».

Промежуточный:

$$\{П_1\} \rightarrow \{П_4\};$$

$$\{П_1, П_2\} \rightarrow \{П_5\};$$

$$\{П_3\} \rightarrow \{T_2\}.$$

Завершающий:

$$\{П_4, П_5, C_6\} \rightarrow \{T_3\}.$$

Антецедент и консеквент представлены формирующими их фактами.

Заключение. Логический вывод в «Гераклит» – это вычислительный процесс, ход которого определяется БЗ и ответами на вопросы пользователя. Традиционные символьные структуры здесь заменяются вычислительной, а ресурсоемкие символьные преобразования – целочисленными расчетами. Содержательные описания фактов играют роль «этикеток»,

помечающих вершины вычислительной сети. Это позволяет составлять продукции на этапе формирования БЗ и задавать вопросы пользователю. Продукции связывают вершины-факты. Вершины-объединения активизируются автоматически, если факт выводится по двум и более цепочкам. Такая организация вывода не требует сопоставления фактов с шаблонами (антецедентами), хранения и преобразования выведенных фактов и т.п., что характерно для «классических» ЭС [6]. Как результат, в системе отсутствуют соответствующие архитектурные компоненты. Отсутствует и многократный перебор продукции. Это упрощает систему и делает логический вывод достаточно быстрым и эффективным.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аршинский Л.В. Многозначные логики с векторной семантикой. Восточно-Сибирский институт МВД России. Иркутск, 2003. 46 с. Деп в ВИНТИ 13.02.2003, № 281-В2003.
2. Аршинский Л.В. Интервальное оценивание истинности в системах автоматизированных рассуждений на основе V^{TF} -логик // IV международная конференция «Идентификация систем и задачи управления» SICPRO'05: труды. Москва. ИПУ РАН им. В.А. Трапезникова. 2005. С. 1061 - 1074.
3. Аршинский Л.В. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ «HERACLIT 2006». Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 7 ноября 2006 г. Свидетельство № 2006613062.
4. Аршинский Л.В. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ «Гераклит 2.X». Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 02 июля 2013 г. Свидетельство № 2013616260.
5. Аршинский Л.В. Организация знаний в системе моделирования правдоподобных рассуждений «Гераклит» // XVII Байкальская Всероссийская конференция «Информационные и математические технологии в науке и управлении»: труды. Т. 3. Иркутск. ИСЭМ СО РАН. 2012. С. 19 - 25.
6. Джарратано Д., Райли Г. Экспертные системы: принципы разработки и программирования. 4-е изд.: Пер с англ. Москва. ООО «И.Д. Вильямс». 2007. 1152 с.
7. Дунаев М.П., Дунаев А.М. Экспертный комплекс для наладки преобразователей частоты // XX Байкальская Всероссийская конференция «Информационные и математические технологии в науке и управлении»: труды. Т. 3. Иркутск. ИСЭМ СО РАН. 2015. С. 20 - 28.
8. Хачатрян А.Р. Анализ классических методов объединения свидетельств в экспертных системах // Изв. АН СССР. Техн. кибернетика, 1987. № 5. С. 67 - 73.

FEATURES OF THE INFERENCE ENGINE OF THE PLAUSIBLE REASONING MODELING SYSTEM "HERACLITUS"

Leonid V. Arshinskiy

Dr., Head. Department "Information Systems and Information Security"

Irkutsk State Transport University 15, Chernyshevskiy Str.,

664074, Irkutsk, Russia, e-mail: arsh@irgups.ru

Annotation. The paper discusses the organization of logical inference in the expert systems development tool "Heraclitus". Inference by "Heraclitus" is a chain of calculations on a production computation network with three types of nodes: the facts, the rules and the nodes for evidence combining. Such organization of inference does not require a comparison of facts with the templates (antecedents). Multiple scanning of the knowledge base is absent too. It makes the logical conclusion quite fast and efficient. The logical inference is based on the logic with vector semantics.

Keywords: expert system, inference engine, knowledge base, computing network, logic with vector semantics, V^{TF} -logic.

References

1. Mnogoznachye logiki s vektornoj semantikoi [Multivalued logic with vector semantic] / L.V. Arshinskiy; Vostochno-Sibirskiy Institut MVD Rossii. Irkutsk. 2003. 46 p., Dep. VINITI 13.02.2003, N 281-V2003. (in Russian).
2. Arshinskiy L.V. Interval'noe otsenivanie istinnosti v sistemakh avtomatizirovannykh rassuzhdeniy na osnove V^{TF} -logik [An interval valuation of truth in computer-aided reasoning systems based on the V^{TF} -logic] // IV mezhdunarodnaya konferentsiya "Identifikatsiya sistem i zadachi upravleniya" SICPRO'05. Moskva: IPU RAN im. V.A. Trapeznikova, 2005. P. 1061-1074. (in Russian).
3. Arshinskiy L.V. Svidetel'stvo ob offitsial'noi registracii programmy dlya EVM "HERACLIT 2006" [Certificate of official registration of the computer program "HERACLIT 2006"]. Zaregistrirvano v Reestre programm dlya EVM 7 noyabrya 2006 g. Svidetel'stvo N 2006613062. (in Russian).
4. Arshinskiy L.V. Svidetel'stvo ob offitsial'noi registracii programmy dlya EVM "Geraklit 2.X" [Certificate of official registration of the computer program "Heraclitus 2.X"]. Zaregistrirvano v Reestre programm dlya EVM 02 iyulya 2013 g. Svidetel'stvo N 2013616260. (in Russian).
5. Arshinskiy L.V. Organizatsiya znaniy v sisteme modelirovaniya pravdopodobnykh rassuzhdeniy "Geraklit" [The organization of knowledge in the modeling of plausible reasoning, "Heraclitus"] // XVII Baikal'skaya Vserossiiskaya konferentsiya "Informatsionnye i matematicheskie tekhnologii v nauke i upravlenii". Chast III. Irkutsk: ISEM SO RAN, 2012. P. 19-25. (in Russian).
6. J.C. Giarratano, G.D. Riley. Expert Systems: Principles and Programming. Fourth edition. Course Technology, 2004. 854 p.
7. Dunaev M.P., Dunaev F.M. Ekspertnyi kompleks dlya naladki preobrazovatelei chastoty [Expert system for the repair of frequency converters] // XX Baikalskaya Vserossiiskaya konferentsiya "Informatsionnye i matematicheskie tekhnologii v nauke i upravlenii". Chast III. Irkutsk: ISEM SO RAN, 2015. P. 20-28. (in Russian).
8. Khachatryan A.R. Analiz klassicheskikh metodov obyedineniya svidetel'stv v ekspertnykh sistemakh [Analysis of the classical methods of combining evidences in expert systems] // Izv. AN SSSR. Tekhn. kibernetika, 1987. N 5. P. 67-73. (in Russian).

УДК 621.311, 681.5

**ПРИМЕНЕНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКИХ АЛГОРИТМОВ ДЛЯ
НАСТРОЙКИ АВТОМАТИЧЕСКИХ РЕГУЛЯТОРОВ УСТАНОВОК
РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ГЕНЕРАЦИИ**

Булатов Юрий Николаевич

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

Крюков Андрей Васильевич

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

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

Аннотация. Концепция интеллектуальных электрических сетей предусматривает создание развитой системы автоматического управления режимами электроэнергетических систем на базе активных устройств, а также широкое применение установок распределённой генерации (РГ).

Для эффективной работы установок РГ необходимо решение задачи оптимальной настройки автоматических регуляторов возбуждения и частоты вращения генераторов, которые являются центральной частью этих установок.

В статье приводится описание генетического алгоритма, предназначенного для решения задач оптимизации настроек автоматических регуляторов возбуждения и частоты вращения генераторов установок РГ.

Ключевые слова: электроэнергетические системы, интеллектуальные электрические сети, установки распределённой генерации, оптимизация настроек автоматических регуляторов, генетические алгоритмы.

Введение. Развитие концепции интеллектуальных электроэнергетических систем (ЭЭС) с активно-адаптивными сетями (smart grid) [9] предполагает повышение надёжности и живучести ЭЭС на основе создания развитой системы автоматического управления, построенной с использованием интеллектуальных технологий, а также широкого применения установок распределённой генерации (РГ) и активных устройств для регулирования режимов.

Определение оптимальных настроек автоматических регуляторов установок РГ можно отнести к классу многокритериальных и многомерных задач, от правильного решения которых зависит эффективное функционирование установок РГ в составе ЭЭС. Критерий оптимизации в таких задачах представляет собой сложную функцию, имеющую множество локальных экстремумов, среди которых требуется найти единственный глобальный или близкий к нему. Решение этой задачи на основе применения классических методов оптимизации затруднено, а иногда невозможно.

Теоретический анализ показывает, что наиболее приемлемый метод решения задачи поиска оптимальных настроек регуляторов установок РГ может быть реализован на основе использования генетического алгоритма (ГА) Дж. Холланда [24]. Оптимизации настроек

автоматических регуляторов с помощью ГА посвящены работы как отечественных, так и зарубежных авторов [2, 7, 10, 12, 14, 15, 18,9, 21, 25-27]. Эти работы направлены на решение следующих задач:

- реализацию различных модификаций ГА [26, 21, 15];
- применение известных вариантов ГА для настройки систем автоматического регулирования [25,19, 27, 7, 12, 14],
- исследование эффективности ГА по сравнению с традиционными методами оптимизации и улучшение его поисковых свойств [18, 15].

Ниже представлены результаты применения ГА для решения задачи оптимального согласования настроек автоматических регуляторов возбуждения (АРВ) и частоты вращения (АРЧВ) турбогенераторов установок РГ. Кроме того, описана реализации адаптивного ГА в рамках представленной структуры мультиагентной системы управления.

Согласование настроек регуляторов установок РГ и описание исследуемой модели. Ввиду относительно малой мощности установок РГ и небольшой постоянной инерции роторов их турбогенераторов особую актуальность приобретает задача согласованной настройки АРВ и АРЧВ. Важность этой задачи можно проиллюстрировать на основе классической схемы генератора, работающего на шины бесконечной мощности по рис. 1.

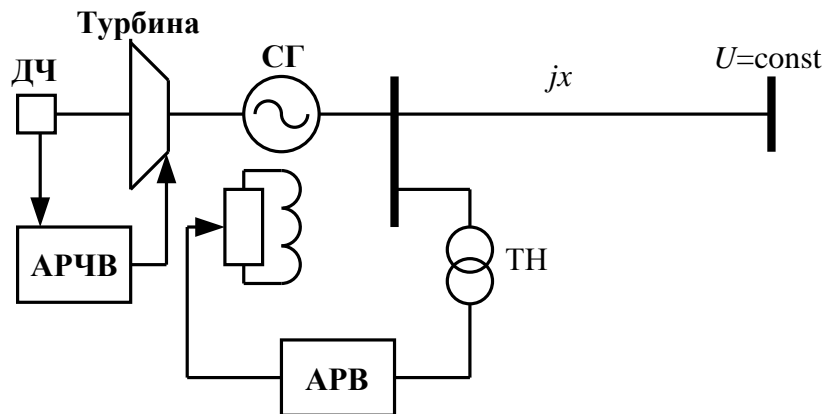


Рис. 1. Генератор, работающий на шины бесконечной мощности

Уравнение движения ротора для этой схемы можно записать так:

$$\frac{d\Delta\omega(t)}{dt} = \frac{1}{T_j} \left[M_T(\omega_0 + \Delta\omega(t)) - \frac{E_q(i_f)U_G}{x} \sin\left(\delta_0 + \int_0^T \Delta\omega(t)dt\right) \right], \quad (1)$$

где T_j – постоянная инерции турбогенератора; M_T – механический момент турбины; E_q – ЭДС генератора; ω_0 – синхронная частота вращения ротора.

Напряжение на шинах генератора определяется выражением

$$\dot{U}_G = \dot{E}_q - jI_G x_G,$$

где I_G – ток генератора; x_G – сопротивление генератора.

Паровая турбина без учёта промежуточного перегрева пара может быть представлена

звеном с передаточной функцией $W_T = \frac{1}{0,2s + 1}$.

При использовании тиристорной системы возбуждения передаточную функцию возбудителя можно принять следующей $W_B = \frac{1}{0,001s + 1} \cdot \frac{1}{0,025s + 1}$.

Передаточная функция стабилизирующего канала АРВ, определяющего взаимосвязь с АРЧВ, может быть представлена так [5]:

$$W_{АРВ}^\omega = \frac{1 + 0,5s}{0,5s} \cdot \left[\frac{k_{0\omega} 2s}{(2s + 1)(0,02s + 1)} + \frac{k_{1\omega} 0,05s}{0,05s + 1} \right], \quad (2)$$

где s – оператор Лапласа; $k_{0\omega}$ и $k_{1\omega}$ – искомые коэффициенты настройки АРВ.

Блок АРЧВ может быть представлен регулятором со следующим пропорционально-интегрально-дифференциальным (ПИД) законом:

$$W_{АРЧВ} = \left(k_p + \frac{k_i}{0,1s} + \frac{k_d s}{s + 1} \right) \cdot \frac{1}{0,01s + 1}, \quad (3)$$

где k_p, k_i, k_d – искомые коэффициенты настройки АРЧВ.

Связь механических и электрических параметров, входящих в уравнение (1), можно пояснить с помощью рис. 2, на котором обозначено: δ_0 – начальное значение угла между векторами ЭДС и напряжения генератора (угол нагрузки); $\Delta\delta$ – вариация угла нагрузки; $\Delta\omega$ – вариация скорости вращения ротора.

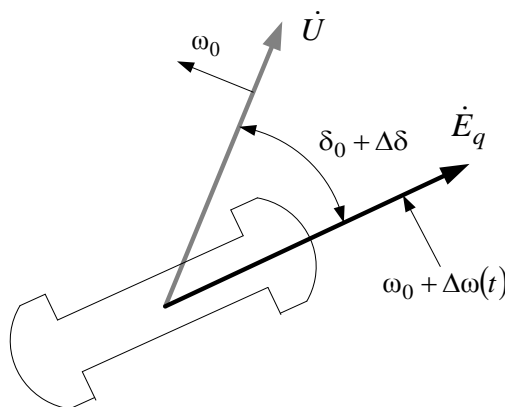


Рис. 2. Векторная диаграмма

При изменении нагрузки турбогенератора возникает небаланс моментов, который приводит к вариации скорости вращения ротора. Это вызывает изменения угла нагрузки $\Delta\delta$. Из уравнения (1) следует, что ускорение ротора обратно пропорционально моменту инерции. Для установок РГ с небольшими значениями T_J вариации скорости будут значительными. Поэтому для установок РГ требуется согласованное регулирование электрических и механических параметров. Такое регулирование может быть реализовано на основе идей работы [1], в которой предложена методика согласованной настройки АРВ и АРЧВ. Схема, иллюстрирующая согласованную настройку АРВ и АРЧВ турбогенератора установки РГ, представлена на рис. 3.

Принцип согласованной настройки состоит в определении коэффициентов настройки АРВ и АРЧВ, обеспечивающих минимальные отклонения параметров турбогенератора от номинальных значений, высокие демпферные свойства при электромеханических переходных процессах и требуемый запас устойчивости.

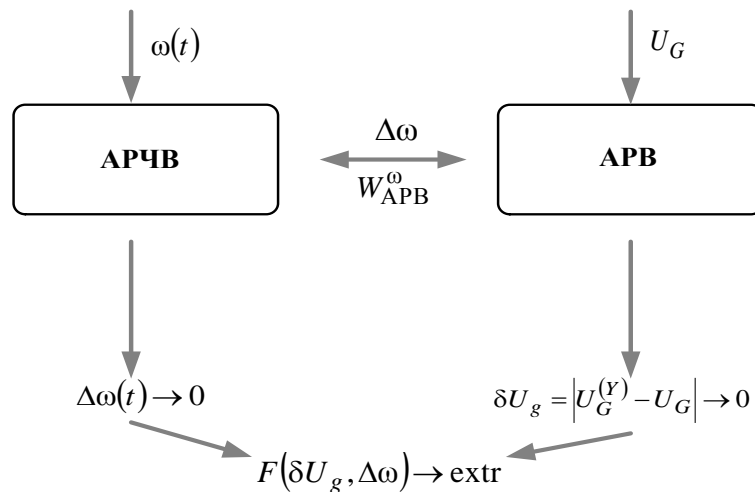


Рис. 3. Схема, иллюстрирующая принцип согласованной настройки АРВ и АРЧВ: $F(\delta U_g, \Delta\omega)$ – функционал качества управления турбогенератором при согласованной настройке АРВ и АРЧВ; $W_{АРВ}^\omega$ – функция канала регулирования АРВ по частоте

Адаптивный генетический алгоритм для решения задачи оптимизации настроек регуляторов установок РГ. В качестве критерия оптимизации настроек АРВ и АРЧВ турбогенераторов установок РГ в работах [5, 1, 4] предлагается использовать следующий функционал:

$$J = \int_0^{\Omega} e^2(j\omega) d\omega \rightarrow \min, \quad (4)$$

где $e(j\omega) = D^{\mathcal{H}}(j\omega) - D^M(j\omega)$ – рассогласование между желаемым и модельным наборами коэффициентов характеристических полиномов; ω – текущее значение частоты из диапазона $[0; \Omega]$, определяющего «полосу пропускания» системы.

В связи с тем, что величина рассогласования $e(j\omega) = \text{Re}_e(\omega) + j \text{Im}_e(\omega)$ является комплексной, возникают затруднения при минимизации функционала (4).

Поэтому целесообразно использовать линейную свертку:

$$J = \frac{1}{2} J_{\text{Re}} + \frac{1}{2} J_{\text{Im}} \rightarrow \min, \quad (5)$$

где J_{Re} , J_{Im} – критерии, отвечающие близости годографов в областях действительных и мнимых значений.

Критерии J_{Re} и J_{Im} формируются так:

$$J_{\text{Re}} = \int_0^{\Omega} (\text{Re } D^{\mathcal{H}}(\omega) - \text{Re } D^M(\omega))^2 d\omega,$$

$$J_{\text{Im}} = \int_0^{\Omega} (\text{Im } D^{\mathcal{H}}(\omega) - \text{Im } D^M(\omega))^2 d\omega. \quad (6)$$

Используемый функционал имеет большое число локальных экстремумов, поэтому поиск глобального минимума в представленной задаче целесообразно выполнять с помощью генетического алгоритма, представляющего процедуру поиска оптимума, основанную на механизмах естественного отбора и наследования. Основная идея ГА впервые была

предложена Дж. Холландом в 1975 г [24]. Дальнейшее развитие эта идея получила в работах его учеников Гольдберга и Де Йонга [22, 23].

Среди основных особенностей, определяющих эффективность применения ГА в оптимизационных задачах электроэнергетики, необходимо отметить следующие [16, 6]:

- лёгкая программируемость, поскольку ГА реализуют простую, но достаточно эффективную схему вычислений;
- отсутствие дополнительных требований, предъявляемых к математической модели задачи в виде непрерывности, дифференцируемости и унимодальности критерия оптимизации;
- отсутствие необходимости в вычислении производных целевой функции;
- возможность учёта технических ограничений любого вида;
- поиск решения не из единственной точки, а из некоторой популяции;
- принципиальная возможность применения данного подхода совместно с другими, как традиционными, так и новыми методами расчёта;
- быстрая генерация достаточно «хороших» в смысле оптимальности решений.

При описании ГА используются определения, заимствованные из генетики. Например, речь идёт о популяции особей, а в качестве базовых понятий применяются ген, хромосома, кроссовер, мутация и др. Классический ГА применительно к задаче оптимизации настроек АРВ и АРЧВ турбогенераторов установок РГ может быть представлен схемой, приведенной на рис. 4.

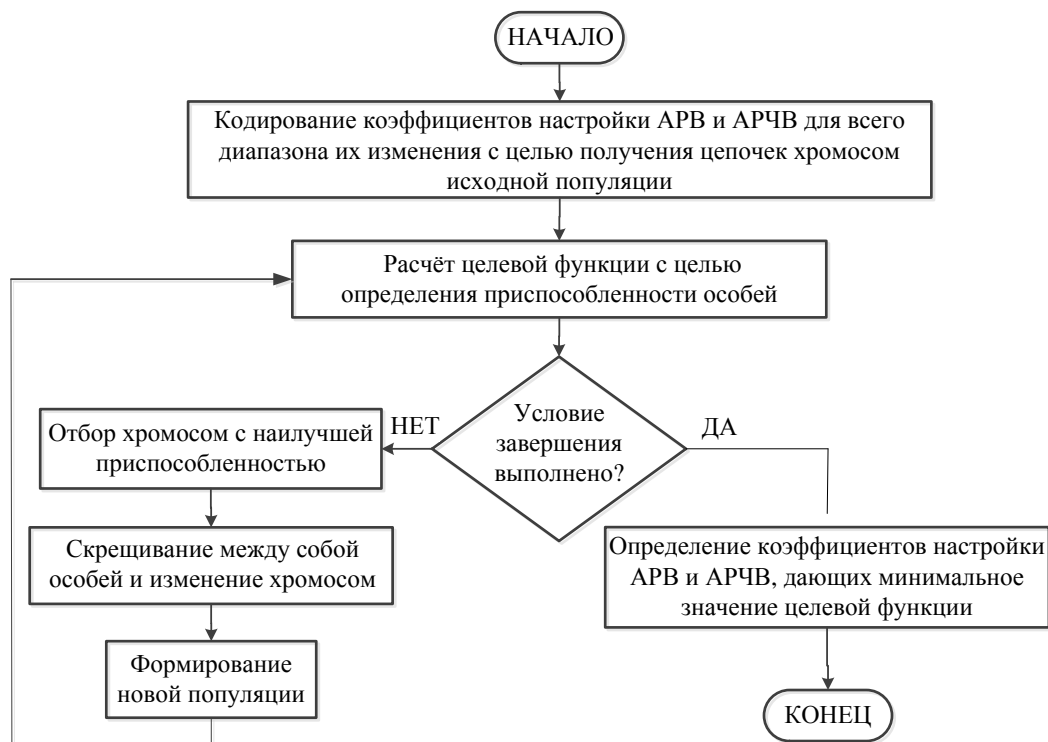


Рис. 4. Блок-схема классического генетического алгоритма применительно к задаче оптимизации настроек АРВ и АРЧВ турбогенераторов установок РГ

Среди систем, реализующих ГА с современными операторами селекции, кроссовера и мутации можно выделить программу Flex Tool пакета Genetic Algorithm, входящего в

систему MATLAB. Flex Tool взаимодействует со средой MATLAB, что даёт большие возможности по использованию ГА при разработке конкретных приложений.

Выбор метода кодирования является важным этапом применения ГА для поиска оптимальных коэффициентов настройки регуляторов и может влиять на быстродействие и точность результата. Применяемый в данной работе ГА использует метод вещественного кодирования, при котором отдельный ген представляет собой один из искомым параметром в виде вещественного числа, а их совокупность – хромосому, т.е. возможный набор коэффициентов настройки регуляторов (рис. 5). Из цепочки хромосом случайным образом формируются особи, и определяется исходная популяция. На рис. 5 представлена хромосома при кодировании двух коэффициентов настройки АРВ для стабилизации регулирования по отклонению частоты $k_{0\omega}$ и скорости её изменения $k_{1\omega}$ [1], а также трех коэффициентов настройки АРЧВ, работающего по ПИД закону регулирования: k_p , k_i , k_d .

Хромосома				
-3,456	2,759	94,547	15,254	-4,385
$k_{0\omega}$	$k_{1\omega}$	k_p	k_i	k_d

Рис. 5. Пример хромосомы при вещественном кодировании коэффициентов настройки АРВ и АРЧВ

В настоящее время предлагаются различные методы отбора, кроссовера и мутации [29, 8], среди которых необходимо отметить следующие: турнирный отбор; элитные методы, гарантирующие «выживание» лучших членов популяции; двухточечный и равномерный кроссовер и др. Исследования, представленные в работе [1], показали, что выбор методов определения исходной популяции, вероятности кроссоверной доли и алгоритма мутации для целевой функции (4) оказывает большое влияние на конечный результат. Неудачный выбор может сопровождаться большими затратами процессорного времени, а в некоторых случаях приводить к некорректному результату. Кроме того, ГА является стохастическим алгоритмом и в итоге его применения к одной и той же задаче оптимизации могут иметь место различающиеся результаты.

Для автоматического определения семейства исходной популяции с наиболее подходящей вероятностью скрещивания и мутации предлагается использовать адаптивный алгоритм, обеспечивающий оптимальные настройки ГА для конкретной целевой функции [1, 6]. Его суть заключается в двукратном выполнении ГА. На первом этапе для заданной целевой функции формируется диапазон поиска и начальная точка отсчёта. При этом достаточно осуществить 10...100 итераций ГА в зависимости от сложности функции. Затем, на основе использования полученных на первом этапе настроек и дополнительных процедур формируется глобальное решение. Например, конечное семейство особей, определенное на первом этапе, принимается за исходную популяцию, а в качестве функции мутации используется адаптивный алгоритм (Adaptive feasible), реализованный в программе Flex Tool, и устанавливается оптимальное значение вероятности кроссоверной доли (Crossover fraction), определенное на первом этапе.

В предлагаемом адаптивном ГА используется турнирный метод отбора и двухточечный кроссовер, так как эти методы являются достаточно эффективными. Кроме

того для уменьшения количества итераций ГА и уточнения глобального решения после процедуры ГА применяется метод Нелдера-Мида. Как показали исследования [11], этот метод является наиболее эффективным в задачах поиска оптимальных настроек АРВ и АРЧВ. Таким образом, адаптивность предлагаемого алгоритма заключается в автоматическом выборе исходной популяции, а также оптимального значения вероятности скрещивания и мутации для конкретной задачи. Процедура адаптивного генетического алгоритма была реализована в программном комплексе [3], позволяющем находить оптимальные настройки АРВ и АРЧВ, в том числе и с учётом их связанности.

На рис. 6 показаны результаты работы ГА с настройками по умолчанию (случайное формирование исходной популяции, вероятность скрещивания 0,8, стандартный алгоритм мутации с долей отбираемых компонентов хромосом 0,01) и предлагаемого адаптивного алгоритма при поиске оптимальных коэффициентов регулирования АРВ и АРЧВ турбогенератора установки РГ. Расчёты выполнялись для компьютерной модели (рис. 7) со следующими параметрами турбогенератора, работающего на активно-индуктивную нагрузку: номинальная мощность $S_{\text{ном}} = 2,5$ МВА; номинальное напряжение $U_{\text{ном}} = 6,3$ кВ; сопротивление генератора $x_d = 2,35$ о.е.; номинальная скорость вращения ротора $n_{\text{ном}} = 3000$ об/мин; постоянная механической инерции $T_j = 5,697$ с. Коэффициенты настройки АРВ для канала регулирования по напряжению для обоих случаев принимались постоянными: $k_{0u} = 100$, $k_{1u} = 50$.

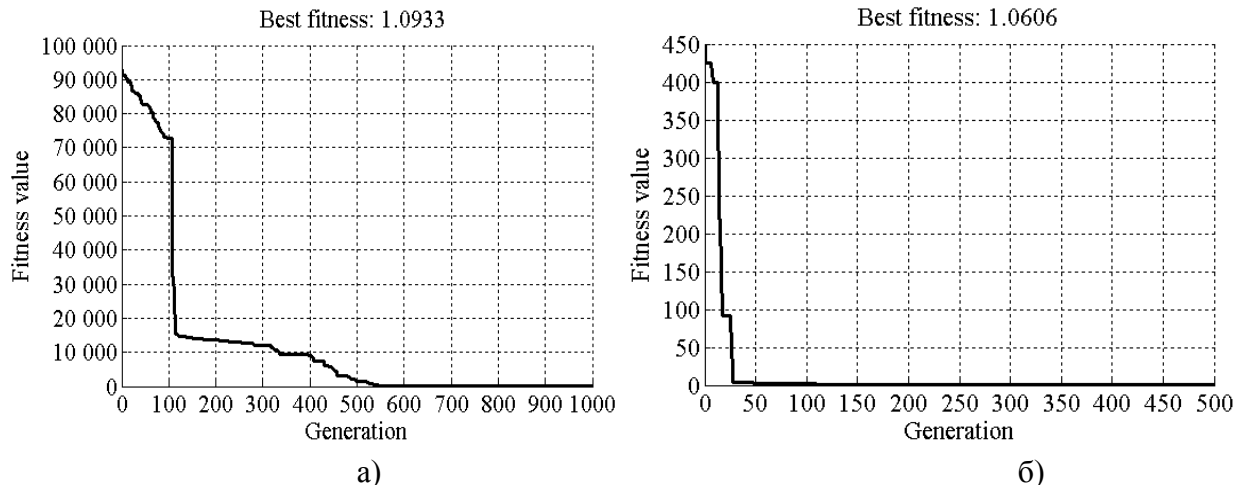


Рис. 6. Зависимости лучшего значения функции приспособленности особей от поколения при настройках ГА по умолчанию (а) и оптимальных настройках (б)

Как видно из рис. 6, при использовании адаптивного ГА решение достигается при меньшем числе итераций с получением более точного результата (рис. 6, б), что показывает эффективность предлагаемого алгоритма.

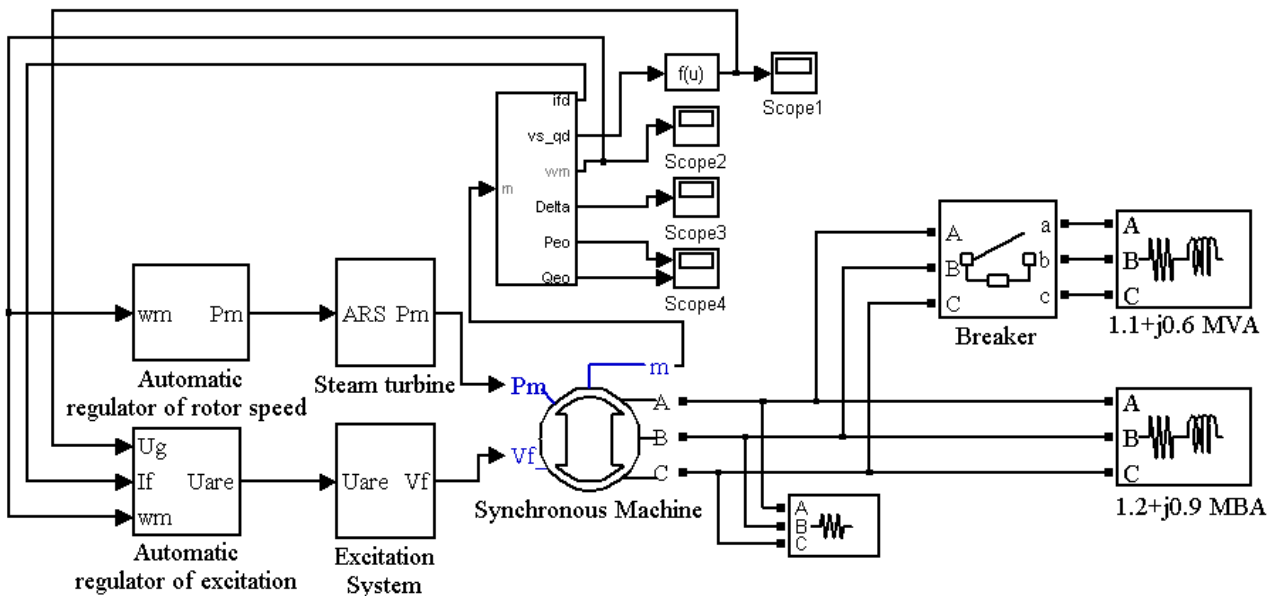


Рис. 7. Схема модели исследуемой установки РГ в MATLAB

В результате проведённого моделирования с помощью обычного и адаптивного ГА были определены коэффициенты настройки АРВ и АРЧВ турбогенератора установки РГ (табл. 1), обеспечивающие необходимый запас устойчивости и хорошие демпферные свойства. При этом адаптивный ГА позволил определить коэффициенты настройки регуляторов, обеспечивающих больший запас устойчивости и лучшие демпферные свойства системы (для напряжения время переходного процесса снижается в 4,3 раза, а для частоты – в 3,2 раза). В рассматриваемом примере переходный процесс для частоты вращения ротора турбогенератора становится аperiodическим, что является несомненным преимуществом для механической части установки РГ. Соответствующие осциллограммы напряжения и частоты, подтверждающие данные выводы представлены на рис. 8 и 9.

Таблица 1

Результаты согласованной настройки АРВ и АРЧВ турбогенератора установки РГ

Тип алгоритма	Коэффициенты настройки АРВ и АРЧВ	Запас аperiodической устойчивости системы
1) ГА со случайно определенной исходной популяцией, вероятностью кроссоверной доли 0,8 и стандартным алгоритмом мутации	1) АРВ: $k_{0u} = 100$; $k_{1u} = 50$; $k_{0w} = -130,99$; $k_{1w} = 40,81$; 2) АРЧВ: $k_p = 15,21$; $k_i = 0,77$; $k_d = 5,75$	165,39
2) адаптивный ГА	1) АРВ: $k_{0u} = 100$; $k_{1u} = 50$; $k_{0w} = 1,72$; $k_{1w} = 20,51$; 2) АРЧВ: $k_p = 35,81$; $k_i = 1,06$; $k_d = 0,66$	302,33

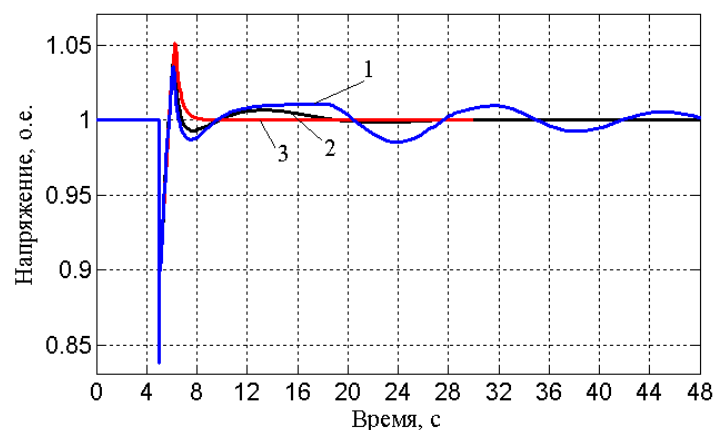


Рис. 8. Осциллограммы изменения напряжения турбогенератора при подключении дополнительной нагрузки:

1 – коэффициенты настройки АРВ и АРЧВ определены из практических соображений (неоптимальная настройка): время переходного процесса $t_p > 43$ с; перерегулирование $\sigma = 3,6\%$;

2 – коэффициенты настройки АРВ и АРЧВ определены с помощью ГА со случайно выбранной исходной популяцией и настройками по умолчанию: $t_p = 13$ с; $\sigma = 4,9\%$; 3 – коэффициенты настройки АРВ и АРЧВ определены с помощью адаптивного ГА: $t_p = 3$ с; $\sigma = 5\%$

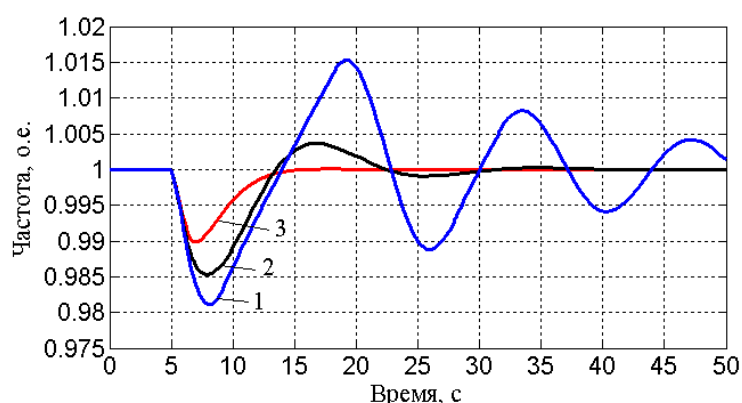


Рис. 9. Осциллограммы изменения частоты вращения ротора турбогенератора при подключении дополнительной нагрузки:

1 – коэффициенты настройки АРВ и АРЧВ определены из практических соображений (неоптимальная настройка): $t_p = 45$ с; перерегулирование $\sigma = 1,5\%$; 2 – коэффициенты настройки АРВ и АРЧВ определены с помощью ГА со случайно выбранной исходной популяцией и настройками по умолчанию: $t_p = 32$ с; $\sigma = 0,4\%$; 3 – коэффициенты настройки АРВ и АРЧВ определены с помощью адаптивного ГА: $t_p = 10$ с; $\sigma = 0\%$

Мультиагентный подход к реализации ГА для настройки автоматических регуляторов установок РГ. Мультиагентные технологии [17, 13, 20, 28] позволяют реализовать принципиально новый подход к решению задач управления интеллектуальными ЭЭС и системами электроснабжения с установками РГ. В отличие от классических подходов,

состоящих в поиске детерминированных алгоритмов для определения наилучшего решения проблемы, в мультиагентных технологиях такое решение находится в результате взаимодействия программно-аппаратных модулей (агентов). Эти агенты могут обмениваться между собой информацией по каналам связи, воспринимать воздействия внешней среды с помощью рецепторов и при необходимости воздействовать на объект управления с помощью исполнительных органов (эффекторов).

Мультиагентные системы должны обладать живучестью, проявлять свойства самоорганизации и сложного поведения даже при простых стратегиях действий отдельных агентов. Эти свойства схожи с выживанием наиболее приспособленных особей в генетических алгоритмах, что позволяет реализовать ГА на основе мультиагентных технологий. В этом случае каждая особь может быть представлена агентом, целью которого является достижение экстремума целевой функции, а деятельность заключается в выборе наилучшего партнёра для размножения.

Структура предлагаемой авторами мультиагентной реализации ГА применительно к задаче определения оптимальных коэффициентов настройки АРВ и АРЧВ генераторов установок РГ показана на рис. 10. Здесь каждая особь представляется отдельным агентом, характеризуется определённым набором хромосом (коэффициентами настройки АРВ и АРЧВ) и соответствующей функцией приспособленности (целевой функцией). Кроме того, имеется агент, отвечающий за селекцию, поскольку, как правило, этот процесс производится централизованно. Каждый агент обменивается информацией о своих свойствах и найденном значении целевой функции с другими агентами и агентом-селекционером.

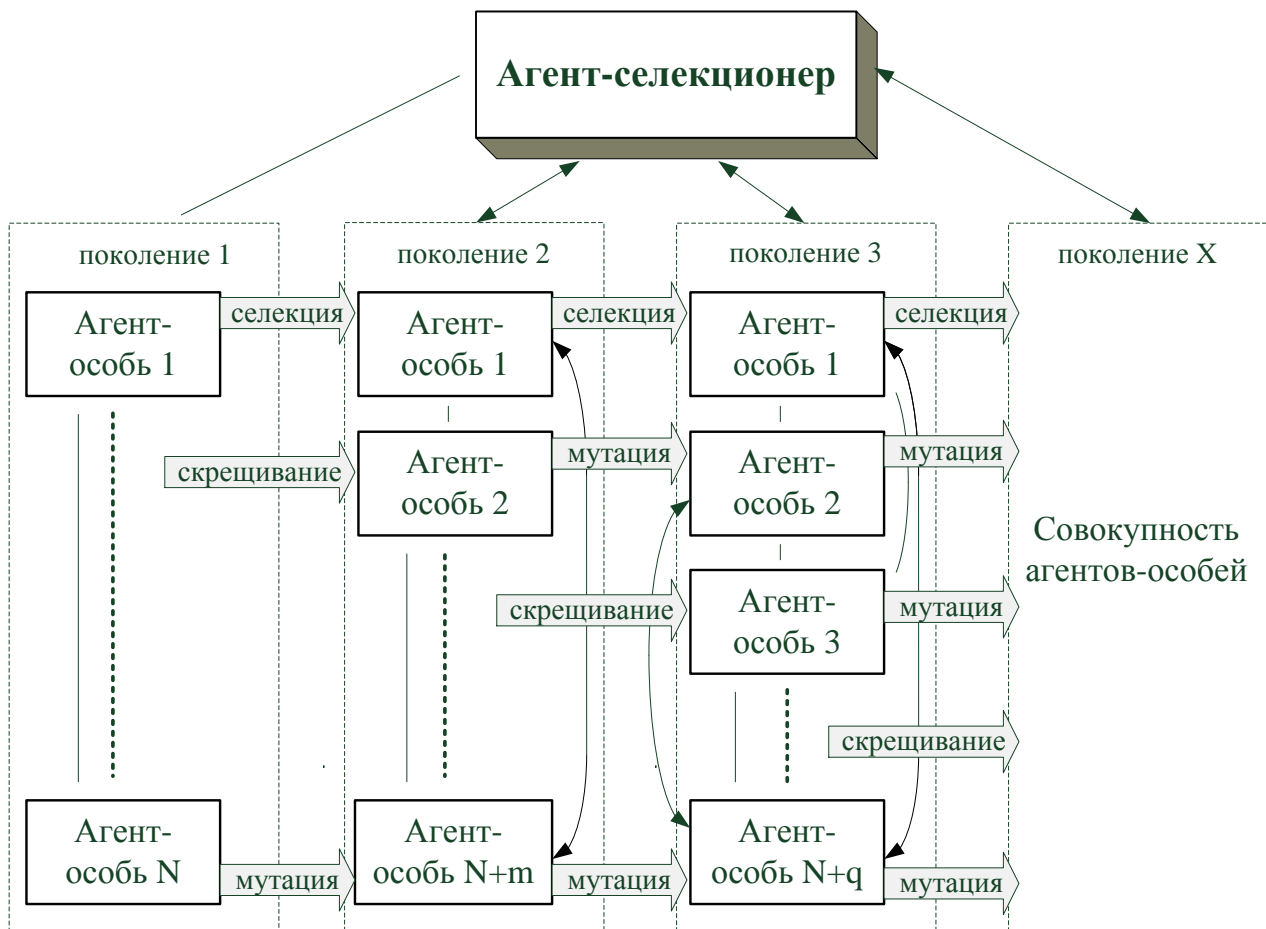


Рис. 10. Структура мультиагентной реализации генетического алгоритма

Таким образом, деятельность агентов-особей заключается в вычислении целевой функции и оповещении агента-селекционера о значении этой функции и соответствующих коэффициентах настройки регуляторов, а также в определении свойств агента-представителя следующего поколения.

Деятельность агента-селекционера заключается в сборе информации о функции приспособленности каждого агента-особи и в отборе (селекции) для следующего поколения наилучшей особи.

Предлагаемый для мультиагентной реализации модифицированный ГА представляет собой итерационный процесс последовательно проходимых однотипных шагов. Начальный набор хромосом у каждой особи формируется случайно и может совпадать. Агенты-особи определяют целевую функцию, общаются между собой и выбирают партнёра для скрещивания, которое возможно только в том случае, если особи разные. Каждая пара агентов-особей в результате скрещивания образует только одного потомка, отличающегося от родителей набором хромосом. Эти потомки переходят в следующее поколение, куда агент-селекционер также отбирает одного наилучшего агента. Для того чтобы количество агентов-особей увеличивалось с каждым новым поколением, т.е. чтобы вариантов решения становилось больше для наискорейшего определения оптимальных значений коэффициентов настройки АРВ и АРЧВ, предлагается мутация всех особей за исключением отобранной агентом-селекционером. Получающиеся мутанты также переходят в следующее поколение в качестве новых агентов-особей (рис. 10). Процесс останавливается, когда достигнуто заданное число поколений, не изменяющих наилучшую функцию приспособленности.

Описанный модифицированный генетический алгоритм может быть реализован на любой мультиагентной платформе, например: AnyLogic, JADE, Repast Symphony, и использован в мультиагентной системе управления установками распределённой генерации, предложенной в работе [5].

Заключение. Использование адаптивного ГА, в отличие от классического, позволяет достаточно быстро и точно решить задачу оптимизации коэффициентов настройки регуляторов установки распределённой генерации.

В результате проведённых расчётов с помощью адаптивного ГА на компьютерной модели установки РГ были получены оптимальные коэффициенты настройки АРВ и АРЧВ, обеспечивающие как необходимый запас устойчивости, так и хорошее демпфирование электромеханических колебаний.

Применение мультиагентных технологий и генетических алгоритмов позволит реализовать адаптивную систему управления установками распределённой генерации и создаст возможность эффективного использования технологий РГ при формировании активно-адаптивных сетей интеллектуальных систем электроснабжения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Булатов Ю.Н. Методика согласованной настройки автоматических регуляторов возбуждения и частоты вращения генераторов электростанций / Автореф. дисс. канд. техн. наук. Иркутск, 2012. 22 с.
2. Булатов Ю.Н., Игнатьев И.В. Оптимизация коэффициентов регулирования системы АРЧМ с использованием генетического алгоритма // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2009. №1(21). С. 150-153.

3. Булатов Ю.Н., Игнатъев И.В. Программный комплекс для идентификации электроэнергетических систем и оптимизации коэффициентов стабилизации автоматических регуляторов возбуждения // Системы. Методы. Технологии. 2010. №4(8). С. 106-113.
4. Булатов Ю.Н., Игнатъев И.В., Попик В.А. Методика выбора оптимальных настроек систем АРЧВ генераторов электростанций // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2011. №1(29). С. 192-198.
5. Булатов Ю.Н., Крюков А.В., Чан Зюй Хынг. Сетевые кластеры в системах электроснабжения железных дорог. Иркутск: ИрГУПС, 2015. 205 с.
6. Булатов Ю.Н., Попик В.А. Решение оптимизационных задач электроэнергетики с помощью адаптивного генетического алгоритма // Труды Братского государственного университета. Сер.: Естественные и инженерные науки – развитию регионов Сибири. 2012. Т.2. С. 94-99.
7. Дунаев М.П., Куцый Н.Н., Лукьянов Н.Д. Параметрическая оптимизация системы управления насосной станцией с помощью генетического алгоритма // Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2014. №8. С. 194-205. DOI: 10.7463/0514.0721172
8. Еремеев А.В. Разработка и анализ генетических и гибридных алгоритмов для решения задач дискретной оптимизации / Автореф. дисс. канд. физ.-мат. наук. Омск, 2000. 16 с.
9. Концепция интеллектуальной электроэнергетической системы России с активно-адаптивной сетью / под ред.: Фортова В.Е. и Макарова А.А. М.: ОАО «НТЦ ФСК ЕЭС», 2012. 235 с.
10. Куцый Н.Н., Лукьянов Н.Д. Применение генетического алгоритма для оптимизации автоматических систем с ПИД-регулятором // Вестник ИрГТУ. 2012. №6 (65). С. 6-10.
11. Приходько М.А., Игнатъев И.В., Булатов Ю.Н. Оптимизация коэффициентов регулирования системы АРЧМ с помощью метода Нелдера-Мида // Труды Братского государственного университета. Сер.: Естественные и инженерные науки – развитию регионов Сибири. 2010. Т.1. С. 25-32.
12. Раскин Е.М., Денисова Л.А., Мещеряков В.А. Автоматизация проектирования системы регулирования с использованием генетического алгоритма оптимизации // Промышленные АСУ и контроллеры. 2012. №7. С.8-14.
13. Рассел С., Норвиг П. Искусственный интеллект. Современный подход. М.: Вильямс, 2007. 1410 с.
14. Репин А.И., Сабанин В.Р., Смирнов Н.И. Алгоритм оптимальной настройки реальных ПИД регуляторов на заданный запас устойчивости // Автоматизации и ИТ в энергетике. 2010. №4(9). С. 7-12.
15. Сабанин В.Р., Смирнов Н.И, Репин А.И. Модифицированный генетический алгоритм для задач оптимизации в управлении // Exponenta Pro. 2004. № 3-4 (7-8). С. 78-85.
16. Сорокин Д.В. Выбор настроек АРВ генераторов сложной энергосистемы на основе применения генетического алгоритма и методов модального анализа / Автореф. дисс. канд. техн. наук. Санкт-Петербург, 2009. 24 с.

17. Тарасов В.Б. Агенты, многоагентные системы, виртуальные сообщества: стратегическое направление в информатике и искусственном интеллекте // *Новости искусственного интеллекта*. 1998. №2. С.5-63.
18. Труханов К.А., Попов Д.Н. Выбор оптимальных параметров гидропривода вентилятора для системы охлаждения двигателя транспортного средства // *Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн.* 2013. №7. С. 91-100. DOI: 10.7463/0713.0590873
19. Ayman A.A. PID Parameters Optimization Using Genetic Algorithm Technique for Electrohydraulic Servo Control System // *Intelligent Control and Automation*. 2011. No. 2. P. 69-76. DOI: 10.4236/ica.2011.22008
20. Bellifemine F.L., Caire G., Greenwood D. *Developing Multi-Agent Systems with JADE*: Wiley, 2007.
21. Chen Y., Ma Y., Yun W. Application of Improved Genetic Algorithm in PID Controller Parameters Optimization // *Telkomnika*. 2013. Vol. 11, no. 3. P. 1524-1530. Available at: <http://www.iaesjournal.com/online/index.php/TELKOMNIKA/article/viewFile/2301/pdf>, accessed 31.03.2016.
22. Goldberg D.E. *Genetic algorithm in search, optimization and machine learning*. Reading, MA: Addison-Wesley. 1989.
23. Goldberg D.E. Simple genetic algorithms and the minimal deceptive problem. *Genetic Algorithms and Simulated Annealing*. Chapter 6. Los Altos, CA, Morgan Kaufman. 1987. P. 74-88.
24. Holland J.H. *Adaptation in Natural and Artificial Systems*. Cambridge, MA: MIT Press. Second edition (1992). (First edition, University of Michigan Press, 1975).
25. Jaen-Cuellar A.Y., Romero-Troncoso R.de J., Morales-Velazquez L., Osornio-Rios R.A. PID-Controller Tuning Optimization with Genetic Algorithms in Servo Systems // *International Journal of Advanced Robotic Systems*. 2013. Vol. 10. P. 324. DOI: 10.5772/56697
26. Saad M.S., Jamaluddin H., Darus I.Z.M. Implementations of PID-controller tuning using differential evolution and genetic algorithm // *International Journal of Innovate Computing, Information and Control*. 2012. Vol. 8, no. 11. P. 7761-7779. Available at: <http://www.ijicic.org/ijicic-11-07073.pdf>, accessed 31.03.2016.
27. Slavov T., Roeva O. Application of Genetic Algorithm to Tuning a PID Controller for Glucose Concentration Control // *Electronic journal: WSEAS Transactions on Systems*. 2012. Vol. 11, no.7. P. 223-233. Available at: <http://www.wseas.org/multimedia/journals/systems/2012/55-286.pdf>, accessed 31.03.2016.
28. Wooldridge M.J. *An Introduction to MultiAgent Systems*: Wiley, 2009.
29. Z. Michalewicz. *Genetic Algorithms + Data Structures = Evolution Programs*. SpringerVerlag Berlin and Heidelberg, 1996, 387 p.

UDK 621.311, 681.5

APPLICATION OF GENETIC ALGORITHMS FOR SETTING ADJUSTMENT CONTROLLERS OF DISTRIBUTED GENERATION PLANTS

Yury N. Bulatov

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

Andrey V. Kryukov

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

Annotation. Concept of smart grids provides creation of developed automatic control systems for controlling the power systems modes on the basis of active devices, as well as wide application of distributed generation (DG) plants.

For effective operation of DG plants it is necessary to find the solution of optimal controllers setting adjustment that are the central part of these plants.

The article provides description of genetic algorithm meant for tasks solution related to optimization of setting adjustment of excitation controllers and speed controllers of DG plants generators.

Keywords: power systems, smart grids, distributed generation plants, optimization of controllers setting adjustment, genetic algorithms.

References

1. Bulatov Yu.N. Metodika soglasovannoj nastrojki avtomaticheskikh regulyatorov vzbuzhdeniya i chastoty vrascheniya generatorov `elektrostancij [The methodology of the harmonized settings of automatic controllers of excitation and speed of generator power plants] / The abstract of the thesis on competition of an academic degree of Candidate of Technical Sciences. Irkutsk, 2012. 22 p. (in Russian).
2. Bulatov Yu.N., Ignat'ev I.V. Optimizaciya koehfficientov regulirovaniya sistemy ARCHM s ispol'zovaniem geneticheskogo algoritma [Optimization of the coefficients of control system ARFP using genetic algorithm] // Sovremennye tehnologii. Sistemnyj analiz. Modelirovanie = Modern technologies. Systems analyses. Modeling. 2009. No. 1(21). pp. 150-153. (in Russian).
3. Bulatov Yu.N., Ignat'ev I.V. Programmnyj kompleks dlya identifikacii `elektro`energeticheskikh sistem i optimizacii ko`efficientov stabilizacii avtomaticheskikh regulyatorov vzbuzhdeniya [Software complex for identification of electrical power systems and optimization of the coefficients of the stabilization of automatic excitation regulators] // Sistemy. Metody. Tehnologii = Systems. Methods. Technologies. 2010. № 4(8). Pp. 106-113 (in Russian).
4. Bulatov Yu.N., Ignat'ev I.V., Popik V.A. Metodika vybora optimal'nyh nastroek sistem ARChV generatorov `elektrostancij [The technique of choosing optimal settings systems ARRS generator power] // Sovremennye tehnologii. Sistemnyj analiz. Modelirovanie = Modern technologies. System analysis. Modeling. 2011. № 1(29). Pp. 192-198 (in Russian).

5. Bulatov Yu.N., Kryukov A.V., Chan Zyuj Hyng. Setevye klasteri v sistemah `elektrosnabzheniya zheleznyh dorog [Network clusters in railway power supply systems]. Irkutsk, 2015. 205 p. (in Russian).
6. Bulatov Yu.N., Popik V.A. Reshenie optimizacionnyh zadach `elektro`energetiki s pomoshch'yu adaptivnogo geneticheskogo algoritma [The solution of optimization tasks of electric power using adaptive genetic algorithm] // Trudy Bratskogo gosudarstvennogo universiteta. Ser.: Estestvennye i inzhenernye nauki – razvitiyu regionov Sibiri = Proceedings of the Bratsk State University. Series: Natural sciences and engineering – to the development of Siberia. 2012. Vol. 2. Pp. 94-99 (in Russian).
7. Dunaev M.P., Kucyj N.N., Luk'yanov N.D. Parametricheskaya optimizaciya sistemy upravleniya nasosnoj stanciej s pomoshch'yu geneticheskogo algoritma [Parametric Optimization of Control Systems Pumping Station by the Genetic Algorithms] // Nauka i obrazovanie = Science and Education. Bauman MSTU. 2014. №. 8. Pp. 194-205. DOI: 10.7463/0514.0721172 (in Russian).
8. Eremeev A.V. Razrabotka i analiz geneticheskikh i gibridnyh algoritmov dlya resheniya zadach diskretnoj optimizacii [Development and analysis of genetic and hybrid algorithms for solving problems of discrete optimization] / The abstract of the thesis on competition of an academic degree of the candidate of physical and mathematical sciences. Omsk, 2000. 16 p. (in Russian).
9. Koncepciya intellektual'noj `elektro`energeticheskoy sistemy Rossii s aktivno-adaptivnoj set'yu / pod red.: Fortova V.E. i Makarova A.A. [The concept of intellectual power system of Russia with actively adaptive network]. M., 2012. 235 p. (in Russian).
10. Kucyj N.N., Luk'yanov N.D. Primenenie geneticheskogo algoritma dlya optimizacii avtomaticheskikh sistem s PID-regulyatorom [Using genetic algorithm for optimization of automatic systems with pid control] // Vestnik IrGTU = Bulletin ISTU. 2012. № 6 (65). Pp. 6-10 (in Russian).
11. Prihod'ko M.A., Ignat'ev I.V., Bulatov Yu.N. Optimizaciya ko`efficientov regulirovaniya sistemy ARChM s pomoshch'yu metoda Nelder-Mida [Optimization of the coefficients of the control system ARFP using the method of Nelder-Mead] // Trudy Bratskogo gosudarstvennogo universiteta. Ser.: Estestvennye i inzhenernye nauki – razvitiyu regionov Sibiri = Proceedings of the Bratsk State University. Series: Natural sciences and engineering – to the development of Siberia. 2010. Vol. 1. P. 25-32 (in Russian).
12. Raskin E.M., Denisova L.A., Meshcheryakov V.A. Avtomatizaciya proektirovaniya sistemy regulirovaniya s ispol'zovaniem geneticheskogo algoritma optimizacii [Automation of design of a control system using a genetic optimization algorithm] // Promyshlennye ASU i kontrolyery = Industrial ASC and controllers. 2012. № 7. Pp. 8-14 (in Russian).
13. Rassel S., Norvig P. Iskusstvennyj intellekt. Sovremennyy podhod [Artificial intelligence. Modern approach.]. M.: Williams, 2007. 1410 p. (in Russian).
14. Repin A.I., Sabanin V.R., Smirnov N.I. Algoritm optimal'noj nastrojki real'nyh PID regulyatorov na zadannyj zapas ustojchivosti [The algorithm for optimal settings of the real PID controllers for a given stability margin] // Avtomatizaciya i IT v jenergetike = Automation and IT in power engineering. 2010. № 4(9). Pp. 7-12 (in Russian).
15. Sabanin V.R., Smirnov N.I., Repin A.I. Modificirovannyj geneticheskij algoritm dlya zadach optimizacii v upravlenii [Modified genetic algorithm for optimal control problems] // Exponenta Pro. 2004. № 3-4 (7-8). Pp. 78-85 (in Russian).

16. Sorokin D.V. *Vybor nastroek ARV generatorov slozhnoj `energосистемы na osnove primeneniya geneticheskogo algoritma i metodov modal'nogo analiza [The choice of settings ARE generators complex power system on the basis of application of genetic algorithm and modal analysis methods] / The abstract of the thesis on competition of an academic degree of Candidate of Technical Sciences. Sankt-Petersburg, 2009. 24 p. (in Russian).*
17. Tarasov V.B. *Agenty, mnogoagentnye sistemy, virtual'nye soobshchestva: strategicheskoe napravlenie v informatike i iskusstvennom intellekte [Agents, multi-agent systems, virtual communities: strategic direction in computer science and artificial intelligence] // Novosti iskusstvennogo intellekta = News of artificial intelligence. 1998. №2. Pp. 5-63 (in Russian).*
18. Truhanov K.A., Popov D.N. *Vybor optimal'nyh parametrov gidroprivoda ventilyatora dlya sistemy ohlazhdeniya dvigatelya transportnogo sredstva [Selection of the optimum parameters for the hydraulic drive of a fan of the vehicle's engine cooling system] // Nauka i obrazovanie = Science and Education. Bauman MSTU. 2013. № 7. Pp. 91-100. DOI: 10.7463/0713.0590873 (in Russian).*
19. Ayman A.A. *PID Parameters Optimization Using Genetic Algorithm Technique for Electrohydraulic Servo Control System // Intelligent Control and Automation. 2011. № 2. pp. 69-76. DOI: 10.4236/ica.2011.22008*
20. Bellifemine F.L., Caire G., Greenwood D. *Developing Multi-Agent Systems with JADE: Wiley, 2007.*
21. Chen Y., Ma Y., Yun W. *Application of Improved Genetic Algorithm in PID Controller Parameters Optimization // Telkomnika. 2013. Vol. 11, № 3. Pp. 1524-1530. Available at: <http://www.iaesjournal.com/online/index.php/TELKOMNIKA/article/viewFile/2301/pdf>, accessed 31.03.2016.*
22. Goldberg D.E. *Genetic algorithm in search, optimization and machine learning. Reading, MA: Addison-Wesley. 1989.*
23. Goldberg D.E. *Simple genetic algorithms and the minimal deceptive problem. Genetic Algorithms and Simulated Annealing. Chapter 6. Los Altos, CA, Morgan Kauffman. 1987. Pp. 74-88.*
24. Holland J.H. *Adaptation in Natural and Artificial Systems. Cambridge, MA: MIT Press. Second edition (1992). (First edition, University of Michigan Press, 1975).*
25. Jaen-Cuellar A.Y., Romero-Troncoso R.de J., Morales-Velazquez L., Osornio-Rios R.A. *PID-Controller Tuning Optimization with Genetic Algorithms in Servo Systems // International Journal of Advanced Robotic Systems. 2013. Vol. 10. pp. 324. DOI: 10.5772/56697*
26. Saad M.S., Jamaluddin H., Darus I.Z.M. *Implementations of PID-controller tuning using differential evolution and genetic algorithm // International Journal of Innovate Computing, Information and Control. 2012. Vol. 8, № 11. Pp. 7761-7779. Available at: <http://www.ijicic.org/ijicic-11-07073.pdf>, accessed 31.03.2016.*
27. Slavov T., Roeva O. *Application of Genetic Algorithm to Tuning a PID Controller for Glucose Concentration Control // Electronic journal: WSEAS Transactions on Systems. 2012. Vol. 11, №7. Pp. 223-233. Available at: <http://www.wseas.org/multimedia/journals/systems/2012/55-286.pdf>, accessed 31.03.2016.*
28. Wooldridge M.J. *An Introduction to MultiAgent Systems: Wiley, 2009.*
29. Z. Michalewicz. *Genetic Algorithms + Data Structures = Evolution Programs. SpringerVerlag Berlin and Heidelberg, 1996, 387 p.*

ВЫБОР АЛГОРИТМА ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ БАЗЫ ЗНАНИЙ ЭКСПЕРТНОЙ СИСТЕМЫ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

Бахвалов Сергей Владимирович

К.т.н., доцент, заведующий кафедрой «Автоматизированные системы»,
Иркутский национальный исследовательский технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова 83, e-mail: bsv@istu.edu

Дунаев Андрей Михайлович

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

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 рассматривается выбор алгоритма диагностирования, который предлагается взять за основу при построении базы знаний экспертной системы диагностирования электрооборудования. Предлагаемый подход к диагностированию электрооборудования сочетает методы традиционной технической диагностики и технологию экспертных систем. Рассмотрены четыре алгоритма диагностирования и выбран алгоритм, который авторы считают наиболее подходящим для поставленной цели.

Ключевые слова: техническое диагностирование; оптимальный алгоритм диагностирования; комбинаторная оптимизация.

Введение. Очевидно, что каким бы совершенным ни являлось современное электрооборудование, проблемы его диагностирования остаются актуальными [1, 4, 6]. В настоящей статье предлагается разработка экспертной системы для диагностирования промышленного электрооборудования. Одним из сложных вопросов при разработке экспертных систем является извлечение знаний и проектирование базы знаний [2]. Авторы предлагают использовать оптимальный алгоритм технического диагностирования в качестве основы для построения базы знаний. Реализация данного подхода будет способствовать сокращению времени диагностирования электрооборудования.

Методы классической технической диагностики (ТД) основаны на математических моделях объектов и специальных алгоритмах диагностирования. Это направление детально рассмотрено в работе [4].

Классическая ТД предполагает предварительное глубокое изучение объекта диагностики (ОД), в процессе которого составляется в том или ином виде его математическое описание (математическая модель). В конечном итоге, опираясь на модель ОД и используя различные алгоритмы поиска дефектов, удается гарантированно определить

(локализовать) неисправность при минимальном количестве шагов поиска или с минимальным количеством затрат на этот поиск.

Средние затраты диагностирования для определения одного технического состояния объекта диагностирования, обозначенные как $C(Z_0, E_T)$, могут быть найдены по выражению (1):

$$C(Z_0, E_D) = \sum_{i=1}^N [P(e_i) \sum_{Z_0}^{Z_i} t(\hat{a}_k)], \quad (1)$$

где Z_0 – 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_D – множество технических состояний объекта диагностирования, $e_i \in E_T$;

$\sum_{Z_0}^{Z_i} t(e_k)$ – сумма времен проверок алгоритма диагностирования от проверки Z_0 до

проверки Z_i .

Выражение (1) позволяет определить качество любого алгоритма диагностирования при различных временах элементарных проверок и весах технических состояний ОД. Эта функция может быть использована как целевая функция оптимизации алгоритмов диагностирования. В свою очередь, полученный оптимальный алгоритм диагностирования электрооборудования послужит основой для структурирования базы знаний будущей экспертной системы [2,10].

1. Оптимальные алгоритмы диагностирования. При достаточном многообразии заданных допустимых элементарных проверок можно получать различные по качеству алгоритмы диагностирования. Однако наибольший практический смысл имеют задачи построения оптимальных алгоритмов диагностирования. Данные алгоритмы удовлетворяют экстремальному (часто минимальному) значению целевой функции (1), количественно характеризующей то или иное качество алгоритма в целом [7].

Разработка методов построения оптимальных диагностических алгоритмов представляет собой немаловажную составляющую совершенствования средств обслуживания систем в связи с возрастанием их сложности и повышением требований к эффективности их действия. Рассмотрим некоторые из существующих методов указанного класса [1].

1.1. Задача построения оптимальной условной программы диагностирования состояния систем в случае произвольного множества проверок. Данная задача [1] формулируется как требование создать диагностический алгоритм, минимизирующий среднюю стоимость определения состояния системы, которая включает в себя некоторое количество произвольным образом соединённых между собой элементов, способных находиться в одном из двух несовместимых состояний – работоспособности и отказа.

Свойством оптимальной условной программы (программы, в которой каждая последующая проверка выбирается в зависимости от исхода предыдущей) является минимальность стоимости любого входящего в неё типового узла. Функциональное

уравнение динамического программирования, используемое для построения оптимальных условных программ, имеет следующий вид:

$$C(S_k) = \min[c_i + P(S_{ki}^0)C(S_{ki}^0) + P(S_{ki}^1)C(S_{ki}^1)], \quad (2)$$

где C – стоимость диагностирования;

P – вероятность исхода проверки;

S_k – подмножество возможных состояний системы после k -й проверки;

c_i – стоимость выполнения k -й проверки;

S_{ki}^0 – непустое подмножество состояний системы, для которых k -я проверка имеет отрицательный исход;

S_{ki}^1 – непустое подмножество состояний системы, для которых k -я проверка имеет положительный исход.

Построение оптимальной условной программы диагностирования выполняется в 2 этапа:

- на первом этапе выполняется рекурсивное вычисление по (2) для всех подмножеств S_k значений $C(S_k)$ и формирование пар $(S_k; \pi_i)$, где π_i – проверка, для которой полученное значение $C(S_k)$ минимально;

- на втором этапе осуществляется составление самой программы как последовательности проверок – вначале из пары $(S; \pi_{i1})$ выписывается проверка, принимаемая за первую, затем выписываются проверки из пар $(S_{i1}^0; \pi_{i2})$ и $(S_{i1}^1; \pi_{i3})$, условия выполнения которых после π_{i1} – её отрицательный и положительный исходы соответственно, остальные проверки в составе программы определяются аналогично.

Подход к выбору блока ОД, подлежащего проверке в первую очередь, детально рассматривается в [5]. Данный выбор предполагается осуществлять в два этапа, на первом из которых в графе ОД выбирается путь, содержащий максимально значимую вершину, а на втором решение уточняется с учётом анализа структуры ОД, стоимостей проверки и показателей вершин, составляющих главный путь (разумеется, при этом попарно сравниваются все возможные разбиения и из них выбирается обеспечивающее минимум целевой функции).

Следует отметить, что реализация построения рассмотренной программы методом «ветвей и границ» на ЭВМ предложена в 1972 году М.И. Фрейманом и В.И. Шаратовым [8]. В указанной реализации разработаны 2 варианта вычисления нижних границ целевой функции для подмножеств S_{ki}^0 и S_{ki}^1 :

а) как скалярное произведение упорядоченного по возрастанию набора бинарных вероятностей на упорядоченный по убыванию набор стоимостей;

б) как средняя стоимость проверок, определяющих нахождение системы в состоянии S_i , сумма стоимостей которых минимальна, по следующей формуле:

$$CM(S_k) = \sum_{i=1}^k p_i \left(\sum_{\pi_j \in L_i} \tilde{c}_j \right), \quad (3)$$

где L_i – «ветвь» дерева, приводящая к состоянию S_i .

1.2. Оптимальная программа поиска отказов в системе из последовательно соединённых элементов с равностоимостными проверками в случае отказа одного элемента. Данная задача [1] может быть построена при помощи следующего алгоритма динамического программирования.

Пусть известно, что отказавший элемент входит в подмножество $S_{kj} = \{b_j, b_{j+1}, \dots, b_{j+k-1}\}$, где $j=1, 2, \dots, N-k+1$ и $1 \leq k \leq N$. В таком случае средняя стоимость данной программы определяется как:

$$C(k, j) = \min_{j \leq r \leq j+k-2} \{c_r + p(r)C(r-j+1, j) + [1-p(r)]C(j+k-r-1, r+1)\}, \quad (4)$$

где $p(r) = \frac{\sum_{i=1}^r p_i}{\sum_{i=j}^{j+k-1} p_i}$ - вероятность отрицательного исхода проверки

$\pi_r \in I$ ($j \leq r \leq j+k-2$), стоимость которой составляет c_r (отрицательный исход данной проверки означает принадлежность отказавшего элемента к подмножеству $S_{kj}^0 = \{b_j, b_{j+1}, \dots, b_r\}$, а положительный - к $S_{kj}^1 = \{b_{r+1}, b_{r+2}, \dots, b_{j+k-1}\}$).

Построение программы выполняется в 2 этапа:

- на первом этапе выполняется рекурсивное вычисление по (4), начиная с $k=3$ значений $C(k, j)$ для всех $j=1, 2, \dots, N-k+1$ и выписывание для каждой из пар (k, j) проверки π_r , для которой полученное значение $C(k, j)$ минимально (число таких пар составит $\frac{(N-1)(N-2)}{2}$);

- на втором этапе осуществляется составление самой программы как последовательности проверок; вначале проверка π_{r_1} ($1 \leq r_1 \leq N-1$), выписанная для пары $(N, 1)$, принимается за первую; затем находятся проверки π_{r_2} и π_{r_3} , выписанные, соответственно, для пар $(k_1, 1)$ и $(N-r_1, r_1+1)$, условия выполнения которых после π_{r_1} - её отрицательный и положительный исходы соответственно, остальные проверки в составе программы определяются аналогично.

Рассмотренные алгоритмы диагностирования представляют собой алгоритмы, построенные с привлечением процедур оптимизации по отсеиванию вариантов, заведомо не дающих оптимального решения [4].

1.3. Алгоритм поиска дефекта по показателю безотказности структурной единицы (СЕ) с минимальными затратами. Данный алгоритм предложен в [6]. При его построении предполагается, что длительности всех проверок равны, отказы СЕ независимы и отказывает только одна (любая) СЕ, после чего выполняется нижеизложенная последовательность действий:

1. Определение вероятности отказа q_i для каждой i -й СЕ.
2. Расположение всех СЕ в порядке убывания q_i .
3. Объединение последних двух СЕ в одну условную СЕ, вероятность отказа которой составляет $q = q_n + q_{n-1}$.

4. Установка условной СЕ на соответствующее место в ряду СЕ по величине q .

5. Повторение шагов 3 и 4 до объединения всех СЕ в одну условную СЕ.

Искомый алгоритм поиска возникшего дефекта представляет собой последовательность выполнения проверок, обратную полученной [6].

1.4. Программа для построения алгоритма поиска места отказа с минимальными затратами методом ветвей и границ в случае равных стоимостей проверок. Существует также особый подход, позволяющий ограничить вычислительные ресурсы при достижении оптимального результата путём сочетания метода комбинаторной оптимизации и эвристического алгоритма [9]. Идея указанного сочетания состоит в том, чтобы выбрать метод комбинаторной оптимизации, предусматривающий использование опорного решения, и получить опорное решение с близким к оптимальному значением целевой функции по эвристическому алгоритму. Близость опорного решения к оптимальному приводит к сокращению перебора методом комбинаторной оптимизации и снижению расходов вычислительных ресурсов [9].

В рамках данного подхода разработана программа для построения алгоритма поиска места отказа с минимальными затратами методом ветвей и границ в случае равных стоимостей проверок [9].

Программа работает следующим образом:

а) строится массив, каждый из элементов которого содержит значение состояния и соответствующее ему значение вероятности;

б) строится список всех проверок и выбираются эквивалентные проверки (ввиду равенства стоимостей проверок из всех эквивалентных проверок в программу диагностики достаточно включить одну);

в) заполняется столбец текущих состояний устройства и считывается значение стоимости каждой проверки;

г) производится вычисление нижней границы стоимости программы диагностики для первой проверки в списке при помощи процедуры, аргументами которой являются таблица состояний устройства, текущее состояние, стоимость проверки;

д) полученная таким образом проверка, соответствующая нижней границе, заносится в оптимальную программу диагностики;

е) производится перестановка строк и столбцов в таблице состояний устройства таким образом, чтобы она была разбита на две части: одна соответствует набору состояний, при которых результат проверки равен «0», вторая соответствует набору состояний, при которых результат проверки равен «1»;

ж) выполняется вычисление нижней границы для каждого набора состояний в отдельности, и процесс повторяется, пока в каждом наборе состояний не останется всего один элемент.

В результате выполнения рассмотренной программы строится оптимальный алгоритм диагностирования в виде бинарного дерева.

Заключение. Авторам представляется, что из всех вышеописанных методов диагностирования наиболее перспективным является метод *поиска места отказа с минимальными затратами методом ветвей и границ в случае равных стоимостей проверок* [9]. Данный метод выгодно отличается от остальных рассмотренных методов обеспечением экономии вычислительных ресурсов и возможностью дальнейшей модернизации путём применения более совершенных алгоритмов, использующих опорные решения с близким к оптимальному значению целевой функции (1). Предлагается использовать его как основу при построении базы знаний разрабатываемой экспертной системы для диагностирования промышленного электрооборудования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Введение в техническую диагностику / Г.Ф. Верзаков [и др.]; отв.ред. К.Б. Карандеев. М.: Энергия, 1968. 224 с.
2. Гаврилова Т.А. Базы знаний интеллектуальных систем / Т.А. Гаврилова, В.Ф. Хорошевский. СПб. : Питер, 2000. 384 с.
3. Джексон П. Введение в экспертные системы. М. : Издательский дом “Вильямс”, 2001. 624с.
4. Дунаев М.П. Экспертные системы для наладки электропривода. Иркутск: ИрГТУ, 2004. 138 с.
5. Мозгалевский А.В. Диагностирование электронных систем / А.В. Мозгалевский, В.П. Калявин, Г.Г. Костанди. Л.: Судостроение, 1984. 224 с.
6. Мозгалевский А.В. Системы диагностирования судового оборудования / А.В. Мозгалевский, В.П. Калявин. Л.: Судостроение, 1987. 224 с.
7. Пархоменко П.П. Основы технической диагностики: (Оптимизация алгоритмов диагностирования, аппаратурные средства) / П.П. Пархоменко, Е.С. Согомонян. М.: Энергия, 1981. 320 с.
8. Техническая диагностика: сб. науч. тр./ I всесоюзное совещание по технической диагностике; под ред. П.П. Пархоменко. М.: НАУКА, 1972. 368 с.
9. Фандеев В.П. Модели, методы и алгоритмы оптимизации диагностирования микромеханических датчиков: учеб. пособие / В.П. Фандеев, В.С. Волков, И.Н. Баринов. Пенза, 2013. 56 с.
10. Дунаев М.П., Дунаев А.М. Экспертный комплекс для наладки преобразователей частоты/ XX Байкальская Всеросс. Конф. «Информационные и математические технологии в науке и управлении»: труды, т.3. - Иркутск: ИСЭМ СО РАН, 2015.- С.20-28.

UDK 004.023

**THE APPROACH TO THE STRUCTURING OF KNOWLEDGE BASE
OF EXPERT SYSTEM FOR ELECTRIC EQUIPMENT DIAGNOSIS**

Sergey V. Bakhvalov

Ph.D in Engineering, Assistant Professor, Head of the department "Automated Systems"
Irkutsk National Research Technical University (INRTU)
83, Lermontov Str., 664074, Irkutsk, Russia, e-mail: bsv@istu.edu

Andrey M. Dunaev

Postgraduate student, Irkutsk National Research Technical University (INRTU)
83, Lermontov Str., 664074, Irkutsk, Russia, e-mail: west-ma@yandex.ru

Mikhail P. Dunaev

DEng., Professor, Professor of the department "Electric Drive and Electric Transport"
Irkutsk National Research Technical University (INRTU)
83, Lermontov Str., 664074, Irkutsk, Russia, e-mail: mdunaev10@mail.ru

Annotation. The paper considered the approach to the structuring of knowledge base of expert system for electric equipment diagnosis. This approach is considered for diagnostic of electric equipment combines methods of traditional technical diagnostic and expert systems technology. Follow steps are described: exploration task definition, contemplation of investigation directions, conclusions about research results.

Keywords: technical diagnosis, optimal diagnosis algorithm, combinatorial optimization.

References

1. Verzakov G.F. Vvedenie v tehniceskuy diagnostiku. [Introduction to technical diagnostic]. Moscow, Energia Publ., 1968. 224 p. (in Russian).
2. Gavrilova T.A., Horoshevskij V.F. Knowledge base of intellect systems. SPB, "Piter", 2000. 384 p.
3. Jackson P. Vvedenie v jekspertnye sistemy [Introduction to expert systems]. Moscow, "Williams", 2001. 624 p. (in Russian).
4. Dunaev M.P. Ekspertnie sistemi dlja naladki elektroprivoda [Expert systems for arrange of electric drive]. Irkutsk, ISTU Publ., 2004. 138 p. (in Russian).
5. Mozgalevsky A.V. Diagnostirovanie elektronih system. [Diagnostic of electronic systems]. Leningrad, Sudostroenie Publ., 1984. 224 p. (in Russian).
6. Mozgalevsky A.V. Sistemi diagnostirovania sudovogo oborudovania. [Ship equipment diagnosis systems]. Leningrad, Sudostroenie Publ., 1987. 224 p. (in Russian).
7. Parhomenko P.P. Osnovi tehniceskoi diagnostiki. [Base of technical diagnostic]. Moscow, Energia Publ., 1981. 320 p. (in Russian).
8. Tehniceskaj diagnostika. [Technical diagnostic]. Edition by Parhomenko P.P. Moscow, Nauka Publ., 1972. 368 p. (in Russian).
9. Fandeev V.P. Modeli, metodi i algoritmi optimizacii diagnostirovania mikromehanicheskikh datchikov. [Models, methods and algorithms of diagnostic optimization of micromechanic detectors]. Penza Publ., 2013. 56 p. (in Russian).
10. Dunaev M.P., Dunaev A.M. Jekspertnyj kompleks dlja naladki preobrazovatelej chastoty. [Expert system for adjustment of frequency converters] / XX Bajkal'skaja Vseross. konf. "Informacionnye i matematicheskie tehnologii v nauke i upravlenii" = XX Baikal All-Russian Conference "Information and mathematical technologies in science and management" : proceedings, vol. 3. - Irkutsk: MESI SB RAS, 2015.- Pp.20-28 (in Russian).

УДК 519.714

МЕТОД ИДЕНТИФИКАЦИОННОГО СИНТЕЗА УПРАВЛЕНИЯ И ЕГО ПРИМЕНЕНИЕ К МОБИЛЬНОМУ РОБОТУ

Дивеев Асхат Ибрагимович

д.т.н., профессор, зав. сектором «Проблемы кибернетики», Федеральное государственное учреждение Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» Российской академии наук, 119333 г. Москва, ул. Вавилова 44, e-mail: aidiveev@mail.ru

Софронова Елена Анатольевна

к.т.н., доцент, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования Российский университет дружбы народов 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д.6, e-mail: sofronova_ea@mail.ru

Шмалько Елизавета Юрьевна

к.т.н., научный сотрудник,
Федеральное государственное учреждение Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» Российской академии наук,
119333 г. Москва, ул. Вавилова 44, e-mail: e.shmalko@gmail.com

Аннотация. В статье рассмотрена задача идентификационного синтеза управления, когда для объекта управления, математическая модель которого не известна, необходимо построить систему управления, обеспечивающую достижение объектом цели управления из разных начальных состояний с оптимальным значением заданного критерия качества. Для решения задачи используем вычислительный метод сетевого оператора, который позволяет находить математические выражения с помощью эволюционного поискового алгоритма. На первом этапе методом сетевого оператора решаем задачу идентификации и находим математическую модель объекта управления. На втором этапе решаем задачу синтеза управления, также методом сетевого оператора, для идентифицированной математической модели объекта управления. В качестве примера рассмотрена задача идентификационного синтеза управления мобильным роботом.

Ключевые слова: структурная идентификация, синтез управления, метод сетевого оператора, генетический алгоритм.

Введение. Большое разнообразие робототехнических устройств и огромное количество задач, которые должны решать роботы сегодня, приводит исследователей к необходимости постоянно строить или выводить математические модели роботов и на основании полученных моделей конструировать системы управления роботами для достижения поставленных целей с оптимальными значениями критериев качества. Построение математической модели объекта управления и создание системы управления по полученной модели являются обязательными этапами технологического процесса проектирования систем автоматического управления для любых объектов. Большинство этапов этого технологического процесса часто выполняют вручную, за исключением этапа моделирования и несложных расчетов, например, нахождения корней уравнений. Очевидное

противоречие, которое заключается в том, что создание системы, обеспечивающей автоматизацию процесса достижения цели управления, происходит вручную, т.е. без автоматизации, стало заметным только сегодня, когда потребовалось создание большого количества систем автоматического управления.

В настоящей работе представлены специальные численные методы для решения задач идентификации и синтеза управления. Данные методы позволят автоматизировать самые трудоемкие этапы технологического процесса создания систем автоматического управления, этапы построения математической модели объекта управления и синтеза системы управления. Оба численных метода для решения задач идентификации и синтеза используют относительно новый метод символьной регрессии, метод сетевого оператора [1-4]. Применяемый метод сетевого оператора разработан в 2006 году, он позволяет находить с помощью эволюционного алгоритма математическое выражение, закодированное в форме целочисленной матрицы. В работе мы применяем численный метод сетевого оператора для идентификации и синтеза управления мобильным роботом.

1. Методы символьной регрессии. Методы символьной регрессии появились после создания в 1992 году генетического программирования [5], в котором был использован генетический алгоритм для автоматического поиска кода программы. Поскольку программный код способен закодировать любое математическое выражение, то методы символьной регрессии используют для поиска математического выражения в виде кода вложенных друг в друга композиций элементарных функций. Сейчас известны следующие методы символьной регрессии: метод грамматической эволюции [6], в котором код искомого выражения ищут в универсальной форме Бэкуса-Наура, метод аналитического программирования [7], в котором код математического выражения ищут в виде набора целых чисел и метод сетевого оператора [1-4]. В настоящий период известно множество разновидностей методов символьной регрессии: индуктивное генетическое программирование, Декартово генетическое программирование, вариационное генетическое и аналитическое программирование, логический и многослойный сетевые операторы и др.

2. Метод сетевого оператора. В настоящей работе для решения задач идентификации и синтеза управления используем метод сетевого оператора.

Рассмотрим пример кодирования математического выражения с помощью сетевого оператора. Пусть необходимо закодировать математическое выражение

$$\begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(x_1 + \sin(x_2 + q_2)) \\ e^{-q_1 x_1 + q_2} \cos(x_2^2 - x_1^2) \end{bmatrix}.$$

Пусть определены множества аргументов математического выражения и функций с одним и двумя аргументами

$$F_0 = \{f_{0,1} = x_1, f_{0,2} = x_2, f_{0,3} = q_1, f_{0,4} = q_2\},$$

$$F_1 = \{f_{1,1}(z) = z, f_{1,2}(z) = -z, f_{1,3}(z) = e^z, f_{1,4}(z) = z^2, f_{1,5}(z) = \sin(z), f_{1,6}(z) = \sin(z)\},$$

$$F_2 = \{f_{2,1}(z_1, z_2) = z_1 + z_2, f_{2,2}(z_1, z_2) = z_1 z_2\}.$$

Сетевой оператор представляет собой ориентированный граф, по которому вычисляют математическое выражение. Узлы-источники графа связаны с аргументами математического выражения, остальные узлы с функциями с двумя аргументами, а дуги

графа с функциями с одним аргументом. Сетевой оператор для рассматриваемого математического выражения представлен на рис. 1.

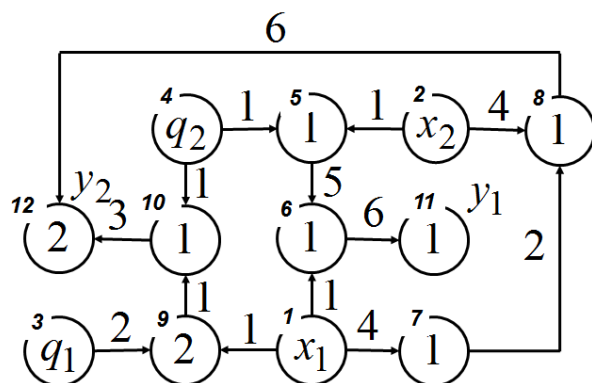


Рис. 1. Сетевой оператор математического выражения

В верхних частях узлов указаны их номера. С учетом номеров узлов в графе матрица сетевого оператора имеет вид:

$$\Psi = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 4 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 4 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 5 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 6 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 6 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 2 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 3 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 2 \end{bmatrix}.$$

Для вычисления математического выражения по матрице сетевого оператора первоначально задаем вектор узлов, размерность которого совпадает с числом узлов в графе сетевого оператора. Если компонента вектора узлов соответствует узлу-источнику, то значение данной компоненты вектора узлов равно значению соответствующего аргумента математического выражения, иначе значение компоненты вектора узлов соответствует единичному элементу указанной в узле функции с двумя аргументами. Заметим, что единичным элементом функции сложения, $f_{2,1}(z_1, z_2) = z_1 + z_2$, является ноль, а функции умножения, $f_{2,2}(z_1, z_2) = z_1 z_2$, единица. В результате получаем следующее начальное значение вектора узлов:

$$\mathbf{z}^{(0)} = [x_1 \ x_2 \ q_1 \ q_2 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 1]^T.$$

Вычисления по матрице сетевого оператора осуществляем по формуле

$$z_j^{(i)} = \begin{cases} f_{2,\psi_{j,j}}(f_{1,\psi_{i,j}}(z_i^{(i-1)}), z_j^{(i-1)}), & \text{если } \psi_{ij} \neq 0 \\ z_j^{(i-1)} & \text{- иначе} \end{cases}, \quad i = 1, \dots, L-1, \quad j = i+1, \dots, L, \quad (1)$$

где L – число узлов в графе сетевого оператора, в примере $L = 12$.

В результате вычислений по формуле (1) получаем:

$$y_1 = z_{11}^{(11)}, \quad y_2 = z_{12}^{(11)}.$$

3. Идентификация модели мобильного робота. Рассмотрим пример решения задачи идентификации модели мобильного робота LEGO Mindstorms NXT 2.0 (см. рис. 2) методом сетевого оператора.



Рис. 2. Робот LEGO Mindstorms NXT 2.0

Робот имеет 4 колеса с радиусом $R = 1$ см. Расстояния, пройденные колесами робота, рассчитываем по формулам:

$$x_1 = R\varphi_1, \quad x_3 = R\varphi_2, \quad (2)$$

где x_1, x_3 – расстояния, пройденные, соответственно, левой и правой парами колес, φ_1, φ_2 – углы вращения колес в радианах.

Для получения исходных данных задаем управление в виде функций времени

$$u_1^* = [100 \operatorname{sgn}(t - 0,5)], \quad u_2^* = [100 \operatorname{sgn}(t - 0,8)],$$

где

$$[a] = \begin{cases} \lfloor a \rfloor, & \text{если } | \lfloor a \rfloor - a | < 0,5 \\ \lceil a \rceil, & \text{иначе} \end{cases}.$$

Считаем, что известны размерность модели объекта управления $n = 4$ и размерность вектора управления $m = 2$.

Ищем модель объекта управления в виде системы обыкновенных дифференциальных уравнений. Согласно методике сетевого оператора [1-4] задаем базисное решение в виде:

$$\dot{x}_1 = x_2, \quad (3)$$

$$\dot{x}_2 = (q_1 x_1 + q_2 x_2 + q_3 x_3 + q_4 x_4 + q_5 u_1 + q_6 u_2) / M, \quad (4)$$

$$\dot{x}_3 = x_4, \quad (5)$$

$$\dot{x}_4 = (q_1 x_1 + q_2 x_2 + q_3 x_3 + q_4 x_4 + q_5 u_1 + q_6 u_2) / M, \quad (6)$$

где q_i – искомые постоянные параметры, $i = 1, \dots, 6$, $M = 1,5$ кг.

Экспериментальные данные представлены в таблице 1.

Поиск структуры в форме сетевого оператора и параметров q_i , $i = 1, \dots, 6$ математических выражений выполняли генетическим алгоритмом со следующими параметрами: размерность популяции – 256, количество скрещиваемых пар в поколении – 64, количество поколений – 256, число поколений между эпохами – 30, длина структурной части хромосомы – 8, число постоянных параметров – 6, количество бит под целую часть

параметра – 2, количество бит под дробную часть параметра – 6, вероятность мутации – 0,7, шаг интегрирования – 0,001, размерность матрицы сетевого оператора – 22×22. Расчет проводился на программном комплексе NOP4C-I для идентификации систем управления методом сетевого оператора, разработанном на кафедре кибернетики и мехатроники РУДН. Время расчета составляло 2,5 часа на ПК с частотой процессора 2,2 ГГц, тип процессора Intel Core i5.

Таблица 1. Экспериментальные данные

№	t, c	\tilde{x}_1, cm	\tilde{x}_3, cm	u_1^*	u_2^*
1	0	0	0	-100	-100
2	0,1	-0,90408	-0,88837	-100	-100
3	0,2	-2,41902	-2,43822	-100	-100
4	0,3	-4,07359	-4,11374	-100	-100
5	0,4	-5,77703	-5,83638	-100	-100
6	0,5	-6,75093	-7,56076	0	-100
7	0,6	-6,1994	-9,20137	100	-100
8	0,7	-4,98989	-10,8035	100	-100
9	0,8	-3,63377	-11,6396	100	0
10	0,9	-2,2218	-10,992	100	100
11	1	-0,68591	-9,67959	100	100
12	1,1	0,954695	-8,20479	100	100
13	1,2	2,624975	-6,67413	100	100
14	1,3	4,310963	-5,00734	100	100
15	1,4	5,986479	-3,24107	100	100
16	1,5	7,693411	-1,44687	100	100
17	1,6	9,409069	0,34732	100	100
18	1,7	11,11774	2,13977	100	100
19	1,8	12,81595	3,9235	100	100
20	1,9	14,52986	5,707226	100	100
21	2	16,2525	7,501425	100	100

В результате поиска была получена следующая модель объекта управления:

$$\dot{x}_1 = x_2, \tag{7}$$

$$\dot{x}_2 = f_2(x_1, x_2, x_3, x_4, u_1, u_2) / M, \tag{8}$$

$$\dot{x}_3 = x_4, \tag{9}$$

$$\dot{x}_4 = f_4(x_1, x_2, x_3, x_4, u_1, u_2) / M, \tag{10}$$

где

$$f_2(x_1, x_2, x_3, x_4, u_1, u_2) = \operatorname{sgn}(x_1)\sqrt{|x_1|} - x_2 + q_2 - q_2^3 + \cos(x_4) + \cos(q_4) + (\operatorname{sgn}(x_1)\sqrt{|x_1|} |x_2 q_2|)^3 + \operatorname{sgn}(x_4 q_4 (q_5 - q_5^3))\sqrt{|x_4 q_4 (q_5 - q_5^3)|} + a + \cos(d), \tag{11}$$

$$a = \cos(x_4) + \operatorname{sgn}(x_1)\sqrt{|x_1|} |q_1 \cos(x_4) q_6^2 + \operatorname{sgn}(x_1)\sqrt{|x_1|} |x_2 q_2 + \sqrt{|q_1} x_3 q_3 + x_4 q_4 (q_5 - q_5^3) + u_1 q_5 + u_2 q_6,$$

$$d = q_2 - q_2^3 + \operatorname{sgn}(x_4)\sqrt{|x_4|} + \cos(q_6) + \operatorname{sgn}(x_1)\sqrt{|x_1|} |q_1 \cos(x_4) q_6^2 +$$

$$\begin{aligned}
 & + \operatorname{sgn}(x_1)\sqrt{|x_1|}x_2q_2 - (\operatorname{sgn}(x_1)\sqrt{|x_1|}x_2q_2)^3 + \sqrt{q_1}x_3q_3 + x_4q_4(q_5 - q_5^3) + u_1q_5 + u_2q_6, \\
 f_4(x_1, x_2, x_3, x_4, u_1, u_2) & = \cos(x_1) + \cos(q_5) - \operatorname{sgn}(x_1)\sqrt{|x_1|}x_2q_2 + \cos(\sqrt{q_1}x_3q_3) + \\
 & + \operatorname{sgn}(u_2)\sqrt{|u_2q_6|} + d + \operatorname{sgn}(f_2(x_1, x_2, x_3, x_4, u_1, u_2))\sqrt{|f_2(x_1, x_2, x_3, x_4, u_1, u_2)|}, \quad (12) \\
 q_1 & = 0,0469, \quad q_2 = 3,984, \quad q_3 = 3,984, \quad q_4 = 3,75, \quad q_5 = 2,25, \quad q_6 = 3,984.
 \end{aligned}$$

Результаты моделирования полученной модели объекта представлены на рис. 3. Крестиками отмечены экспериментальные данные из таблицы 1, сплошной линией – полученное в результате идентификации решение.

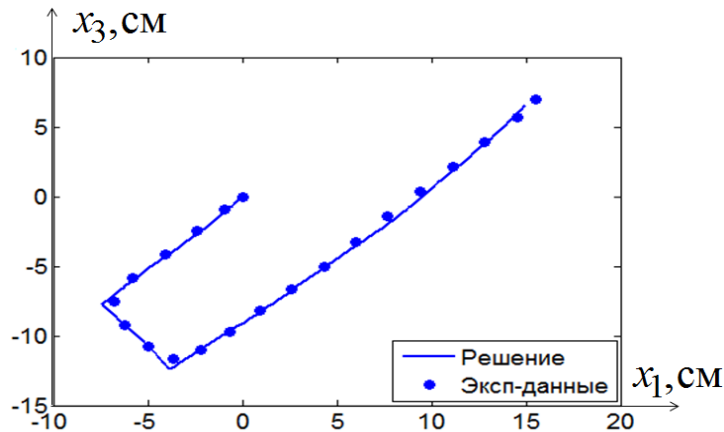


Рис. 3. Результаты моделирования идентифицированной модели

4. Решение задачи синтеза управления. Для решения задачи синтеза задаем траектории движения робота в виде функций времени:

$$\hat{x}_1(t) = 35 \sin(0,4t), \quad \hat{x}_2(t) = 14 \cos(0,4t), \quad \hat{x}_3(t) = 10 \sin(\pi t / 2), \quad \hat{x}_4(t) = 5\pi \cos(\pi t / 2). \quad (13)$$

Базисное решение имело следующий вид:

$$u_1 = q'_1x_1 + q'_2x_2, \quad u_2 = q'_3x_3 + q'_4x_4. \quad (14)$$

Для синтеза была выбрана матрица сетевого оператора размерностью \$16 \times 16\$. Остальные параметры генетического алгоритма совпадали с параметрами, выбранными при решении задачи идентификации. В результате было получено следующее решение:

$$u_i = \begin{cases} \operatorname{sgn}(y_i)100, & \text{если } |y_i| \geq 100 \\ y_i & - \text{иначе} \end{cases}, \quad i = 1, 2, \quad (15)$$

где

$$\begin{aligned}
 y_1 & = -q'_1 - x_4q_4 + ((x_1q_1)\cos(q_4) + x_4q_4 - (x_4q_4)^3)^3, \\
 y_2 & = \cos(x_2q_2) + \operatorname{sgn}(x_3)\sqrt{|x_3|}q_3 \cos(x_1q_1 \cos(q_4)) + x_4q_4 - (x_4q_4)^3, \\
 q'_1 & = 0,2343, \quad q'_2 = 1,9843, \quad q'_3 = 1,9843, \quad q'_4 = 0,0468.
 \end{aligned}$$

На рис. 4 приведены результаты моделирования полученной системы управления. На рисунках штрихпунктирной линией обозначены заданные траектории (13), а сплошной линией – решения системы уравнений (7) - (10) с управлением (15).

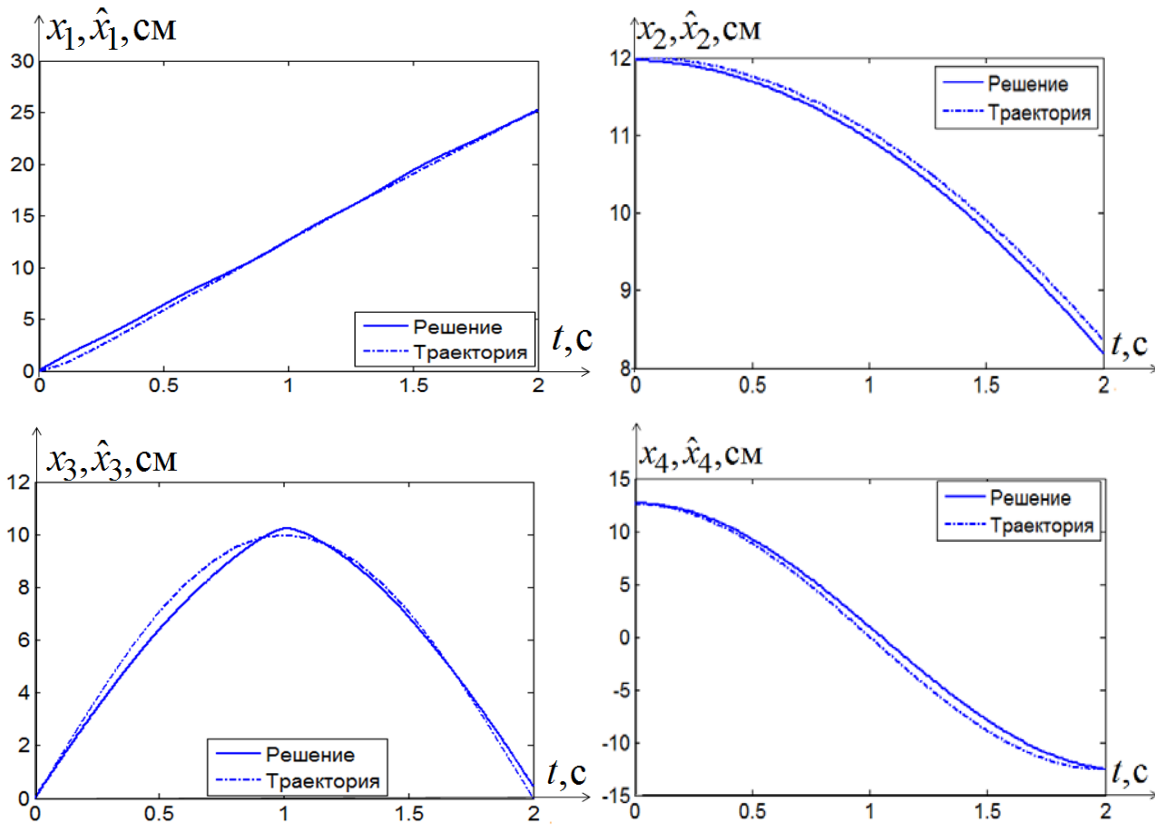


Рис. 4. Результаты моделирования синтезированной системы управления

Как видно из графиков, полученная при идентификации математическая модель позволяет синтезировать систему управления роботом LEGO NXT, которая обеспечивает качественное движение по заданной траектории

5. Натурные испытания. Для проверки достоверности решения задачи идентификационного синтеза управления полученное управление (15) было реализовано в памяти бортового процессора робота LEGO Mindstorms NXT 2.0. Результаты натурных испытаний приведены на рис. 5. Как видно из результатов испытаний, погрешность не превысила 4%.

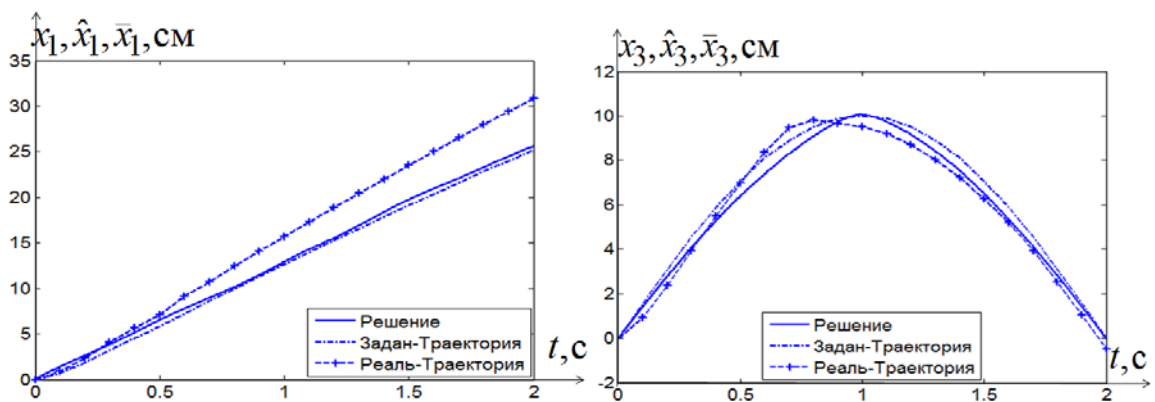


Рис. 5. Результаты натурных испытаний

Заключение. В работе приведен метод решения задачи идентификационного синтеза системы управления. Для решения задачи применен метод сетевого оператора, который на первом этапе был использован для решения задачи идентификации математической модели объекта управления, а на втором этапе – для синтеза управления для модели объекта, полученной на первом этапе идентификации. Натурные эксперименты показали достоверность полученных результатов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дивеев А.И. Метод сетевого оператора. - М.: Изд-во ВЦ РАН, 2010. 178 с.
2. Дивеев А.И. Численный метод сетевого оператора для синтеза системы управления с неопределенными начальными значениями// Известия РАН. Теория и системы управления. 2012, № 2. С. 63-78.
3. Дивеев А.И., Софронова Е.А. Метод сетевого оператора и его применение в задачах управления. - М.: РУДН, 2012. 182 с.
4. Diveev A.I., Sofronova E.A. The Network Operator Method for Search of the Most Suitable Mathematical Equation // Bio-Inspired Computational Algorithms and Their Applications – InTech, 2012 – Ch.2, pp.19-42. ISBN 978-953-51-0214-4.
5. Koza J.R., Genetic Programming: On the Programming of Computers by Means of Natural Selection. Cambridge, Massachusetts, London, MA: MIT Press, 1992, 819 p.
6. O’Neil, M. Automatic Programming in an Arbitrary Labguage: Evolving Programs in Grammatical Evolution: PhD thesis. University of Limerick, 2001 – 163 p.
7. Zelinka I: Analytic programming by Means of Soma Algorithm. Mendel ’02 In: Proc. 8th International Conference on Soft Computing Mendel’02, Brno, Czech Republic, 2002, pp. 93-101.

UDK 519.714

METHOD OF IDENTIFICATIONAL SYNTHESIS CONTROL AND ITS APPLICATION FOR MOBILE ROBOT

Askhat I. Diveev

Dr. Sc., Professor, Head of Problems of Cybernetics Sector,
Federal Research Center “Computer science and Control” of Russian Academy of Sciences,
119333, Moscow, Vavilova str., 44, e-mail: aidiveev@mail.ru

Elena A. Sofronova

Ph. D., associate professor, Peoples’ Friendship University of Russia
117198, Moscow, Miklukho-Maklaya str., 6, e-mail: sofronova_ea@pfur.ru

Elizaveta Yu. Shmalko

Ph. D., scientific worker,
Federal Research Center “Computer science and Control” of Russian Academy of Sciences,
119333, Moscow, Vavilova str., 44, e-mail: e.shmalko@gmail.com

Annotation. A problem of identification control synthesis is considered. A mathematical model of control object is unknown. It is necessary to develop a control

system that makes the object reach its goal from different initial conditions with optimal value of quality criterion. Firstly, we solve an identification problem and find mathematical model of control object. Secondly, we solve a control synthesis problem for identified mathematical model. Both problems are solved by a network operator method, which allows using an evolutionary algorithm to find the structure and parameters of the mathematical expressions. An example of identification control synthesis for mobile robot is given.

Keywords: structure identification, control synthesis, network operator method, genetic algorithm.

References

1. Diveev A.I. Metod setevogo operatora [Network operator method]. Moscow: CC RAS. 2010. 178 p. (in Russian)
2. Diveev A.I. Chislennyj metod setevogo operatora dlja sinteza sistemy upravlenija s neopredelennymi nachal'nymi znachenijami [A Numerical Method for Network Operator for Synthesis of a Control System with Uncertain Initial Values]. Izvestija RAN. Teorija i sistemy upravlenija = News of RAS. Theory and control systems. 2012, vol. 51. № 2. Pp. 228–243 (in Russian)
3. Diveev A.I., Sofronova E.A. Metod setevogo operatora i ego primenenie v zadachah upravlenija [Network operator method and its application in control problems]. Moscow, RPFU publ. 2012. 182 p. (in Russian)
4. Diveev A.I., Sofronova E.A. The Network Operator Method for Search of the Most Suitable Mathematical Equation // Bio-Inspired Computational Algorithms and Their Applications – InTech, 2012, Ch.2, pp.19-42. ISBN 978-953-51-0214-4.
5. Koza J.R., Genetic Programming: On the Programming of Computers by Means of Natural Selection. Cambridge, Massachusetts, London, MA: MIT Press, 1992, 819 p.
6. O'Neill M. Automatic Programming in an Arbitrary Language: Evolving Programs in Grammatical Evolution: PhD thesis. University of Limerick, 2001, 163 p.
7. Zelinka I: Analytic programming by Means of Soma Algorithm// Mendel '02 In: Proc. 8th International Conference on Soft Computing Mendel'02, Brno, Czech Republic, 2002, pp. 93-101.

УДК 51-74

**ИССЛЕДОВАНИЕ СЛОЖНОГО УПРУГОПЛАСТИЧЕСКОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ
МЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ С НЕСКОЛЬКИМИ СТЕПЕНЯМИ СВОБОДЫ
С ПОМОЩЬЮ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА ***

Бержинский Юрий Анатольевич

К.г.-м. н., зав. лабораторией сейсмостойкого строительства, Институт земной коры
Сибирского отделения Российской академии наук, 664034 Иркутск, ул. Лермонтова 128,
e-mail: berj@crust.irk.ru

Горнов Александр Юрьевич

Д.т.н., г.н.с, Институт динамики систем и теории управления имени В.М. Матросова
Сибирского отделения Российской академии наук, 664033 Иркутск, ул. Лермонтова 134,
e-mail: gornov@icc.ru

Финкельштейн Евгения Александровна

Программист, Институт динамики систем и теории управления имени В.М. Матросова
Сибирского отделения Российской академии наук, 664033 Иркутск, ул. Лермонтова 134,
e-mail: finkel@icc.ru

Ордынская Алиса Павловна

К.г.-м. н., с.н.с., Институт земной коры Сибирского отделения Российской академии наук,
664034 Иркутск, ул. Лермонтова 128

Аннотация. В работе рассматривается модификация модели сложного упругопластического деформирования механической системы с несколькими степенями свободы. Поведение конструкции определяется упругой, упругопластической и пластической стадиями работы, учитывается эффект затухания по Релею. Реализована программа определения пластических деформаций при воздействии максимального расчетного землетрясения. Приводятся результаты вычислительных экспериментов.

Ключевые слова: упругопластическая модель с несколькими степенями свободы, система дифференциальных уравнений, максимальное расчетное землетрясение.

Введение. Аппарат математического моделирования широко применяется в различных технических и экономических областях для проведения сценарных расчетов и получения первичной информации о процессе без проведения многочисленных натурных испытаний. В настоящей работе рассматривается задача определения пластических деформаций конструкции или ее частей в результате воздействия на нее сейсмических нагрузок при максимальном расчетном землетрясении (МРЗ). Согласно нормативным документам [4], расчеты строительных конструкций и сооружений с учетом сейсмических воздействий МРЗ необходимо проводить с использованием расчетных нелинейных моделей конструкции. Целью расчетов воздействия МРЗ является предотвращение глобального обрушения сооружения или его частей, создающего угрозу безопасности людей.

* Работа частично поддержана грантом РФФИ №15-07-03827.

В качестве модели используется основанная на предложенной профессором Ю.Л. Рутманом [3] модель сложного упругопластического деформирования механической системы с несколькими степенями свободы и силовыми характеристиками, соответствующими диаграммам Прандтля. В качестве сейсмологической информации используются записи движения грунта в виде акселерограмм реальных землетрясений, описываемых тремя статистически независимыми компонентами: двумя ортогональными горизонтальными и одной вертикальной. Библиотека акселерограмм содержит записи землетрясений, произошедших за период времени с 1991 по 2014 год в различных районах земли с магнитудами $M=6,1-8,0$ с максимальными значениями ускорений в $2-4 \text{ м/с}^2$.

1. Математическая модель. Математическая модель механической системы с двумя степенями свободы описывается уравнениями (1–3). Уравнения (1, 2) соответствуют состоянию системы в условиях упругой работы конструкции, а уравнения (1, 3) – упругопластической:

$$\begin{cases} M(\ddot{U}_X + \ddot{X}) = R_X \\ M(\ddot{U}_Y + \ddot{Y}) = R_Y, \end{cases} \quad (1)$$

$$\begin{cases} \dot{R}_X = D_{11} \cdot \dot{U}_X + D_{12} \cdot \dot{U}_Y \\ \dot{R}_Y = D_{21} \cdot \dot{U}_X + D_{22} \cdot \dot{U}_Y, \end{cases} \quad (2)$$

$$\begin{cases} \dot{R}_X = f_{11}(R_X, R_Y) \cdot \dot{U}_X + f_{12}(R_X, R_Y) \cdot \dot{U}_Y \\ \dot{R}_Y = f_{21}(R_X, R_Y) \cdot \dot{U}_X + f_{22}(R_X, R_Y) \cdot \dot{U}_Y, \end{cases} \quad (3)$$

в пластической стадии $\dot{R}_X = \dot{R}_Y = 0$.

\ddot{X}, \ddot{Y} – проекции ускорения основания конструкции на ось X и Y соответственно;

\ddot{U}_X, \ddot{U}_Y – проекции ускорения массы M конструкции относительно основания (относительные ускорения) на оси X и Y;

R_X, R_Y – проекции усилий взаимодействия между массой и конструкцией;

D_{ij} – коэффициенты матрицы жесткости, определяемые из упругого расчета сооружения по программе SCAD [7]; f_{ij} – коэффициенты зависимости между скоростями обобщенных перемещений и усилий.

Модель движения конструкции, описываемая уравнениями (1–3), справедлива при следующих допущениях, соответствующих постулатам теории пластического течения:

а) вектор обобщенных относительных скоростей $\dot{U} = \{\dot{U}_X, \dot{U}_Y\}$ представлен в виде:

$\dot{U} = \dot{U}^{(p)} + \dot{U}^{(e)}$, где $\dot{U}^{(p)} = \{\dot{U}_X^{(p)}, \dot{U}_Y^{(p)}\}$ – скорости перемещений, сопровождающиеся лишь пластическими деформациями; $\dot{U}^{(e)} = \{\dot{U}_X^{(e)}, \dot{U}_Y^{(e)}\}$ – скорости «упругих» перемещений;

б) вектор $\dot{U}^{(p)}$ – направлен по нормали к поверхности текучести (постулат Друкера);

в) вектор $\dot{U}^{(e)} = \{\dot{U}_X^{(e)}, \dot{U}_Y^{(e)}\}$ связан с вектором $\dot{R} = \{\dot{R}_X, \dot{R}_Y\}$ соотношением (2) в условиях упругой работы конструкции, и в состоянии текучести – соотношением (3).

1.2. Уравнение поверхности текучести для рассматриваемой модели с двумя степенями принято в виде эллипса:

$$\frac{R_x^2}{R_{Tx}^2} + \frac{R_y^2}{R_{Ty}^2} = 1, \quad (4)$$

где R_{Tx}, R_{Ty} – усилия, соответствующие предельному равновесию системы (превращению системы в механизм). Достижение значений проекций усилий взаимодействия между массой и конструкцией R_x, R_y и характеризует переход конструкции в фазу упругопластической работы.

Аналитическая аппроксимация этой поверхности текучести или ее части имеет вид:

$$F(R_x, R_y) = 0 \quad (5)$$

Из (5) и допущения (б) следует:

$$\frac{\partial F}{\partial R_x} \dot{R}_x + \frac{\partial F}{\partial R_y} \dot{R}_y = 0 \quad (6)$$

Производные $F(R_x, R_y)$ $F(R_x, R_y)$ по R_x и R_y обозначим через ψ_1 и ψ_2 :

$$\psi_1 = F'_{R_x} = \frac{\partial F}{\partial R_x} = \frac{2R_x}{R_{Tx}^2}, \quad \psi_2 = F'_{R_y} = \frac{\partial F}{\partial R_y} = \frac{2R_y}{R_{Ty}^2}. \quad (7)$$

1.3. Коэффициенты f_{ij} в уравнениях движения при упругопластической работе конструкции (1, 3) определяются из уравнения поверхности текучести конструкции (5) и производных (7) по формулам (8):

$$\begin{aligned} f_{11} &= \frac{\psi_2^2 (D_{11}D_{22} - D_{12}^2)}{D_{22}\psi_2^2 + 2\psi_1\psi_2 D_{12} + D_{11}\psi_1^2}, \\ f_{12} &= f_{21} \frac{\psi_1\psi_2 (D_{11}D_{22} - D_{12}^2)}{D_{22}\psi_2^2 + 2\psi_1\psi_2 D_{12} + D_{11}\psi_1^2}, \\ f_{22} &= \frac{\psi_1^2 (D_{11}D_{22} - D_{12}^2)}{D_{22}\psi_2^2 + 2\psi_1\psi_2 D_{12} + D_{11}\psi_1^2}, \end{aligned} \quad (8)$$

где D_{ij} – жесткостные параметры, соответствующие допущению (в).

Рассматриваемая математическая модель упругопластического деформирования, в отличие от модели из [3], включает также дополнительная стадию пластической работы, которая характеризуется обнулением скорости изменения усилий $\dot{R}_x = \dot{R}_y = 0$, может следовать за упругопластической стадией и наступает при пересечении поверхности второго, внешнего эллипса

$$\frac{R_x^2}{(R_{Tx}^P)^2} + \frac{R_y^2}{(R_{Ty}^P)^2} = 1,$$

такого, что $R_{Tx}^P = \alpha R_{Tx}, R_{Ty}^P = \alpha R_{Ty}$, $\alpha > 1$ и определяется эмпирически. Обратный переход в стадию упругой работы происходит при разгрузке конструкции, т.е. изменении направления скорости. Общая схема расчета реакции здания на сейсмические воздействия в рамках предложенной модели отражена в блок-схеме на рис. 1.

1.4. Преобразование уравнений движения к системе обыкновенных дифференциальных уравнений. Для решения системы уравнений используется их преобразование к системе из шести обыкновенных дифференциальных уравнений с разрывами в правых частях:

$$\begin{aligned} \dot{y}_1 &= y_2, \\ \dot{y}_2 &= -\frac{(y_5 + C_x y_2)}{M} - \ddot{X}(t), \\ \dot{y}_3 &= y_4, \\ \dot{y}_4 &= -\frac{(y_6 + C_y y_4)}{M} - \ddot{Y}(t), \\ \dot{y}_5 &= \begin{cases} D \cdot (y_2, y_4)^T, & \text{если } \frac{y_5^2}{R_{TX}^2} + \frac{y_6^2}{R_{TY}^2} \leq 1, \\ f(y_5, y_6) \cdot (y_2, y_4)^T, & \text{если } \frac{y_5^2}{R_{TX}^2} + \frac{y_6^2}{R_{TY}^2} > 1 \text{ и } \frac{y_5^2}{(R'_{TX})^2} + \frac{y_6^2}{(R'_{TY})^2} < 1, \\ 0, & \text{если } \frac{y_5^2}{(R'_{TX})^2} + \frac{y_6^2}{(R'_{TY})^2} \geq 1. \end{cases} \end{aligned}$$

Вектор фазовых координат имеет следующий смысл: $y = (u_x, \dot{u}_x, u_y, \dot{u}_y, \bar{R}_x, \bar{R}_y)^T$, начальные значения нулевые $y(0) = (0, 0, 0, 0, 0, 0)^T$.

Во второе и четвертое уравнение введены коэффициенты C матрицы релейского затухания: $[C] = \alpha \cdot [M] + \beta \cdot [K]$, где $[M]$, $[K]$ и $[C]$ – соответственно матрица масс, жесткостей и затухания системы; α и β – коэффициенты, варьируя которые, можно приближенно подобрать желаемую величину затухания в нужном диапазоне частот [1].

2. Программа Динамика-МРЗ. Описанная методика расчета прочностного запаса конструкций была реализована в программе Динамика-МРЗ. Программа реализована на языке Си с использованием свободно распространяемой версии компилятора GCC и состоит из модуля постановки задачи, модуля загрузки данных сейсмических акселерограмм и модуля интегрирования системы обыкновенных дифференциальных уравнений.

В модуле постановки задачи задаются все необходимые константы (такие, как масса и жесткостные характеристики здания, условия текучести, затухания и др.), отрезок времени, для которого производится расчет, и собственно динамическая система. Здесь же вычисляются условия перехода между упругой, упругопластической и пластической стадиями в соответствии с блок-схемой, представленной на рис. 1. По желанию исследователя эти условия могут быть модифицированы или опущены, например, исключена стадия пластической работы конструкции.

Модуль загрузки данных извлекает из предварительно подготовленного файла в формате .txt массив сетки измерений по времени и массивы соответствующих сейсмических данных для двух или трех направлений. Загруженные данные масштабируются по координате с максимальной амплитудой до целых значений ускорений, соответствующих 7-ми, 8-ми и 9-ти баллам. На основе отмасштабированных данных строится непрерывная сплайн-интерполяция (используются кубические натуральные сплайны), которая позволит производить интегрирование системы на неравномерной сетке, не соответствующей исходным данным.

В модуль интегрирования включены стандартные алгоритмы интегрирования систем обыкновенных дифференциальных уравнений DOPRI5 и DOPRI8 [5], являющиеся реализацией метода Дорманда-Принса из семейства методов Рунге-Кутты соответственно 5-

го и 8-го порядков. Решения рассматриваемых уравнений содержат достаточно частые колебания, в зависимости от подаваемой на вход акселерограммы, это может привести к проявлению свойства жесткости системы дифференциальных уравнений, и, как следствие, плохому интегрированию, в т.ч. указанными, ориентированными на жесткость, методами. Для преодоления возможных проблем в данный модуль включен еще и алгоритм LSODA [6].

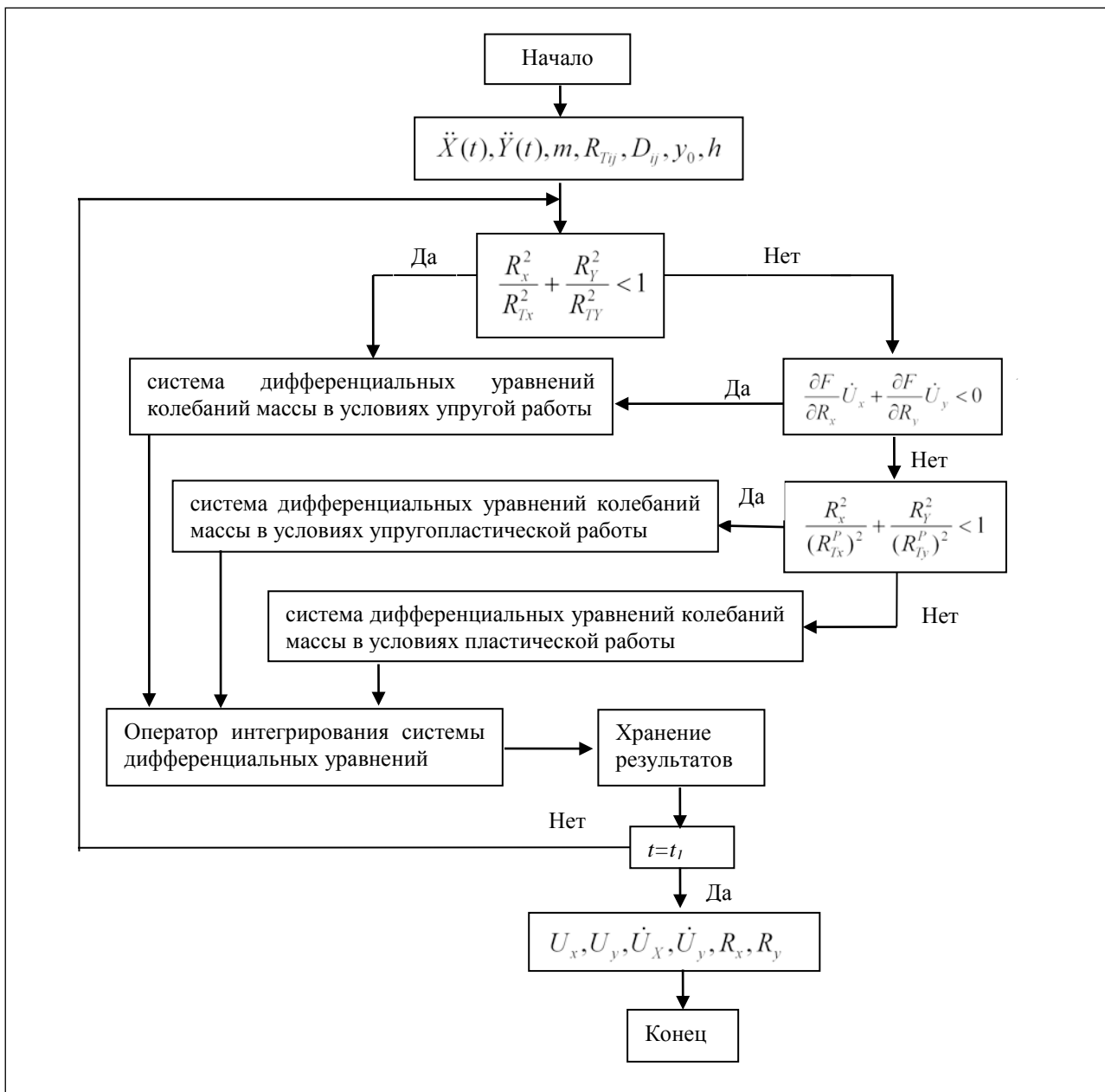


Рис. 1. Общая схема расчета реакции здания на сейсмические воздействия

3. Вычислительный эксперимент. Рассмотрим один из расчетов, в котором качестве сейсмического воздействия использована акселерограмма землетрясения, произошедшего 22.04.1991 в г. Лимон, Коста-Рика, записанная на сейсмостанции Cartago (80059).

Данные задающие характеристики здания следующие:

1. Жесткости при упругой работе $D_{11} = 2272 \text{ м/м}$, $D_{12} = D_{21} = -397 \text{ м/м}$, $D_{22} = 8982 \text{ м/м}$.

$$2. M = \frac{208 \text{ тс} \cdot \text{с}^2}{9,81 \text{ м}}$$

3. Значения усилий $R_{Tx} = 190$, $R_{Ty} = 63$, получены методом предельного равновесия,

$$R_{Tx}^p = 1,05 \cdot R_{Tx} = 199,5, \quad R_{Ty}^p = 1,05 \cdot R_{Ty} = 66,15.$$

4. Коэффициенты затухания $C_x = 26 \text{ тс/м}$, $C_y = 35 \text{ тс/м}$.

5. Длина интервала времени воздействия 80 с.

Эксперимент по каждому землетрясению включает расчет на 7, 8 и 9 баллов, т.е. акселерограмма масштабируется до 1,5м/с², 3м/с² и 6м/с² с учетом страховочного коэффициента для ответственных сооружений, равного 1,5. Поскольку рассматриваемое здание имеет несимметричные характеристики, горизонтальные ортогональные компоненты акселерограммы подаются в прямом и перпендикулярном направлениях (соответствующие столбцы таблицы 1 обозначены «0°/90°» и «90°/0°»). В ячейках таблицы указаны максимальные значения переменных, достигаемые на всем временном интервале.

Таблица 1. Расчет для акселерограммы землетрясения в г. Лимон, Коста-Рика.

	Интенсивность землетрясения по шкале MSK-64					
	7 баллов		8 баллов		9 баллов	
	0°/90°	90°/0°	0°/90°	90°/0°	0°/90°	90°/0°
\ddot{X} , м/с ²	1,5	1,18	2,96	2,5	5,98	5,02
\ddot{Y} , м/с ²	1,18	1,5	2,5	2,96	5,02	5,98
u_x , см	2,3295	2,0782	6,1156	5,7850	12,1916	12,7577
\dot{u}_x , м/с	0,2237	0,1813	0,5102	0,4176	0,79001	0,7867
u_y , см	0,7099	0,9712	2,2412	1,6047	7,5738	8,0735
\dot{u}_y , м/с	0,1269	0,1565	0,1804	0,2038	0,2963	0,4108
R_x , тс	52,1374	48,8255	108,7389	90,9183	133,7124	145,1515
R_y , тс	59,6261	63,1004	67,5041	63,2441	71,8401	75,9250
Остаточное перемещение по x , см	0,0019	0,0834	1,0383	2,4983	6,8959	2,1977
Остаточное перемещение по y , см	0,0175	0,5430	1,4205	0,9083	5,4977	6,6216
Коэффициент пластичности по x	0,28	0,25	0,73	0,7	1,45	1,5
Коэффициент пластичности по y	1,0	1,4	3,2	2,3	10,8	11,5

Коэффициент пластичности, отраженный в последних двух строках таблицы 1, равен отношению значения максимального перемещения к предельному упругому: $K = \frac{u_{\max}}{u^p}$.

Одним из критериев сейсмостойкости рассматриваемой конструкции является выполнение условия $K \leq 1$ [2]. Предельное упругое перемещение для данной конструкции и параметров $R_{Tx} = 190$, $R_{Ty} = 63$ равно $u_x^p = 8,36 \text{ см}$, $u_y^p = 0,7 \text{ см}$.

На рисунках 2-4 отражено изменение реакции взаимодействия между массой и конструкцией в плоскости (R_x , R_y) и поверхности текучести системы. Рис. 2 показывает

реакцию здания при 7-ми бальном землетрясении – элементы конструкции подвергаются только упругим воздействиям. На рис. 3 и рис. 4 приводятся графики расчетов для 8-ми и 9-ти баллов соответственно, в обоих случаях наступает не только упругопластическая, но и пластическая стадии, возникают необратимые изменения, создающие угрозу обрушения, которые, в частности, характеризуются остаточными перемещениями, отраженными в таблице. Так, при 9-ти бальном землетрясении остаточные перемещения, т.е. возможные трещины в конструкции или деформации каркаса, могут составить более 6-ти см.

Выводы на основании результатов, приведенных в табличной и графической формах:

1. Программа реализует нелинейную работу конструкции – достижение предела текучести происходит тем быстрее, чем интенсивнее воздействие (см. рис. 2-4).
2. Нелинейная работа конструкции подтверждается остаточными перемещениями.
3. По критерию прочности сейсмостойкость каркаса здания может быть оценена в 7 баллов. Запас прочности имеется в поперечном направлении X и недостаточен в продольном Y.
4. Полученные результаты не противоречат инженерным оценкам работы конструкции.

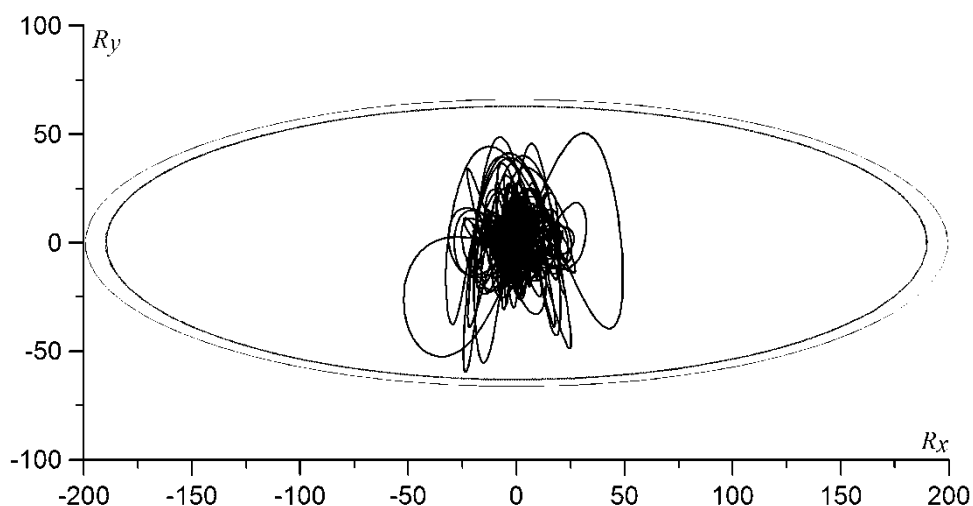


Рис. 2. Изменение реакций R_x , R_y , 7 баллов.

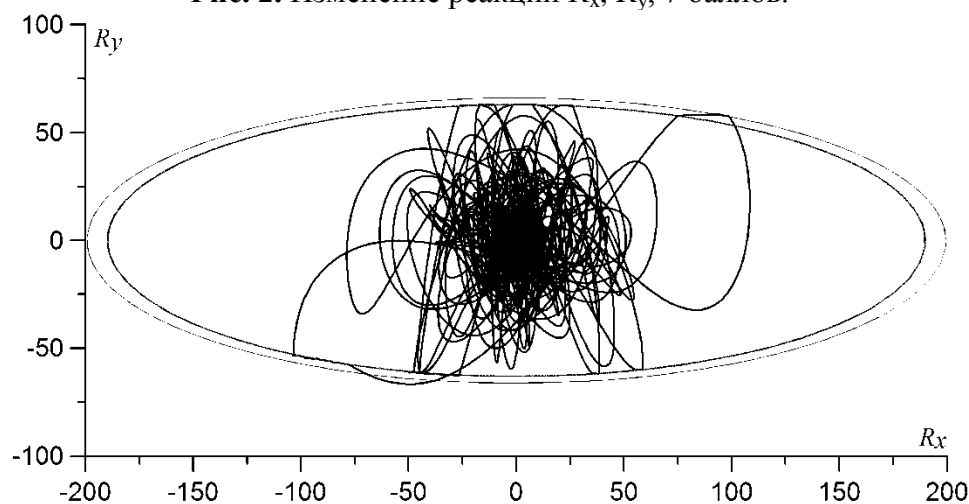


Рис. 3. Изменение реакций R_x , R_y , 8 баллов.

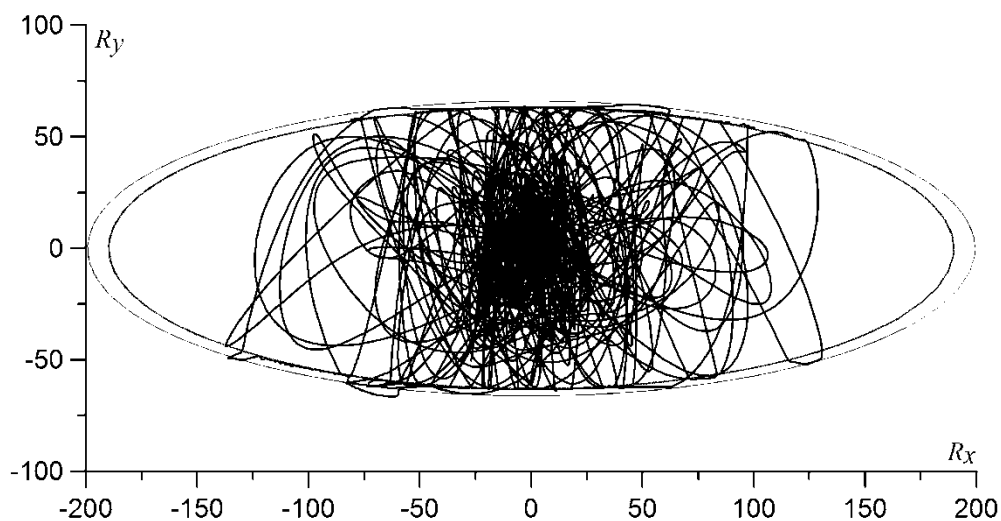


Рис. 4. Изменение реакций R_x , R_y , 9 баллов.

Заключение. Предложенная модификация математической модели сложного упругопластического деформирования механической системы с несколькими степенями свободы и силовыми характеристиками, соответствующими диаграммам Прандтля, описывает поведение конструкции в упругой, упругопластической и пластической стадиях работы, взаимный переход между которыми происходит при достижении проекциями реакций системы значений, находящихся на поверхности текучести, задаваемой для каждой конкретной конструкции в виде эллипса; учитывается эффект затухания по Релею. Проведенные с помощью реализованной программы определения пластических деформаций при воздействии максимального расчетного землетрясения, вычислительные эксперименты позволили собрать данные о поведении заданной конструкции при воздействиях землетрясений с различными особенностями и сделать предварительный прочностной анализ модельного здания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бирбраер А.Н. Расчет конструкций на сейсмостойкость/А.Н. Бирбраер.– СПб.: Наука, 1998.–255 с.
2. Бирбраер А.Н. Экстремальные воздействия на сооружения / А. Н. Бирбраер, А. Ю. Роледер. – СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2009. 594 с.
3. Рутман Ю.Л. Модель сложного упругопластического деформирования механической системы с несколькими степенями свободы // Вестник гражданских инженеров. 2012. № (1) 30. С. 117-120.
4. СП 14.13330.2011.Свод Правил. Строительство в сейсмических районах. Актуализированная редакция СНиП 11-7-81*. – М.: Минрегион России, 2011.–87 с.
5. Хайрер Э., Нерсетт С., Ваннер Г. Решение обыкновенных дифференциальных уравнений. Нежесткие задачи. — М.: Мир,1990. – 512 с.
6. P.N. Brown and A.C. Hindmarsh, "Reduced Storage Matrix Methods in Stiff ODE Systems," J. Appl. Math. Comp., 31 (1989), pp.40-91. 11.
7. SCAD Offise. Вычислительный комплекс SCAD. М.:Наука, 2004.

UDK 51-74

**THE PROGRAM FOR CALCULATION OF COMPLEX ELASTIC-PLASTIC
DEFORMATION OF MECHANICAL SYSTEMS WITH MULTIPLE DEGREES
OF FREEDOM**

Yuri A. Berzhinsky

PhD, head of the laboratory of earthquake engineering, Institute of the Earth's crust Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 128, Lermontov Str., 664033, Irkutsk, Russia, e-mail:

berj@crust.irk.ru

Alexander Yu. Gornov

Dr, chief researcher, Matrosov Institute for System Dynamics and Control Theory Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 134, Lermontov Str., 664033, Irkutsk, Russia, e-mail:

gornov@icc.ru

Evgeniya. A. Finkelstein

Programmer, Matrosov Institute for System Dynamics and Control Theory Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 134, Lermontov Str., 664033, Irkutsk, Russia, e-mail: finkel@icc.ru

Alisa P. Ordynskaya

PhD, senior researcher, Institute of the Earth's crust Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 128, Lermontov Str., 664033, Irkutsk, Russia

Annotation. This paper considers the modification of the model of elastic-plastic deformation of complex mechanical systems with multiple degrees of freedom. The construction behaviour is determined by elastic, elastic-plastic and plastic work stages, the Rayleigh fading is also included. Implemented a program that determines plastic deformations when structure exposed to the maximum design earthquake. The results of computational experiments is shown.

Keywords: elastic-plastic model with multiple degrees of freedom, system of differential equations, the calculation of the maximum design earthquake.

References

1. Birbraer A.N. Raschet konstruktsiy na seysmostoykost [Seismic Analysis of Structure]. Saint-Petersburg: Nauka, 1998. 255 p. (in Russian)
2. Birbraer A.N., Roleder A.J. Ekstremalnyye vozdeystviya na sooruzheniya [Extreme Actions on Structures]. Saint-Petersburg: Izd-vo Politekhn. un-ta, 2009. 594 p. (in Russian)
3. Rutman Y.L. Model slozhnogo uprugoplasticheskogo deformirovaniya mekhanicheskoy sistemy s neskol'kimi stepenyami svobody [Model of the complex elastic-plastic deformation of mechanical systems with multiple degrees of freedom]. Vestnik grazhdanskih inzhenerov. 2012. № (1) 30. Pp. 117-120 (in Russian)
4. SP 14.13330.2011.Svod Pravil. Stroitelstvo v sejsmicheskikh rajonah. Aktualizirovannaya redakciya SNIp 11-7-81*. – M.: Minregion Rossii, 2011. 87 p.
5. Hairer E.; Norsett S.P.; Wanner G. Solving Ordinary Differential Equations. I: Nonstiff Problems. Berlin etc., Springer-Verlag 1987. XIV, 480 p.
6. P.N. Brown and A.C. Hindmarsh, "Reduced Storage Matrix Methods in Stiff ODE Systems," J. Appl. Math. Comp., 31 (1989), pp.40-91. 11.
7. SCAD Offise. Vychislitel'nyj kompleks SCAD [Computer system SCAD]. M.: Nauka, 2004 (in Russian)

УДК 621.311

**УЧЕТ ТРАНСПОЗИЦИИ ПРОВОДОВ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ
ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ, СОЗДАВАЕМЫХ ВЫСОКОВОЛЬТНЫМИ
ЛИНИЯМИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ**

Закарюкин Василий Пантелеймонович

Д.т.н., профессор, ФГБОУ ВО «Иркутский государственный университет путей сообщения»,
664074, Иркутск, ул. Чернышевского, д. 15, e-mail: zakar49@mail.ru

Крюков Андрей Васильевич

Д.т.н., профессор, ФГБОУ ВО «Иркутский государственный университет путей сообщения»,
664074, Иркутск, ул. Чернышевского, д. 15; ФГБОУ ВО «Иркутский национальный
исследовательский технический университет», 664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова 83,
e-mail: and_kryukov@mail.ru

Лэ Ван Тхао

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

Аннотация. Электромагнитные поля высоковольтных линий электропередачи представляют собой опасную форму загрязнения окружающей среды. Ввиду трудностей экспериментальных измерений данные, отвечающие максимальным уровням напряженностей полей, получают расчетным путем на основе математического моделирования. Разработанные в ИрГУПС методы и средства моделирования синусоидальных режимов в фазных координатах позволяют провести при определении режимов электроэнергетических систем одновременные расчеты напряженностей электрического и магнитного полей, создаваемых многопроводными линиями электропередачи. На этой основе реализован новый, системный подход к анализу электромагнитной обстановки.

На уровень электромагнитных полей существенное влияние оказывает пространственное расположение проводов, которое меняется в циклах транспозиции. В статье приведены результаты компьютерного моделирования полей двухцепной и шестифазной линий электропередачи, показавшие важность учета транспозиции проводов.

Ключевые слова: электроэнергетические системы, линии электропередачи, электромагнитные поля, моделирование

Введение. Электромагнитные поля (ЭМП), которые создаются высоковольтными линиями электропередачи (ЛЭП), являются одной из опасных форм техногенного воздействия на окружающую природную среду [1-5]. Уровень этого загрязнения возрастает [2, 3]. Поэтому задача определения и нормирования уровней напряженностей ЭМП, создаваемых ЛЭП, приобретает в современных условиях особую актуальность. На реальных объектах электроэнергетики сложно получить экспериментальные данные [5], отвечающие максимальным напряженностям ЭМП, поэтому анализ ЭМП в электроэнергетических системах (ЭЭС) рекомендуется выполнять на основе математического моделирования.

Уровень электромагнитных полей, создаваемых ЛЭП, существенно зависит от взаимного расположения проводов различных фаз [1]. Высоковольтные ЛЭП, как правило, имеют значительную длину, и для выравнивания пофазных параметров применяют транспозицию проводов. Поэтому оценки напряженностей ЭМП, приведенные в работе [7] для конкретных ситуаций расположения проводов, не являются исчерпывающими.

Ниже приведены результаты компьютерного моделирования ЭМП двухцепной и шестифазной линий электропередачи, показавшие важность учета транспозиции проводов при моделировании электромагнитных полей.

1. Методика моделирования. Разработанные в ИрГУПСе методы и средства моделирования синусоидальных режимов в фазных координатах [8, 9] позволяют провести при определении режима ЭЭС одновременные расчеты напряженностей ЭМП, создаваемых многопроводными линиями электропередачи [4, 9...15]. При этом анализируемая ЛЭП рассматривается в неразрывной связи со сложной электроэнергетической системой. На этой основе может быть реализован новый, системный подход к анализу электромагнитной обстановки на объектах электроэнергетики.

2. Результаты моделирования. Моделирование схем шестифазной [7] и двухцепной линий электропередачи, приведенных на рис. 1 и 2, осуществлялось с помощью программного комплекса Fazonord [8, 9].

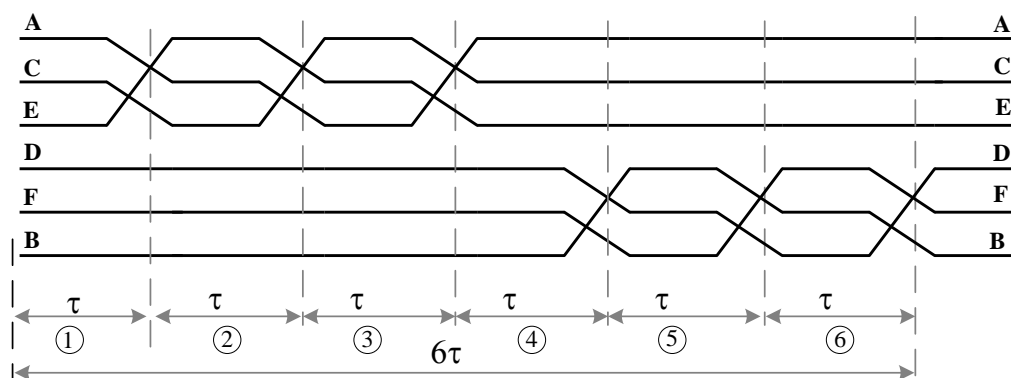


Рис. 1. Транспозиция шестифазной ЛЭП

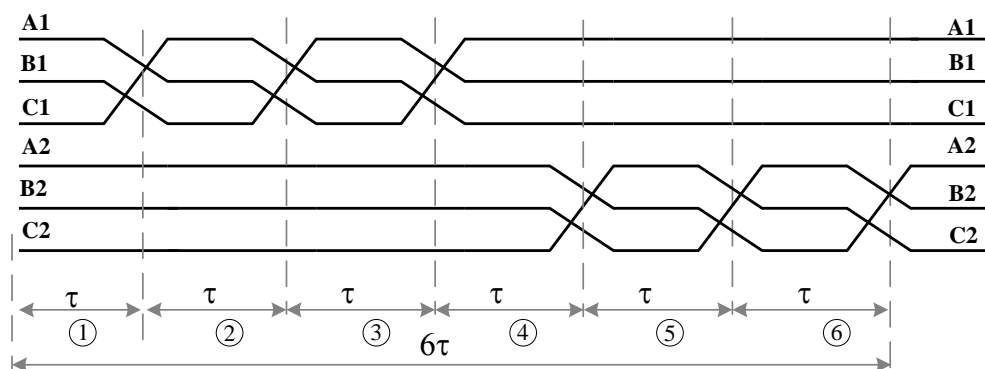


Рис. 2. Транспозиция двухцепной ЛЭП

Координаты расположения проводов приняты одинаковыми для обеих ЛЭП и показаны на рис. 3. Средние напряжения “провод – земля” и средние токи шести проводов линий длинами 100 км при симметричных нагрузках $60+j30$ МВ·А приведены в табл. 1. Результаты моделирования показаны на рис. 4, 5 и в табл. 2.

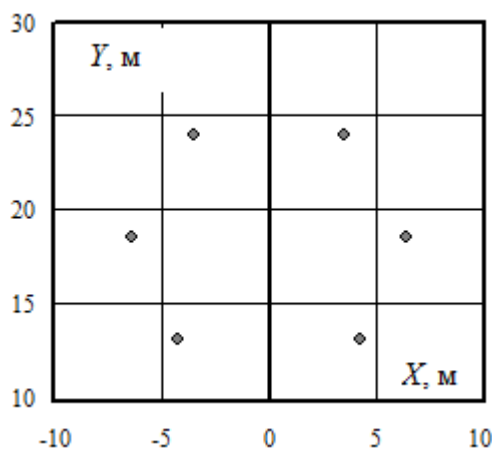


Рис. 3. Координаты расположения проводов

Таблица 1.

Средние значения напряжений и токов проводов на отправных концах участков ЛЭП

Параметр	Тип ЛЭП	Участок ЛЭП					
		1	2	3	4	5	6
Напряжение, кВ	Шестифазная	125,0	124,7	124,4	124,0	123,7	123,3
	Двухцепная	125,5	125,1	124,8	124,4	124,1	123,7
Ток, А	Шестифазная	81,3	83,2	84,7	86,3	88,4	90,7
	Двухцепная	82,2	83,4	84,9	86,9	89,0	91,4

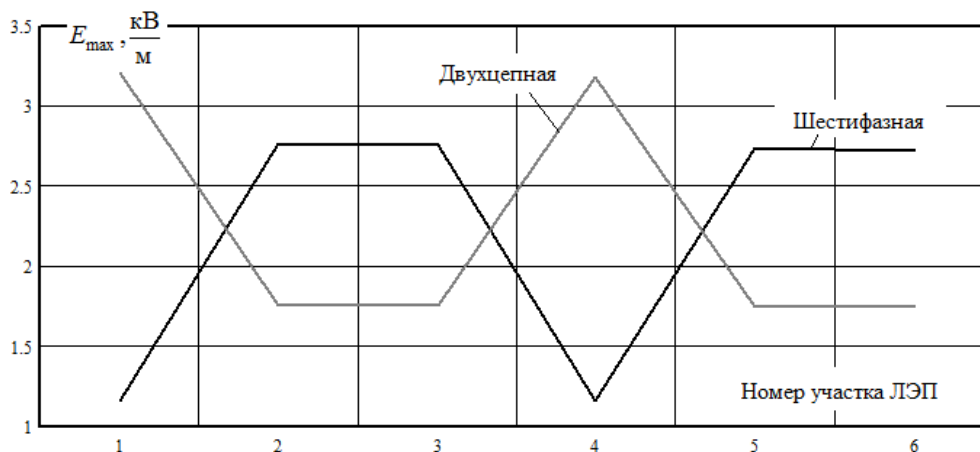


Рис. 4. Максимальные уровни напряженности электрического поля по участкам ЛЭП

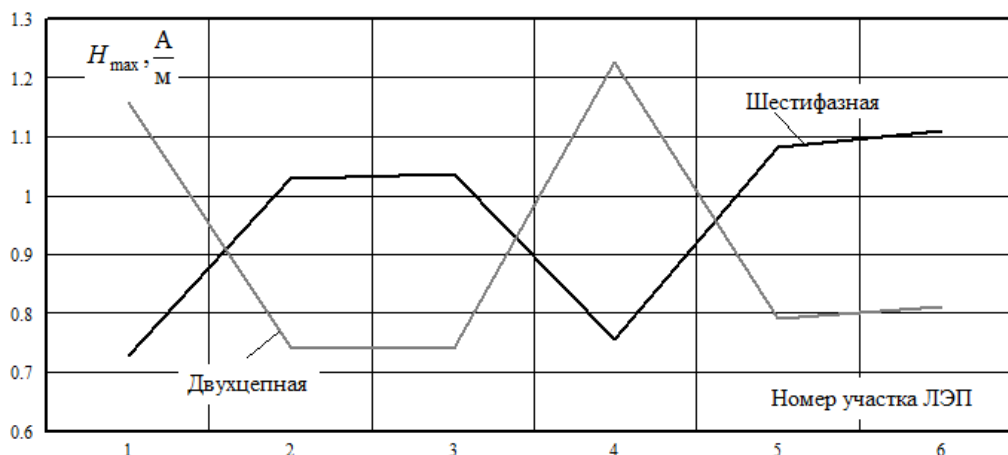


Рис. 5. Максимальные уровни напряженности магнитного поля по участкам ЛЭП

Таблица 2.

Распределение напряженностей ЭМП по горизонтальной оси

Участок	$E = E(X)$	$H = H(X)$
1		
2		
3		
4		

Участок	$E = E(X)$	$H = H(X)$
5		
6		

Полученные результаты показывают, что уровни напряженностей ЭМП на различных участках транспонированной ЛЭП существенно отличаются. Например, максимум напряженности электрического поля шестифазной ЛЭП изменяется по участкам от 1,16 до 2,76 кВ/м, максимальные значения напряженности магнитного поля варьируются в пределах от 0,73 до 1,1 А/м. Аналогичные показатели для двухцепной линии лежат в диапазонах 1,74...3,18 кВ/м и 0,74...1,23 А/м.

Интегральный показатель, позволяющий оценивать результирующее воздействие ЛЭП на окружающую природную среду, может быть основан на определении среднего значения напряженностей поля:

$$E_{mid} = \frac{1}{X_{max} - X_{min}} \int_{X_{min}}^{X_{max}} E(X) dX, \quad H_{mid} = \frac{1}{X_{max} - X_{min}} \int_{X_{min}}^{X_{max}} H(X) dX, \quad (1)$$

где $E = E(X)$, $H = H(X)$ – функции, аппроксимирующие зависимости напряженностей от координаты X по табл. 2, полученные в результате моделирования; X_{min} , X_{max} – пределы изменения координаты X , принятые равными -10 м, $+10$ м.

Результаты расчета E_{mid} , H_{mid} сведены в табл. 3, из которой видно, что показатель E_{mid} для шестифазной ЛЭП на 3 % меньше аналогичной величины для двухцепной линии. По магнитному полю имеет место обратная ситуация: показатель H_{mid} для шестифазной ЛЭП больше аналогичной величины для двухцепной линии примерно на 4 %. Таким образом, несмотря на существенное различие в уровнях напряженности ЭМП на отдельных

участках, результирующие воздействия шестифазной и двухцепной ЛЭП на окружающую среду можно считать в рассматриваемом примере равнозначными.

Таблица 3

Средние значения напряженностей поля на участках ЛЭП

Поле	Тип ЛЭП	Участок ЛЭП						Сумма	Различ ие, %
		1	2	3	4	5	6		
Электричес кое, кВ/м	Шестифазная	0,95	2,35	2,34	0,94	2,32	2,32	11,22	-3,0
	Двухцепная	2,67	1,57	1,57	2,65	1,55	1,55	11,55	
Магнитное, А/м	Шестифазная	0,62	0,97	0,98	0,65	1,05	1,05	5,32	4,3
	Двухцепная	1,09	0,67	0,68	1,16	0,74	0,74	5,09	

Заключение. На основе предлагаемой методики путем ограниченного перебора вариантов фазировки проводов ЛЭП может быть решена NP-трудная задача выбора оптимального расположения проводов отдельных фаз шестифазной линии с учетом транспозиции проводов и различных экологических ограничений на отдельных участках. Технология компьютерного моделирования электромагнитных полей может быть распространена на многопроводные линии любых применяемых на практике конструкций.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аполлонский С.М., Горский А.И. Расчеты электромагнитных полей. М.: Маршрут, 2006. 992 с.
2. Аполлонский С.М., Каляда Т.В., Синдаловский Б.В. Безопасность жизнедеятельности человека в электромагнитных полях. СПб.: Политехника, 2006. 263 с.
3. Блейк Левитт Б. Защита от электромагнитных полей. М.: АСТ: Астрель, 2007. 447 с.
4. Безопасность России. Правовые, социально-экономические и научно-технические аспекты. Тематический блок «Безопасность железнодорожного транспорта». Безопасность железнодорожного транспорта в условиях Сибири и Севера. М.: МГОФ «Знание», 2014. 856 с.
5. Аполлонский, С.М., Богаринова А.Н. Напряженности воздушной среды на электрифицированной железной дороге / Сборник докладов девятой российской научно-технической конференции по электромагнитной совместимости технических средств и электромагнитной безопасности. СПб., 2006. С. 579-583.
6. Линии электропередачи 345 кВ и выше / Сборник трудов научно-исследовательского института энергетики США. М.: Энергия, 1980. 480 с.
7. Закарюкин В.П., Крюков А.В. Моделирование многофазных линий электропередачи. Иркутск: ИрГУПС, 2014. 168 с.
8. Закарюкин В.П., Крюков А.В. Сложнонесимметричные режимы электрических систем. Иркутск: Изд-во Иркут. ун-та, 2005. 273 с.
9. Закарюкин В.П., Крюков А.В. Методы совместного моделирования систем тягового и внешнего электроснабжения железных дорог переменного тока. Иркутск: ИрГУПС, 2011. 170 с.

10. Закарюкин В.П., Крюков А.В., Буякова Н.В. Особенности потока электромагнитной энергии электротяговых сетей // Транспортная инфраструктура Сибирского региона. Иркутск: ИрГУПС, 2011. Т.1. С. 508-513.
11. Крюков А.В., Закарюкин В.П., Буякова Н.В. Моделирование электромагнитной обстановки на железных дорогах переменного тока // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. № 2(26). 2010. С. 169-175.
12. Крюков А.В., Закарюкин В.П., Буякова Н.В. Моделирование электромагнитной обстановки на объектах железнодорожного транспорта и разработка способов её улучшения // Информационные и математические технологии в науке и управлении. Том 1. Иркутск, 2011. С.163-171.
13. Крюков А.В., Закарюкин В.П., Буякова Н.В. Системный подход к моделированию электромагнитной обстановки на железных дорогах переменного тока // Информатика и системы управления. №1 (27). 2011. С. 38-49.
14. Крюков А.В., Закарюкин В.П., Буякова Н.В. Управление электромагнитной обстановкой в тяговых сетях железных дорог: монография. Ангарск: АГТА, 2014. 158с.
15. Крюков А.В., Закарюкин В.П., Буякова Н.В. Электромагнитная обстановка на объектах железнодорожного транспорта. Иркутск: ИрГУПС, 2011. 130 с.

UDK 621.311

ACCOUNTING OF WIRES TRANSPOSITION WHEN ELECTROMAGNETIC FIELDS' MODELING CREATED BY HIGH VOLTAGE POWER LINES

Vasilij P. Zakaryukin

Dr., Professor, Irkutsk State Transport University
15, Chernyshevsky St., 664074, Irkutsk, Russia, e-mail: zakar49@mail.ru

Andrey V. Kryukov

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

Le Van Thao

Postgraduate student, Irkutsk national research technical university
83, Lermontov St. 83, 664074, Irkutsk, Russia, e-mail: vanthaoirk@mail.ru

Annotation. High-voltage power lines electromagnetic field represent a dangerous form of environmental pollution. It is difficult to obtain experimental maximum levels, thus the maximum data are calculating on the basis of mathematical modeling. The methods of sinusoidal modes in phase coordinates developed in Irkutsk State Transport University allow carrying out when determining electric system mode simultaneous calculations of fields' intensity, created by multi wire power lines. On this basis new, system approach to the analysis of electromagnetic situation is realized. The spatial arrangement of wires which changes in transposition cycles has essential impact on the level of electromagnetic fields. The results of computer modeling in relation to two-

chain and six phase power lines which showed importance of the accounting of a transposition of wires when modeling electromagnetic fields are given in this article.

Keywords: electrical power systems, power lines, electromagnetic fields, modeling.

References

1. Apollonskij S.M., Gorskij A.I. Raschety `elektromagnitnyh polej [Calculations of electromagnetic fields]. M.: Marshrut, 2006. 992 p. (in Russian).
2. Apollonsky S.M., Kalyada T.V., Sindalovsky B. V. Bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti cheloveka v `elektromagnitnyh polyah [Health and safety of the person in electromagnetic fields]. SPb.: Polyequipment, 2006. 263 p. (in Russian).
3. Bleyk Levitt B. Zashchita ot `elektromagnitnyh polej [Protection against electromagnetic fields]. M.: ACT: Astrel, 2007. 447 p. (in Russian).
4. Bezopasnost' Rossii. Pravovye, social'no-jekonomicheskie i nauchno-tehnicheskie aspekty. Tematicheskij blok «Bezopasnost' zhelezodorozhnogo transporta». Bezopasnost' zhelezodorozhnogo transporta v usloviyah Sibiri i Severa. Safety of Russia [Legal, social and economic and scientific and technical aspects. Thematic block "Safety of Railway Transport". Safety of railway transport in the conditions of Siberia and the North] M.: MGOF «Znanie» = Knowledge, 2014. 856 p. (in Russian).
5. Apollonskij, S.M., Bogarinoва A.N. Napryazhennosti vozduшной среды na `elektrifitsirovannoj zheleznoj doroge [Intensity of EMP on the electrified railroad] / The Collection of reports of the ninth Russian scientific and technical conference on electromagnetic compatibility of technical means and electromagnetic safety. SPb., 2006. Pp. 579-583. (in Russian).
6. Linii `elektroperedachi 345 kV i vyshe [Power lines of 345 kV and above]. The Collection works of research institute of power industry of the USA. M.: Energy, 1980. 480 pages. (in Russian).
7. Zakaryukin V.P., Kryukov A.V. Modelirovanie mnogofaznyh linij `elektroperedachi [Modeling of multiphase overhead lines]. Irkutsk: ИрГУПИС, 2014. 168 p. (in Russian).
8. Zakaryukin V.P., Kryukov A.V. Slozhonesimmetrichnye rezhimy `elektricheskikh sistem. [Asymmetrical modes of electric systems]. Irkutsk, 2005. 273 p. (in Russian).
9. Zakaryukin V.P., Kryukov A.V.. Metody sovместnogo modelirovaniya sistem tyagovogo i vneshnego `elektrosnabzheniya zheleznyh dorog peremennogo toka [Methods of joint modeling of traction systems and external power supply of alternating current railroads]. Irkutsk. 170 p. (in Russian).
10. Zakaryukin V.P., Kryukov A.V., Buyakova N.V. Osobennosti potoka `elektromagnitnoj `energii `elektrotyagovyh setej [Features of electromagnetic energy stream of electro traction networks] / Transport infrastructure of the Siberian region. Irkutsk, 2011. T.1. Pp. 508-513. (in Russian).
11. Kryukov A.V., Zakaryukin V.P., Buyakova N.V. Modelirovanie `elektromagnitnoj obstanovki na zheleznyh dorogah peremennogo toka [Modeling of an electromagnetic situation on alternating current railroads] // Sovremennye tehnologii. Sistemnyj analiz. Modelirovanie = Modern technologies. System analysis. Modeling. № 2(26). 2010. Pp. 169-175. (in Russian).

12. Kryukov A.V., Zakaryukin V.P., Buyakova N. V. Modelirovanie `elektromagnitnoj obstanovki na ob`ektah zheleznodorozhnogo transporta i razrabotka sposobov ee uluchsheniya [Electromagnetic situation modeling on railway transport objects and development of its improvement] // *Informacionnye i matematicheskie tehnologii v nauke i upravlenii* = Information and mathematical technologies in science and management". Vol. 1. Irkutsk, 2011. Pp. 163-171. (in Russian).
13. Kryukov A.V., Zakaryukin V.P., Buyakova N. V. Sistemnyj podhod k modelirovaniyu `elektromagnitnoj obstanovki na zheleznyh dorogah peremennogo toka [System approach to electromagnetic situation modeling on alternating current railroads] // *Informatika i sistemy upravlenija* = Informatics and control system. No. 1 (27). 2011. Pp. 38-49. (in Russian).
14. Kryukov A.V., Zakaryukin V.P., Buyakova N.V. Upravlenie `elektromagnitnoj obstanovkoj v tyagovyh setyah zheleznyh dorog [Management of electromagnetic situation in railroad traction networks]. Angarsk, 2014. 158 p. (in Russian).
15. Kryukov A.V., Zakaryukin V.P., Buyakova N.V. Elektromagnitnaya obstanovka na ob`ektah zheleznodorozhnogo transporta [An electromagnetic situation on railway transport objects]. Irkutsk, 2011. 130 p. (in Russian).

**ПРОБЛЕМЫ УЧЕТА ВЛИЯНИЯ ГОРИЗОНТА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ
ТЭК НА РАЦИОНАЛЬНЫЙ СОСТАВ И АГРЕГИРОВАНИЕ
ИСПОЛЬЗУЕМЫХ МОДЕЛЕЙ¹**

Кононов Юрий Дмитриевич

Д.э.н., профессор, зав. отделом «Взаимосвязей энергетики и экономики»,
Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева СО РАН,
664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова 130, e-mail: kononov@isem.irk.ru

Аннотация. В статье обосновывается целесообразность использования разных по составу и степени агрегирования математических моделей на разных временных этапах прогнозных исследований топливно-энергетического комплекса.

Ключевые слова: математическое моделирование, прогнозирование, неопределенность, агрегирование, топливно-энергетический комплекс.

Введение. Чем отдаленнее рассматриваемая перспектива, тем больше неопределенность условий и ниже надежность прогнозов. Зарубежные и российские прогнозы развития энергетики демонстрируют нелинейный рост интервала неопределенности с увеличением горизонта прогнозирования [3]. Разброс значений в сценариях потребностей в первичных топливно-энергетических ресурсах в США увеличивается примерно с 5–10 % для временного интервала 5 лет, до 13–23 % для 15 лет и до 22–38 % для 25 лет. В Энергетической стратегии России на период до 2030 г., утвержденной в 2009 г., различие суммарного энергопотребления в крайних сценариях растет с 7 % для первых 5 лет, до 22 % для 15 лет и до 31 % для 20-летней перспективы. Значительный и нелинейный рост интервала неопределенности характерен и для прогнозов цен на энергоносители.

Одно из активно развиваемых направлений повышения обоснованности долгосрочных прогнозов развития ТЭК и других отраслевых систем – усложнение методического инструментария. В середине прошлого столетия для прогнозирования развития энергетики начали активно использоваться оптимизационные модели, а затем стали создаваться все более сложные системы моделей и модельно-информационные комплексы (МИК), например, [7,8]. Следует отметить, что эти модели и комплексы часто используются без изменений для прогнозов как на 10-15 лет, так и на 25-30 лет.

Современный уровень развития вычислительной техники и информационных технологий позволяет конструировать МИК любой сложности. Однако в условиях большой и растущей неопределенности исходных данных целесообразности усложнения методического инструментария для долгосрочных прогнозов могут препятствовать следующие соображения: 1) дезагрегирование используемых моделей, увеличение количества учитываемых прогнозируемых объектов, детализация рассматриваемой территории – все это требует дополнительной информации, повышая вероятность

¹ Статья отражает результаты исследований, выполняемых по гранту Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 16-06-00091).

увеличения погрешности прогнозов; 2) при объединении отраслевых и региональных систем и моделей в единый комплекс с полной автоматизацией расчетов возникает проблема общего критерия оптимальности; 3) чем сложнее такие комплексы, тем часто труднее анализировать и интерпретировать получаемые неожиданные результаты; 4) почтение к сложности используемых методов часто вызывает излишнее и неоправданное доверие к долгосрочным прогнозам.

Требования к методическому инструментарию. Важным принципом системных исследований и совершенствования методического инструментария является соотношение требуемой точности результатов расчетов с точностью используемой для этого информации [4,5]. Этот принцип схож с известным принципом бритвы Оккама и предполагает конструирование как можно более простых моделей, но учитывающих основные свойства рассматриваемой системы, необходимые для приемлемого решения данной задачи в данных условиях.

Принцип соответствия методического инструментария объективной неопределенности используемых исходных данных и требуемой точности прогнозов реализуется на практике пока еще на основе интуиции создателей и пользователей моделей. Более обоснованный подход к реализации этого принципа может быть разработан с помощью количественного анализа и сопоставления объективности неопределенности исходных данных и ценности получаемых результатов расчетов для выявления возможных проблем и для повышения обоснованности принимаемых решений. Очевидно, что ценность прогнозов и требования к их обоснованности зависят от рассматриваемой перспективы и от решаемой задачи.

Принципу соответствия используемого методического инструментария неопределенности исходных данных соответствует поэтапный подход к сужению области неопределенности условий и результатов прогнозных исследований путем итерационных расчетов моделей разного иерархического уровня на каждом временном этапе и согласования итоговых показателей во времени [2]. При этом на начальном этапе рассматриваются максимальный горизонт прогнозирования (более 25 лет) и минимальное количество уровней и моделей (рис. 1).

Предлагаемый поэтапный процесс прогнозирования от отдаленного к близкому будущему не исключает последующей обратной итерации прогнозных исследований – корректировки долгосрочных прогнозов по результатам углубленного анализа не столь отдаленной перспективы. На каждом из этих временных этапов итеративные расчеты («сверху вниз» и «снизу вверх») позволяют учесть особенности развития (возможности и требования) систем разного иерархического уровня, формирующих общеэнергетическую систему страны. При этом целесообразно в прогнозах на перспективу до 15–20 лет учитывать возможную реакцию потенциальных инвесторов на прогнозируемое изменение цен и спроса. Многовариантные расчеты на каждом этапе предполагают разные по детализации сценарии развития экономики и мировых энергетических рынков с определением прогнозной области развития ТЭК и выделением в ней инвариантных решений и зоны нестабильности. Одним из важных способов повышения обоснованности долгосрочных прогнозов развития ТЭК – определение наиболее значимых для каждого временного этапа задач и их решение адекватными методами. К таким задачам относятся,

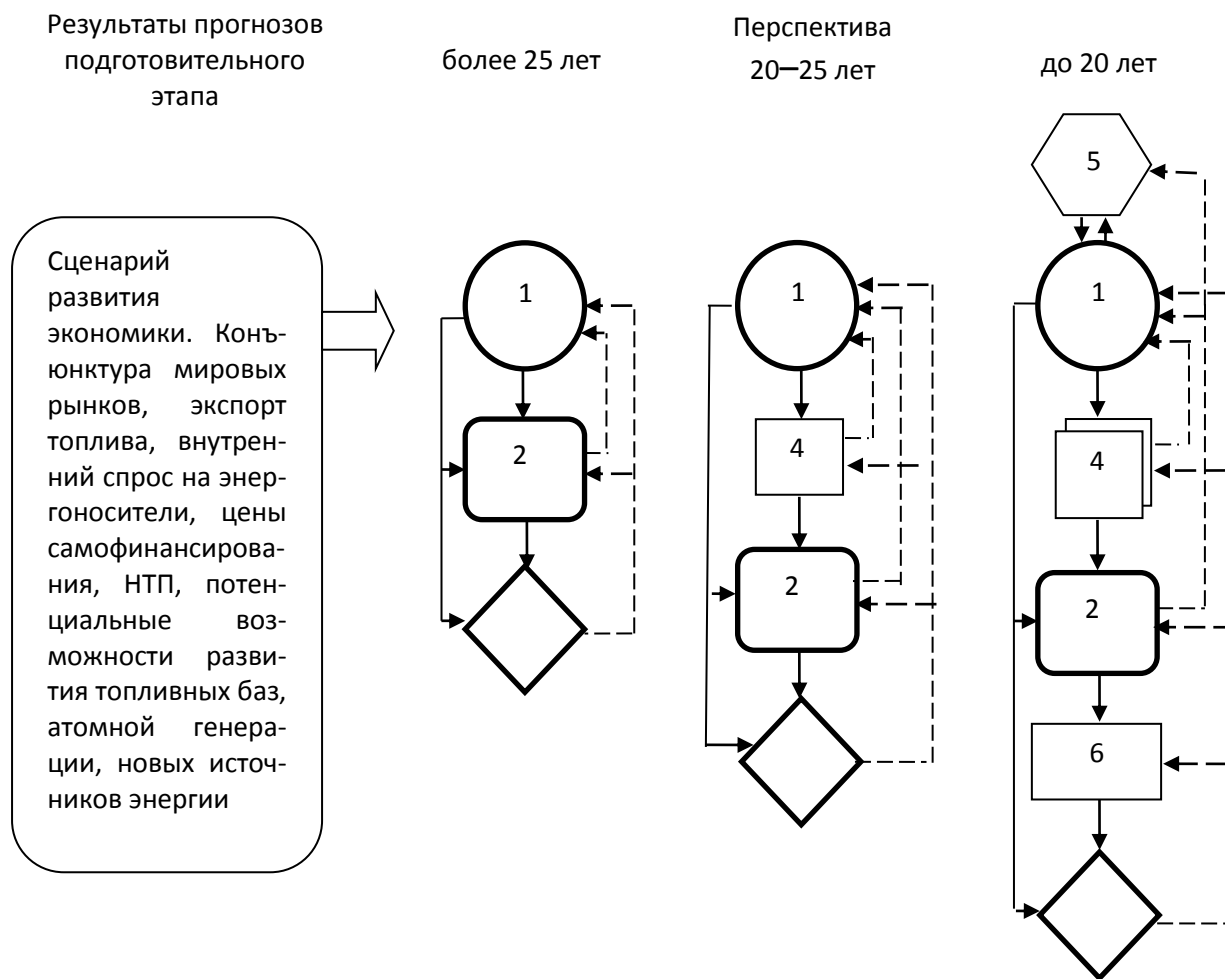


Рис. 1. Состав и взаимосвязи моделей на разных стадиях формирования и исследования вариантов долгосрочного развития ТЭК

1 – ТЭК; 2 – конъюнктура региональных энергетических рынков (спрос и цены); 3 – барьеры и угрозы; 4 – отрасли ТЭК; 5 – макроэкономика; 6 – энергетические компании.

например: количественная оценка стратегических угроз развитию ТЭК и национальной безопасности, прогноз взаимозависимой динамики цен и спроса на региональных энергетических рынках, принципиальные изменения в структуре и технологиях производства и потреблении топлива и энергии. Очевидна взаимосвязь этих задач (рис. 2).

В условиях формирования нового технологического уклада усиливается важность оценки и учета при прогнозных исследованиях ТЭК его возможного корректирующего влияния на сценарии и прогнозы развития экономики страны, мировых энергетических рынков, научно-технического прогресса, изменения окружающей среды. Учет усиления этих обратных связей может внести коррективы в методологию и методический инструментарий системных исследований и прогнозирования развития энергетики.

При решении разных задач прогнозирования с использованием оптимизационных моделей возможна разная степень агрегирования учитываемых объектов, связей и рассматриваемой территории.



Рис. 2. Взаимосвязи основных задач прогнозных исследований ТЭК

Методы итеративного агрегирования информации в иерархически построенных системах моделей активно разрабатывались в 70-80-е годы прошлого столетия [1] и применялись для согласования решений в отраслевой и региональной иерархии моделей общеэнергетических систем [6]. Эти методы предполагают агрегирование и разагрегирование всех взаимосвязанных моделей на каждой итерации. При этом окончание всех расчетов, достижение приемлемой степени агрегирования определяется по совпадению критерия оптимальности модели верхнего уровня на двух последовательных итерациях. На рис. 1 такими моделями являются: при среднесрочном прогнозировании динамическая модель макроэкономики (с критерием – максимум ВВП или конечного потребления товаров и услуг), а при долгосрочных прогнозах – агрегированная модель ТЭК страны (с критерием минимума затрат на производство и транспорт энергоносителей).

Может показаться, что проблема агрегирования моделей, которой уделялось много внимания в работах отечественных и зарубежных экономистов и математиков, теряет свою значимость из-за быстрого развития компьютерных технологий. Но объективный ускоряющий рост неопределенности будущего делает эту проблему по-прежнему важной.

Традиционно проблема агрегирования трактуется как проблема сокращения размерности модели таким образом, чтобы потери информации, получаемой с ее помощью, были минимальными. Представляется, что при большой неопределенности исходных данных, больших размерах и сложности прогнозных моделей целесообразно ставить проблему определения рационального агрегирования таких моделей. При этом надо учитывать не только величину и характер неопределенности исходных данных, но и возможную и допустимую погрешность основных прогнозируемых показателей.

Универсального метода решения проблемы определения приемлемой погрешности решений для любой системы и любого горизонта прогнозирования нет.

Заключение. Рациональное агрегирование и определение необходимого состава моделей, используемых в практике прогнозирования, предполагает оценку и учет влияния неопределенности исходных данных на вероятную погрешность основных определяемых показателей. При этом важно иметь представление о приемлемой ошибке прогноза для принятия своевременных решений (инвестиционных, управленческих, стратегических).

Очевидно, что важность и сложность учета всех этих факторов определяется горизонтом прогнозирования и особенностями решаемой задачи. Чем шире интервал неопределенности исходных данных (растущий с увеличением горизонта прогнозирования), тем выше неизбежная погрешность результатов прогноза и соответственно больше основания для использования более агрегированных моделей и менее сложных модельно-информационных комплексов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Итеративное агрегирование и его применение в планировании / под ред. Л.М. Дудкина. М.: Экономика, 1979. 327 с.
2. Кононов Ю.Д. Пути повышения обоснованности долгосрочных прогнозов развития ТЭК. Новосибирск: Наука, 2015. 146 с.
3. Кононов Ю.Д., Ступин П.В. Зависимость качества исходной и требуемой информации от горизонта прогнозирования развития ТЭК // Известия РАН. Энергетика. 2014. №2. С. 61-70.
4. Макаров А.А. Системные исследования развития энергетики. М.: Издательский дом МЭИ, 2015. 280 с.
5. Мелентьев Л.А. Системные исследования в энергетике. Новосибирск: Наука, 1979. 415 с.
6. Методы и модели согласований иерархических решений / под ред. А.А. Макарова. Новосибирск: Наука, 1979. 239 с.
7. 7. SCANNER. Модельно-информационный комплекс / под ред. А.А. Макарова. ИНЭИ РАН. М., 2011. 72 с.
8. U. S. Energy Information Administration. The National Energy Modeling System: An Overview [Электронный ресурс] / U. S. Energy Information Administration. Режим доступа: <http://www.eia.gov/oiaf/aeo/overview/>.

**PROBLEMS IN ACCOUNTING THE IMPACT OF FORECASTING HORIZON
OF THE ENERGY SECTOR ON RATIONAL COMPOSITION
AND AGGREGATION OF APPLIED MODELS**

Yury D. Kononov

Professor, Head of Department of Energy Interrelations with the Economy”,
Melentiev Energy Systems Institute SB RAS
664033, Irkutsk, 130, Lermontov str, e-mail: kononov@isem.irk.ru

Annotation: The paper substantiates expediency of applying mathematical models of different composition and aggregation level at different time periods of forecast studies on the energy sector.

Keywords: Mathematical modeling, forecasting, uncertainty, aggregation, energy sector.

References

1. Iterative aggregation and its application to planning / Ed. by L.M. Dudkin. M.: Ekonomika, 1979. 327 p
2. Yu.D. Kononov. The ways for improving the validity of long-term energy development forecasts. Novosibirsk: Nauka, 2015. 146 p.
3. Yu.D. Kononov, P.V. Stupin. Dependence of the initial and required information quality on the horizon of energy sector development forecasting // News of RAS. Energy. 2014. №. 2. P. 61-70.
4. A.A. Makarov. Systems studies in energy development. M.: Publishing House of Moscow Power Engineering Institute. 2015. 280 p.
5. L.A. Melentiev. Systems studies in energy. Novosibirsk: Nauka, 1979. 415 p.
6. Methods and models for coordination of hierarchical solutions / Ed. by A.A. Makarov. Novosibirsk: Nauka. 1079. 239 p.
7. SCANNER. The model-information complex / Ed. by A.A. Makarov. ERI RAS. M., 2011. 72 p.
8. U.S. Energy Information Administration. The National Energy Modeling System: An Overview [on-line] / U.S. Energy Information Administration, Available: <http://www.eia.gov/oiaf/aeo/overview>

АДАПТАЦИЯ МОДЕЛЕЙ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ РЕГИОНАЛЬНОГО ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ К ИЗМЕНЕНИЮ КЛАССИФИКАЦИИ СТАТИСТИКИ

Любимова Екатерина Владимировна

К.э.н., в.н.с., ФГБУН Институт экономики и организации промышленного производства
(ИЭОПП) Сибирского отделения Российской Академии наук,
630090 Новосибирск, пр. академика Лаврентьева 17, e-mail kat@ieie.nsc.ru

Аннотация. Приводятся результаты адаптации моделей прогнозирования электропотребления СФО, созданных в ИЭОПП СО РАН, к ОКВЭД (Общероссийскому классификатору видов экономической деятельности). Новое структурирование моделей основано на выявленных значимых структурных составляющих электропотребления видов деятельности каждого региона округа.

Ключевые слова: электропотребление, регион, вид деятельности, модель, прогнозирование, статистика, классификатор.

Введение. В ИЭОПП СО РАН создан и успешно используется конгломерат моделей прогнозирования натуральных и стоимостных характеристик экономики регионов Сибирского федерального округа (СФО), состав и конфигурация моделей диктуется задачами исследования. Модели прогнозирования спроса на энергоносители в зависимости от целей могут играть как самостоятельную, так и вспомогательную роль. К этому классу моделей относятся две модели электропотребления СФО [1, 2], которые изначально были структурированы под ОКОНХ (Общероссийский классификатор «Отрасли народного хозяйства»). Модель ПС (Полный Счет) полностью отражает региональную структуру округа (субъекты Федерации) и типы производства (основные отрасли). Модель АП (Агрегированные Показатели) учитывает только значимые объемы потребления энергии (значимые отрасли в каждом регионе) с агрегированием оставшихся производств региона в одну позицию. Поддержание текущей работоспособности этих двух моделей потребовало их адаптации к структуре ОКВЭД. Для чего был проведен мониторинг электропотребления СФО с последующей корректировкой структуры, базы данных и показателей двух моделей.

1. Ретроспективная база конечного потребления электроэнергии в СФО.

Мониторинг объемов и производственной и территориальной структур конечного потребления электроэнергии РФ и СФО показал, что электропотребление РФ продолжает восстанавливаться после падения в начале 1990-х гг. В 2014 г. оно составило 98,5% от уровня 1990 г. Электропотребление СФО росло большими темпами, нежели общероссийское, и в 2014 г. превысило уровень 1990 г. на 3,6% (табл. 1). За последний год произошел незначительный рост электропотребления в Красноярском крае, Республике Хакасия, Новосибирской области.

Особенностью регионального и производственного разрезов потребления энергии в СФО является его значительная неравномерность, базирующаяся на неравномерностях экономического развития и размещения производительных сил, сложившихся задолго до начала перестройки и продолжающих существовать в настоящее время. Две трети электроэнергии СФО потребляется на территории трех субъектов РФ – Красноярского края,

Иркутской и Кемеровской областей. В 2013-2014 гг. 80 % электропотребления СФО приходилось на пять субъектов РФ, перечисленных в табл. 1, в 1990 г. их доля составляла 79%. Доли каждого из них стабильны, они колеблются год от года в пределах 1%. Состав субъектов РФ СФО, приводимый в таблицах, соответствует их составу на 01.03.2008.

Таблица 1. Динамика регионального электропотребления СФО*

	1990	2000	2004	2005	2010	2013	2014	2014
	млрд. кВт. час							%
РФ (без КФО)	1073,8	863,7	924,2	940,7	1020,6	1054,8	1057,7	
СФО	215,5	195,4	199,6	203,0	218,3	222,4	223,2	100
Республика Хакасия	**	9,9	11,4	11,9	17,2	16,2	16,4	7
Красноярский край	61,0	48,7	49,6	49,9	53,3	53,1	53,2	24
Иркутская область	55,5	52,2	52,0	52,6	54,3	56,6	56,3	25
Кемеровская область	37,0	31,9	32,8	33,5	34,0	36,1	35,9	16
Новосибирская область.	16,6	13,1	13,2	13,4	15,2	15,5	15,9	7

* составлена по данным Госкомстата <http://www.gks.ru/>

** учитывалось в составе электропотребления Красноярского края

Производственная структура электропотребления Сибирского федерального округа еще более неравномерна. Наибольший вес в ней имеют металлургические производства, которые расходовали в различные годы 42-50% полезного отпуска электроэнергии.

Информационной основой ретроспективного анализа и прогнозирования регионального электропотребления служат статистические формы Госкомстата и ведомственные данные. Все используемые массивы данных не являются исчерпывающими по содержанию и отличаются по составу показателей и методике их подсчета. Данные статистических форм – обобщенного электробаланса Э-3 и более подробной расшифровкой электропотребления по отраслям/видам деятельности Э-2 – не всегда совпадают по пересекающимся показателям. Например, на всем периоде действия ОКОНХ электропотребление в промышленности формы Э-3 повсеместно больше указанного в форме Э-2, а электропотребление электроэнергетики, наоборот, больше в форме Э-2.

Поэтому при построении полноформатной ретроспективной базы данных конечного потребления электроэнергии по всем крупным отраслям/видам деятельности в каждом субъекте Федерации СФО необходимо было решить следующие задачи:

- а) провести анализ каждого информационного массива на предмет возможностей использования его данных в базе ретроспективных данных;
- б) найти способы сопоставления данных разных информационных массивов в целях построения собственной полноценной базы прогнозирования.

При построении полноформатной ретроспективной базы конечного потребления электроэнергии в СФО в качестве основы использовались данные статистических форм Э-3 и Э-2, откорректированные, при необходимости, по показателям форм 11-ТЭР, 22-ЖКХ, а также ведомственной статистики. В качестве исходных по промышленности в целом были использованы данные формы Э-3. Расхождение между одноименными показателями форм Э-3 и Э-2 (или уточненными по другим источникам показателями) учитывалось в балансирующих статьях «прочие отрасли промышленности», «прочие отрасли» (ОКОНХ),

«прочие виды обрабатывающей деятельности», «прочие виды деятельности» (ОКВЭД). Их электропотребление является, таким образом, расчетной величиной. Важной методической особенностью построенной базы данных является то, что в состав составляющих конечного потребления энергии не входят собственное потребление в энергетике и потери в сетях. В остальном поддерживается требование полноты отражения всех направлений расхода электроэнергии на рассматриваемой территории.

Преодоление сложностей построения полноформатной базы прогнозирования электропотребления СФО позволило прийти к следующим выводам;

1. Статистические показатели, являющиеся базой прогнозирования, имеют в различных субъектах федерации различную содержательную наполненность. Их сравнение по различным субъектам федерации СФО показывает, что либо не существует единой четкой методики заполнения форм, описывающих показатели электропотребления региона, либо местные органы государственной статистики ее не придерживаются.

2. Расхождения между одноименными показателями различных статистических форм достигают, в ряде случаев, такой величины, что, на наш взгляд, проблема построения корректной базы прогнозирования становится не менее серьезной, чем проблема корректного метода прогнозирования.

3. В условиях, когда погрешности исходной базы прогнозирования превосходят или сопоставимы с погрешностями прогнозных оценок этих показателей, необходимо переходить на такой уровень агрегированности исходных и прогнозируемых показателей, при котором проблема неточности исходных данных перестает быть первостепенной.

2. Подходы и результаты структурирования моделей электропотребления СФО.

Объективным основанием для агрегирования показателей электропотребления в округе служит реально сложившаяся концентрация электропотребления определенных видов производств на определенных территориях. Такая концентрация обуславливает структуру значимых составляющих электропотребления всего СФО. Изучение состава и динамики значимых составляющих актуально и в теоретическом, и в прикладном планах, так как:

– географическое положение каждой составляющей – важная составляющая базы предпроектных исследований вариантов размещения новых генерирующих производств;

– мероприятия энергосбережения приносят наибольший эффект там, где экономия удельных затрат перемножается на большие объемы потребления, поэтому именно значимые составляющие энергопотребления определяют приоритетные направления энергосбережения;

– при моделировании и прогнозировании потребления энергии в отраслевом и региональном разрезах структурирование регионального электропотребления по его значимым составляющим позволяет существенно снизить трудоемкость поиска и подготовки экзогенных данных. Так, на временном периоде действия ОКОНХ использование модели АП позволяло уменьшить поле прогнозирования по сравнению с моделью ПС в 2,5 раза при отклонении прогнозируемых значений на 0,5-3% [1]. Прием агрегирования по значимым составляющим электропотребления используется и в других моделях ИЭОПП СО РАН, например, при исследовании и прогнозировании региональных топливно-энергетических балансов [3]. Блок конечного потребления моделей РегТЭБ имеет структуру, отражающую специфику электропотребления рассматриваемого субъекта Федерации, когда из стандартных классификаций выделяются производства, значимые по объемам конечного

электропотребления в данном регионе. Каждая значимая составляющая – это потребление определенного вида производств в определенном регионе.

Под агрегированными составляющими электропотребления мы подразумеваем набор значимых его составляющих и еще одной позиции, в которую включено остальное электропотребление. Такое разбиение проводится по промышленной и непромышленной сферам экономики каждого субъекта Федерации СФО. Агрегированные составляющие определяют структуру модели и выделяются следующим образом из всех крупных видов деятельности в каждом регионе:

1. Для каждого года, начиная с 2000-го, и каждого субъекта РФ СФО определялись пороговые величины, равные 10 % от величины полезного отпуска энергии региона. Отрасли промышленных и непромышленных секторов региона (с 2005 г – видов деятельности), чей объем электропотребления превосходил региональный порог значимости в любой рассматриваемый год, вошли в число значимых.

2. Список пополнялся отраслями (видами деятельности), чей объем электропотребления превосходил 1 млрд. кВт.ч в любой год.

3. Отрасли промышленности (ОКОНХ), добывающие и обрабатывающие виды деятельности (ОКВЭД), не вошедшие в число значимых, агрегируются в статье "остальная промышленность" (ОКОНХ), «прочие добывающие и обрабатывающие виды деятельности» (ОКВЭД). Отрасли (ОКОНХ), виды деятельности (ОКВЭД) непромышленной сферы, не вошедшие в список значимых, агрегируются в статье "прочие". Эти статьи являются балансирующими и обязательными структурными составляющими. Для каждого региона эти позиции имеют свое наполнение.

Переход статистического учета с ОКОНХ на ОКВЭД существенно осложнил изучение складывающейся динамики структурных составляющих электропотребления. Степень преимущества показателей двух систем статистического учета демонстрируется в таблицах 2 и 4 посредством приведения натуральных показателей электропотребления в 2004 г. – последнем году использования ОКОНХ и в 2005 г. – первом году использования ОКВЭД.

В период 2000-2004 гг. (действие ОКОНХ) в промышленности СФО существовало 16 региональных "точек"– отраслей, чье электропотребление значимо в масштабах округа (табл. 2). Четыре из них приходятся на топливную промышленность (то есть это четыре региона, чья топливная промышленность значима по электропотреблению в масштабах СФО), две – на черную металлургию, шесть – на цветную металлургию, три – на химию и нефтехимию, одна – на лесную, деревообрабатывающую промышленность и целлюлозно-бумажное производство. Остальные отрасли промышленности не являлись значимыми по электропотреблению ни на одной из рассматриваемых территорий. Пять из 16 региональных "точек"- отраслей расположены в Иркутской области, четыре – в Кемеровской области. На Алтае, в Новосибирской области, в Республиках Бурятия и Тыва отраслей промышленности, значимых по объему электропотребления, не существовало. Выделенные отраслевые "точки" покрывали в среднем около 80 % конечного отпуска энергии в промышленности и около 90 % конечного отпуска энергии в непромышленной сфере округа.

Таблица 2.

Значимые составляющие* конечного электропотребления СФО (ОКОНХ)

	топливная промышленность	черная металлургия	цветная металлургия	химия и нефтехимия	лесная, деревообр. промышл-сть, ЦБП	остальная промышленность	транспорт	коммунальное хозяйство	услуги	население	прочие
СФО, 2004 г., млрд кВт.ч	9,4	10,1	68,0	5,7	3,4	18,3	14,0	5,9	9,9	17,7	5,2
<i>в % от объема конечного потребления</i>	6	6	41	3	2	11	8	4	6	11	3
В т.ч.: значимые составляющие (1990-2004 гг)											
Алтайский край +Республика Алтай											
Иркутская область											
Кемеровская область											
Красноярский край											
Новосибирская область											
Омская область											
Республика Бурятия											
Республика Тыва											
Республика Хакасия											
Томская область											
Читинская область											

* отмечены темным цветом

Переход на ОКВЭД негативно повлиял на преемственность выделенных показателей. Полного соответствия позиций производства, значимых по электропотреблению, достичь не удастся. Структура значимых составляющих электропотребления Сибирского федерального округа изменилась по содержанию показателей, в наибольшей степени это коснулось непосредственно энергетики, металлургических производств, химии и нефтехимии (табл. 3, в которой номенклатура видов деятельности учитывает редакции 2001 г. и 2007 г.).

В период 2005-2014 гг. в промышленности СФО, под которой мы понимаем совокупность добывающих и обрабатывающих видов деятельности, стабильно (т.е. каждый год) существовало 11 региональных "точек"-видов деятельности, чье электропотребление значимо в масштабах округа (табл. 4). Три из них приходятся на добычу топливно-энергетических ископаемых (то есть это три региона, где добыча топлива значима по электропотреблению в масштабах СФО), четыре – на металлургию, три – на производство кокса, нефтепродуктов ядерных материалов, химическое производство и производство резиновых и пластмассовых изделий, одна – на обработку древесины, производство изделий из дерева, целлюлозно-бумажное производство; издательскую и полиграфическую деятельность. Остальные виды добывающих и обрабатывающих производств (промышленности) не являлись значимыми по электропотреблению ни на одной

рассматриваемой территории. Три из 11 региональных "точек"-видов деятельности расположены в Иркутской области, три – в Кемеровской области, по одной – в Красноярском и Забайкальском краях, Республике Хакасия, Томской и Омской областях.. На Алтае, в Новосибирской области, в Республиках Бурятия и Тыва добывающих и обрабатывающих видов деятельности, значимых по объему электропотребления, в период 2005-2014 гг. не существовало. Выделенные "точки"-виды деятельности покрывают в среднем 85-90 % конечного отпуска энергии в промышленной сфере и около 85 % конечного отпуска энергии в непромышленной сфере округа.

Таблица 3. Принятое соответствие статей ОКОНХ и ОКВЭД

ОКОНХ	ОКВЭД
Электроэнергетика	Е. Производство и распределение электроэнергии, газа и воды
Топливная промышленность	СА. Добыча топливно-энергетических полезных ископаемых
Черная металлургия	DJ. Металлургическое производство и производство готовых металлических изделий
Цветная металлургия	
Химия и нефтехимия (без фармацевтической промышленности)	DF. Производство кокса, нефтепродуктов и ядерных материалов, DG. Химическое производство, DH. Производство резиновых и пластмассовых изделий
Лесная, деревообрабатывающая и целлюлозно-бумажная промышленность	DD. Обработка древесины и производство изделий из дерева, DE. Целлюлозно-бумажное производство; издательская и полиграфическая деятельность
Прочие отрасли промышленности	СВ. Добыча полезных ископаемых, кроме топливно-энергетических, Прочие виды деятельности обрабатывающих производств: DA, DB, DC, DI, DK, DL, DM, DN.
Сельское хозяйство, лесное хозяйство	А. Сельское хозяйство, охота и лесное хозяйство, В. Рыболовство, рыбоводство
Транспорт и связь	И. Транспорт и связь
Строительство	Ф. Строительство
Услуги	Прочие виды деятельности: G, H, J, K, L, M, N, O, Q.

Переход на иную форму статистического учета привел к следующим качественным изменениям в структуре значимых составляющих потребления электроэнергии Сибирского федерального округа:

- число региональных значимых "точек" электропотребления сократилось до 11, главным образом из-за объединения черной и цветной металлургии в единый вид деятельности;
- исчезла значимость объемов потребления энергии, ранее учитывающихся по топливной отрасли в Иркутской и Омской областях;
- в число значимых вошли потребности в энергии сферы услуг Томской области, Республик Тыва и Хакасия, чего ранее не наблюдалось;
- коммунальное хозяйство (выделялось по ОКОНХ отдельной позицией в электробалансе) в соответствии с ОКВЭД рассредоточено по нескольким позициям и смешано с другими услугами, поэтому выделить его в прежнем составе невозможно.

Таблица 4. Значимые составляющие* конечного электропотребления СФО (ОКВЭД)

	Добыча топливно-энергетических ископаемых (СА)	Металлургическое производство и производство готовых металлических изделий (DJ)	Химия и нефтехимия (DF, DG, DH)	Лесная, деревообработка, ЦБП, издательская, полиграфическая деятельность (DD, DE)	Проч. добывающ. и обрабатыв. производств (CB, DA, DB, DC, DI, DK, DL, DM, DN)	Транспорт без связи (I)	Услуги (G, H, J, K, L, M, N, O, Q) и связь	Население	Прочие виды деятельности
СФО 2005 г., млрд кВт.ч	8,0	68,9	8,6	2,9	10,1	14,4	22,1	20,2	8,1
в % от объема конечного потребления	5	42	5	2	6	9	14	12	5
В т.ч.: значимые составляющие (2005-2014 гг)									
Алтайский край + Республика Алтай									
Иркутская область									
Кемеровская область									
Красноярский край									
Новосибирская область									
Омская область									
Республика Бурятия									
Республика Тыва									
Республика Хакасия									
Томская область									
Забайкальский край									

* отмечены темным цветом

Как и ранее, ни строительство, ни сельское хозяйство, даже в совокупности с охотой, лесным хозяйством, рыболовством и рыбоводством по уровням электропотребления не являются значимыми ни в одном субъекте Федерации Сибирского федерального округа и пополняют собой балансирующую позицию.

В модели ПС 330 ячеек прогнозирования (число основных видов деятельности, умноженное на число регионов).

Заключение. Сравнение полученных структур полноразмерной модели прогнозирования электропотребления СФО (все регионы и все основные виды деятельности) и агрегированной модели прогнозирования (значимые составляющие электропотребления) показывает уменьшение размерности модели и, соответственно, поля прогнозирования в 5,5 раз.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Любимова Е.В. Учет структурирования исходных данных при прогнозировании электропотребления федерального округа // Информационные и математические технологии в научных исследованиях : Труды XI международной конференции / отв. ред. Л.В. Массель. - Иркутск : ИСЭМ СО РАН, 2006. - Часть 1. - С. 15-21.

2. Любимова Е.В., Кондратьева Е.В. Методы и результаты прогнозирования электропотребления федерального округа // Информационные и математические технологии в науке и управлении : Труды XII Байкальской Всероссийской конференции / отв. ред. Л.В. Массель ; ИСЭМ СО РАН. - Иркутск, 2007. - Часть I. - С. 103-110.
 3. Любимова Е.В. Построение модели топливно-энергетического баланса субъектов федерации // Информационные и математические технологии в науке и управлении : сб. тр. XIV Байкальской Всероссийской конференции / отв. ред. Л.В. Массель ; ИСЭМ СО РАН. - Иркутск, 2009. - Ч. III. - С. 7-13.
-

UDK 338.27:620.9:311

**ADAPTING FORECAST MODELS OF REGIONAL ENERGY CONSUMPTION
TO STATISTICAL CLASSIFICATION CHANGE**

Ekaterina V. Lyubimova

Candidate of Economic Sciences, Leading Researcher, Institute of Economics and Industrial Engineering Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences,
17 Ac.Lavrentiev Av. 630090 Novosibirsk Russia, e-mail: kat@ieie.nsc.ru

Annotation. Results of adaptation to Russian Classification of Economic Activities (RCEA) of power consumption forecasting models created at IEIE SB RAS are given. New structuring models is based on the revealed significant structural components of a power consumption of kinds of activity in each region of Siberian Federal District (SFD).

Keywords: power consumption, region, kind of activity, model, forecasting, statistics, classifier.

References

1. Lyubimova E.V. Uchet strukturirovaniya iskhodnyh dannyh pri prognozirovanii ehlektropotrebleniya federal'nogo okruga [Structuring the Input Data and its Allowance in Forecasting Electricity Consumption of a Federal District] // Informacionnye i matematicheskie tekhnologii v nauchnyh issledovaniyah : Trudy XI mezhdunarodnoj konferencii = Information and mathematical technologies in science and control : Proceedings of XI International Conference / отв. ред. L.V. Massel' = editor-in-chief Massel L.V. – Irkutsk : ISEM SO RAN = ESI SB RAS, 2006. - Vol. 1. - P. 15-21 (in Russian).
2. Lyubimova E.V., Kondratyeva E.V. Metody i rezul'taty prognozirovaniya ehlektropotrebleniya federal'nogo okruga [Forecasting Federal District Energy Consumption: Methods and Results] // Informacionnye i matematicheskie tekhnologii v nauke i upravlenii : Trudy XII Bajkal'skoj Vserossijskoj konferencii = Information and mathematical technologies in science and control : Proceedings of XII Baikal Russian Conference / отв. ред. L.V. Massel' = editor-in-chief Massel L.V. – Irkutsk : ISEM SO RAN = ESI SB RAS, 2007. - Vol. I. - P. 103-110 (in Russian).
3. Lyubimova E.V. Postroeniye modeli toplivno-ehnergeticheskogo balansa sub"ektov federacii [RF Member Fuel and Energy Balance: Model Construction] // Informacionnye i matematicheskie tekhnologii v nauke i upravlenii : sb. tr. XIV Bajkal'skoj Vserossijskoj konferencii = Information and mathematical technologies in science and control : Proceedings of XIV Baikal Russian Conference / отв. ред. L.V. Massel' = editor-in-chief Massel L.V. – Irkutsk : ISEM SO RAN = ESI SB RAS, 2009. - Vol. III. - P. 7-13 (in Russian).

ОБЛАЧНАЯ ПЛАТФОРМА IACRAAS: ТЕКУЩЕЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ¹

Грибова Валерия Викторовна

Д.т.н., зам. директора по научной работе, научный руководитель лаб. Интеллектуальных систем, e-mail: gribova@iacp.dvo.ru

Клещев Александр Сергеевич

Д.ф.-м.н., профессор, г.н.с. лаб. Интеллектуальных систем, e-mail: kleschev@iacp.dvo.ru

Москаленко Филипп Михайлович

К.т.н., н.с. лаб. Интеллектуальных систем, e-mail: philipmm@iacp.dvo.ru

Тимченко Вадим Андреевич

К.т.н., н.с. лаб. Интеллектуальных систем, e-mail: vadim@dvo.ru

Федорищев Леонид Александрович

К.т.н., н.с. лаб. Интеллектуальных систем, e-mail: fleo1987@mail.ru

Шалфеева Елена Арефьевна

К.т.н., с.н.с. лаб. Интеллектуальных систем, e-mail: shalf@iacp.dvo.ru

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт автоматизации и процессов управления Дальневосточного отделения Российской академии наук, 690041, Владивосток, Россия, ул. Радио, д.5

Аннотация. В материале представлены основные характеристики и функциональные возможности облачной платформы IACPaaS. Платформа поддерживает модели облачных вычислений PaaS и SaaS, имеет средства поддержки разработки облачных сервисов по различным технологиям; облегчает разработку интеллектуальных сервисов, имеющих базы знаний в сетевом представлении; имеет развитые средства формирования сетевых баз знаний и баз данных по метайнформации этих баз.

Ключевые слова: облачные технологии, модели облачных сервисов PaaS, SaaS и DaaS, базы знаний, базы данных, интеллектуальный сервис, технология разработки сервисов, виртуальное рабочее место

Введение. В настоящее время облачные технологии получили широкое распространение, несмотря на определенную критику, связанную с безопасностью, сохранностью информации и устойчивостью доступа к ней. При этом одинаково востребованы все ключевые модели облачных технологий и сервисы, их реализующие – IaaS, PaaS, SaaS, DaaS.

Рынок предоставляемых облачных решений и услуг достаточно разнообразен и предлагает как отдельные компоненты и услуги, так и широкий спектр комплексных решений (реализующих несколько моделей), например, Microsoft Azure, Google App Engine, Heroku, Amazon Web Services (AWS) и др.

¹ Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ (проекты 16-07-00340 и 15-07-03193) и ПФИ ДВО РАН «Дальний Восток» (проект 15-I-4-029).

Рассматривая решения, предлагающие средства разработки различных приложений (модель PaaS), можно выделить две следующие группы основных предложений, часто сочетающие в себе одновременно несколько решений [1,2, 6,8-11].

Средства разработки баз данных и баз знаний.

- *Средства разработки баз данных.* Большинство представленных на рынке облачных платформ поддерживают реляционное представление баз данных: AWS, cloud Foundry, Engine Yard, PHeroku, Microsoft Azure, Oracle и др. Некоторые платформы поддерживают другие типы представлений (сетевое – OSTIS, объектно-ориентированное – Protege).

- *Средства разработки баз знаний (и онтологий).* Подавляющее число таких средств, представленных на рынке, не являются облачными. Из облачных решений можно выделить редактор Protege, а также платформу OSTIS, основанную на идее модульного проектирования интеллектуальных систем из многократно используемых семантически совместимых компонентов [2].

Средства разработки приложений.

- *Средства автоматизации разработки web-сайтов различного назначения и порталов.* К ним относится огромное количество разнообразных CMS: Drupal, TYPO3, WordPress, Joomla, MediaWiki и мн. др., а также средства поддержки порталов. Среди последних можно выделить российские разработки: CLAVIRE [1] и систему управления интеллектуальными научными Интернет-ресурсами на основе онтологий и семантических сетей, разработанную в Новосибирске [6].

- *Специализированные средства разработки приложений, ориентированные на решение различных задач.* В настоящее время рынок предлагает огромное количество средств разработки, зависящих от задач – бизнес, аналитика, медицина и др. Среди российских решений следует выделить платформу CLAVIRE, сочетающую в себе не только модели IaaS и PaaS, но также и набор сервисов для задач разных типов, в том числе научных и ориентированных на обработку данных больших объемов.

- *Универсальные средства разработки приложений:* AWS, VMware Cloud Foundry, Engine Yard, Google App Engine, Heroku, IBM Bluemix, Microsoft Azure.

Таким образом, большинство представленных на рынке платформ имеет очень широкий спектр возможностей, поддерживает разработку приложений (в том числе с базами данных) на различных языках программирования, а также и инфраструктурные решения, чем иногда значительно затрудняют для пользователя выбор конкретного решения ("...leaving users in the agony of choice" [10]).

Предлагаемая вниманию платформа IACPaaS (Intelligent Applications, Control and Platform as a Service) так же, как и большинство представленных облачных платформ, поддерживает основные модели облачных вычислений PaaS и SaaS, но имеет и принципиальные отличия от всех предлагаемых решений. Основные из них: поддержка разработки облачных сервисов по различным технологиям, количество которых может быть расширено пользователями платформы; ориентация, прежде всего, на интеллектуальные сервисы (но не обязательно), имеющие специализированный компонент - базу знаний; сетевое представление баз знаний и баз данных и их формирование по метаинформации; поддержка разработки решателя задач как совокупности программных единиц, обменивающихся сообщениями.

Целью данной статьи является описание основных принципов и функциональных возможностей платформы IACPaaS.

1. Модель сервисов платформы IACPaaS. На рис. 1 представлена модель предоставляемых сервисов платформы IACPaaS (справа) и ее сравнение с традиционным подходом и основными облачными моделями предоставления сервисов.

Личный фонд - это совокупность единиц хранения, либо созданных пользователем платформы, либо содержащий ссылки на единицы хранения фонда платформы или их копии (по согласованию с владельцем единицы хранения).

Платформа обеспечивает безопасность и защиту от нелегитимного пользователя и некорректных действий.

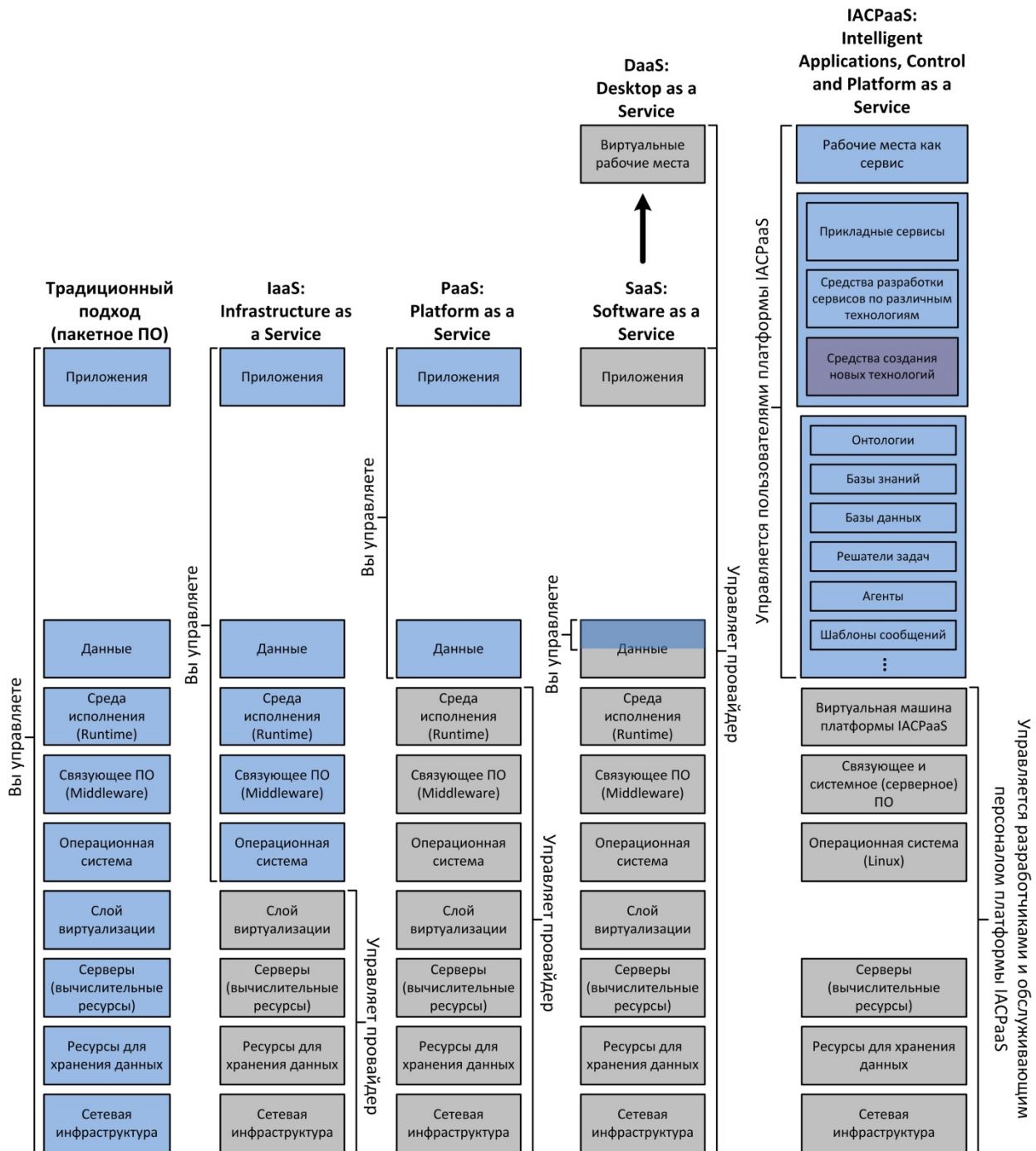


Рис. 1. Различные модели предоставления сервисов

2. Данные. *Данными* на платформе IASPaas являются: базы знаний, базы данных, метайнформация (в качестве метайнформации может выступать онтология), а также декларативные компоненты программных ресурсов - решателей задач, агентов, шаблонов сообщений для коммуникации агентов.

Метайнформация - это единица хранения, которая описывает терминологию, структуру, а также набор ограничений и условий на формирование данных Фонда и единиц хранения других типов. *Базы данных* и *базы знаний* имеют общепринятый смысл, за исключением *двухуровневого грамматического* подхода к их формированию и представлению.

Решателем задач облачной платформы IASPaas является компонент облачного сервиса, обрабатывающий доступное ему содержимое Фонда и инкапсулирующий бизнес-логику решения задачи. Решатель задач состоит из набора агентов – программных компонентов, взаимодействующих друг с другом посредством обмена сообщениями [3-5].

Все данные имеют *сетевое* представление - размеченный иерархический оргграф с возможными петлями и циклами. Декларативные части агентов, шаблонов сообщений, решателей задач, содержат спецификации соответствующих программных ресурсов. При этом декларативное (сетевое) представление агента или шаблона сообщений дополняется процедурным представлением - исполняемым кодом продукций агента или методов обработки содержимого сообщения.

Формат хранения всех видов информационных ресурсов (данных) на платформе IASPaas является единым, что обеспечивает универсальность их обработки: единый программный интерфейс для доступа к данным всех типов, а также единый редактор для формирования и сопровождения.

Основное отличие и особенность сетевого представления всех видов данных IASPaas, за исключением метайнформации, определяется *двухуровневым грамматическим подходом* к формированию, который предполагает, что данные представляются на формальном языке в терминах абстрактного синтаксиса. В роли абстрактного синтаксиса выступает метайнформация: уникальная для баз данных, баз знаний, и «единая» для деклараций агентов и других программных ресурсов, стандартизирующая их описание в Фонде. Формирование всех единиц хранения по метайнформации осуществляется сверху-вниз, что интуитивно понятно и естественно для пользователей - разработчиков единиц хранения.

Метайнформация описывается в терминах *метаязыка*, подробно описанного в [6] с помощью унифицированного облачного редактора описания метайнформации. Остальные типы данных формируются по метайнформации с помощью редактора, интерфейс которого автоматически формируется по метайнформации. Редакторы метайнформации и информации являются инструментальными сервисами платформы.

Хранимые на платформе данные могут быть экспортированы во внешние форматы, набор которых является расширяемым

3. Приложения. *Приложениями* являются прикладные и инструментальные сервисы, а также средства создания новых технологий.

Платформа IASPaas, как и большинство облачных платформ, имеет средства разработки всех компонентов информационных систем. Платформа имеет средства разработки инструментальных и прикладных сервисов по предлагаемым *технологиям*. Разработка (создание или модификация) компонентов сервисов осуществляется в

соответствии с работами (наборами полномочий, поддерживаемыми инструментами платформы).

Набор методов и средств для создания компонентов сервисов, заданный порядок выполнения этих работ, позволяющий построить сервис, зафиксированы в информационных ресурсах вида «*работа*» и «*технология*». Пользователи могут создавать новые технологии, описывая в новых информационных ресурсах «*работа*» и «*технология*» типы компонентов сервиса, работы по их созданию и порядок выполнения этих работ.

Особенностями платформы IASaaS, которые отличают ее от остальных платформ, являются **поддержка разработки интеллектуальных сервисов** (в архитектуре которых имеется специализированный компонент - база знаний), **а также разработка облачных сервисов по нескольким технологиям**: базовой и специализированным. В настоящее время платформа поддерживает разработку сервисов по трем технологиям:

- базовой (универсальной) технологии разработки сервисов,
- технологии разработки сервисов с виртуальной реальностью,
- технологии разработки сервисов на основе расширяемого редактора.

Разработка сервисов по базовой технологии подробно изложена в работах [3-5]. В общем случае создание сервиса по базовой технологии включает создание множества (возможно пустого) входных информационных ресурсов - баз данных и баз знаний, структуры (метаинформации) выходных информационных ресурсов (может не быть), а также решателя задач, как совокупности программных единиц (*агентов*), обменивающихся сообщениями. Если необходимые для сервиса компоненты имеются в Фонде платформы, то их необходимо интегрировать в новый создаваемый сервис.

Технологию разработки сервисов с виртуальной реальностью удобно использовать в случае, если сервис должен содержать графические 2D или 3D сцены. Особенностью данной технологии является наличие интерпретатора графических сцен по декларативной модели, которая представляется информационным ресурсом.

Технологию разработки сервисов на основе расширяемого редактора удобно использовать в случае, если результатом работы сервиса является некоторый выходной информационный ресурс, формирование которого по метаинформации этого информационного ресурса осуществляется "сверху-вниз". Разработка решателя задач в этом случае представляет собой добавление к метаинформации выходного информационного ресурса, агентов, генерирующих либо фрагменты выходного информационного ресурса (результата работы сервиса), либо выполняющие другие, требуемые для работы сервиса преобразования.

Платформа поддерживает запуск и выполнение сервисов, в том числе, реализованных на сторонних вычислительных архитектурах. Модули сервиса могут быть реализованы на произвольных гетерогенных архитектурах, платформа допускает взаимодействие со сторонними модулями на основе HTTP-протокола.

Разработка агентов осуществляется на языке Java, платформа обеспечивает пользователя набором системных сервисов, облегчающих их создание. Пользовательский интерфейс (web-интерфейс) может быть создан несколькими способами: с использованием набора интерфейсных элементов, поддерживаемых специализированным интерфейсным агентом, а также средствами JavaScript и Flash.

4. Виртуальные рабочие места. Для зарегистрированных пользователей платформы предоставляются виртуальные рабочие места – личные кабинеты зарегистрированных пользователей. Личные кабинеты представляют набор инструментов управления личными данными и полномочиями конкретного пользователя.

К числу функциональных возможностей относятся: запуск сервисов, создание сервисов по предлагаемым технологиям, создание компонентов сервиса с помощью работ (инструментального сервиса или их набора), создание новых работ и технологий. Зарегистрированный пользователь также может создать копию единиц хранения Фонда платформы либо ссылки на них в личном кабинете (по согласованию с владельцем единицы хранения), передать созданные им единицы хранения в Фонд платформы, определив условия их использования – "свободный доступ" или "ограниченный доступ".

Зарегистрированные пользователи могут иметь дополнительные роли: *распорядитель* (управляющий) единицы хранения, *администратор* портала (раздела). Помимо перечисленных зарегистрированных пользователей платформа имеет *администратора платформы*, который отвечает за Фонд платформы в целом, назначает администраторов порталов, удаляет зарегистрированных пользователей, если они нарушают политику платформы.

Заключение. В работе описаны основные характеристики и функциональные возможности облачной платформы IASPaas. В настоящее время ведутся активные работы по расширению ее функциональных возможностей и сервисных функций. Так, коллектив авторов ведет работы по поддержке на платформе коллективной разработки облачных сервисов и их компонентов, автоматизации технологических этапов разработки сервисов по различным технологиям. Важными задачами являются поддержка нескольких типов интерфейсов, усовершенствование методов и средств обеспечения ее безопасности и защиты от нелегитимного пользователя и некорректных действий, создание новых усовершенствованных методов и операций над информационными ресурсами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бухановский А.В., Васильев В.Н., Виноградов В.Н., Смирнов Д.Ю., Сухоруков С.А., Яппаров Т.Г. CLAVIRE: перспективная технология облачных вычислений второго поколения // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. 2011. Т. 54. № 10. С. 7-14.
2. Голенков В.В., Гулякина Н.И. Открытый проект, направленный на создание технологии компонентного проектирования интеллектуальных систем / III междунар. Научно-техн. конф. «Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем» (OSTIS-2013): материалы. Минск: БГУИР, 2013. С. 55-77.
3. Грибова В.В., Клещев А.С., Крылов Д.А., Москаленко Ф.М., Тимченко В.А., Шалфеева Е.А. Базовая технология разработки интеллектуальных сервисов на облачной платформе IASPaas. Часть 1. Разработка базы знаний и решателя задач // Программная инженерия. 2015. № 12. С. 3-11.
4. Грибова В.В., Клещев А.С., Крылов Д.А., Москаленко Ф.М., Тимченко В.А., Шалфеева Е.А. Базовая технология разработки интеллектуальных сервисов на облачной платформе IASPaas. Часть 2. Разработка агентов и шаблонов сообщений // Программная инженерия. 2016. №1. С. 14-20. DOI: 10.17587/prin.7.14-20.

5. Грибова В.В., Клещев А.С., Крылов Д.А., Москаленко Ф.М., Тимченко В.А., Федорищев Л.П., Шалфеева Е.А. Базовая технология разработки интеллектуальных сервисов на облачной платформе IASaaS. Часть 3. Разработка интерфейса и пример создания прикладных сервисов // Программная инженерия. 2016. Т. 7. № 3. С. 99-107. DOI: 10.17587/prin.7.99-107.
6. Загорулько Ю.А., Загорулько Г.Б., Боровикова О.И. Технология создания тематических интеллектуальных научных интернет-ресурсов, базирующаяся на онтологии // Программная инженерия, 2016, № 2. –С. 51-60.
7. Gribova V.V., Kleshchev A. S., Moskalenko F. M., Timchenko V.A. A Model for Generation of Directed Graphs of Information by the Directed Graph of Metainformation for a Two_Level Model of Information Units with a Complex Structure // Automatic Documentation and Mathematical Linguistics. 2015. Vol. 49, No. 6. С. 221-231.
8. CloudServiceMarket.info. A comprehensive overview of Cloud Computing services. Режим доступа: <http://www.cloudservicemarket.info/default.aspx> (дата обращения 14.03.2016).
9. Le Sun, H. Dong, F.Khadeer Hussain, O. Khadeer Hussain, E. Chang. Cloud service selection: State-of-the-art and future research directions // Journal of Network and Computer Applications. 2014. Vol. 45. Pp. 134–150.
10. Nepal S., Zhang M., R. Ranjan, A. Haller, Georgakopoulos D. An Ontology-based System for Cloud Infrastructure Services' Discovery // Proc. 8th IEEE International Conference on Collaborative Computing: Networking, Applications and Worksharing. 2012. Режим доступа: <http://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1212/1212.0156.pdf> (дата обращения 13.03.2016).
11. Qi Zhang, Lu Cheng, R. Boutaba. Cloud computing: state-of-the-art and research challenges // J. Internet Serv App. 2010. №1. Pp. 7–18. DOI: 10.1007/s13174-010-0007-6.

IACPAAS CLOUD PLATFORM: CURRENT STATE AND EVOLUTION TRENDS

Valeriya V. Gribova

Dr.Sc. (Tech.), senior scientific employee, Research Deputy Director
e-mail: gribova@iacp.dvo.ru

Alexander S. Kleshev

Dr.Sc. (Phys.-Math.), chief scientific employee of the Intelligent System Laboratory
e-mail: kleshev@iacp.dvo.ru,

Philip M. Moskalenko

PhD (Tech.), scientific employee of the Intelligent System Laboratory
e-mail: philipmm@iacp.dvo.ru

Vadim A. Timchenko

PhD (Tech.), scientific employee of the Intelligent System Laboratory
e-mail: vadim@dvo.ru

Leonid A. Fedorischev

PhD (Tech.), scientific employee of the Intelligent System Laboratory
e-mail: fleo1987@mail.ru

Elena A. Shalfeeva

PhD (Tech.), senior scientific employee of the Intelligent System Laboratory
e-mail: shalf@iacp.dvo.ru

The Institute of Automation and Control Processes, 5, Radio St., Vladivostok, 690041, Russia

Annotation. The paper contains the main characteristics and functionality of the IACPaaS cloud platform. The platform supports PaaS and SaaS models of cloud computing. There are the tools for support of cloud services development by means of various technologies; the tools for network knowledge bases and databases formation of in terms of their metainformation. The platform facilitates development of the intellectual services having knowledge bases in network representation.

Keywords: cloud computing, PaaS, SaaS and DaaS, knowledge base, database, Intelligent service, technology of service development, virtual desktop

References

1. Buhanovskij A.V., Vasil'ev V.N., Vinogradov V.N., Smirnov D.Ju., Suhorukov S.A., Japparov T.G. CLAVIRE: perspektivnaja tehnologija oblachnyh vychislenij vtorogo pokolenija [CLAVIRE: perspective technology of cloud computing of the second generation] / Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Priborostroenie = News of higher educational institutions. Instrument making. 2011. №. 10. Pp. 7-14 (in Russian).
2. Golenkov V.V., Guljakina N.I. Otkrytyj proekt, napravlenyj na sozdanie tehnologii komponentnogo proektirovanija intellektual'nyh sistem [The open project directed to creation of component design technology of intellectual systems] / III mezhdunar. nauchno-tehn. konf. «Otkrytye semanticheskie tehnologii proektirovanija intellektual'nyh sistem» (OSTIS-2013):

- materialy = Proc. of III Int. sci.-techn. conf. "Open semantic technologies of intellectual system design" (OSTIS-2013). Minsk: BSUIR, 2013. Pp. 55-77 (in Russian).
3. Gribova V.V., Kleshchev A.S., Krylov D.A., Moskalenko F.M., Timchenko V.A., Shalfeeva E.A. Bazovaja tehnologija razrabotki intellektual'nyh servisov na oblachnoj platforme IACPaaS. Chast' 1. Razrabotka bazy znaniy i reshatelja zadach [Basic technology of development of intellectual services on the cloudy IACPaaS platform. Part 1. Development of the knowledge base and solver of tasks] / Programmaja inzhenerija = Program engineering. 2015. № 12. Pp. 3-11 (in Russian).
 4. Gribova V.V., Kleshchev A.S., Krylov D.A., Moskalenko F.M., Timchenko V.A., Shalfeeva E.A. Bazovaja tehnologija razrabotki intellektual'nyh servisov na oblachnoj platforme IACPaaS. Chast' 2. Razrabotka agentov i shablonov soobshhenij [Basic technology of development of intellectual services on the cloudy IACPaaS platform. Part 2. Development of the agents and message templates] / Programmaja inzhenerija = Program engineering. 2016. № 1. Pp. 14-20. DOI: 10.17587/prin.7.14-20 (in Russian).
 5. Gribova V.V., Kleshchev A.S., Krylov D.A., Moskalenko F.M., Timchenko V.A., Fedorishhev L.R., Shalfeeva E.A. Bazovaja tehnologija razrabotki intellektual'nyh servisov na oblachnoj platforme IACPaaS. Chast' 3. Razrabotka interfejsa i primer sozdaniya prikladnyh servisov [Basic technology of development of intellectual services on the cloudy IACPaaS platform. Part 3. The development of the interface and the example of service applications creating] / Programmaja inzhenerija = Program engineering. 2016. Vol. 7. № 3. Pp. 99-107. DOI: 10.17587/prin.7.99-107 (in Russian).
 6. Zagorulko Yu.A., Zagorulko G. B., Borovikova O. I. Tehnologija sozdaniya tematiceskikh intellektual'nyh nauchnyh internet-resursov, bazirujushhajasja na ontologii [Technology of creation of thematic intelligent scientific Internet resources based on ontology] / Programmaja inzhenerija = Program engineering, 2016. № 2. Pp. 51-60.
 7. Gribova V.V., Kleshchev A. S., Moskalenko F. M., Timchenko V.A. A Model for Generation of Directed Graphs of Information by the Directed Graph of Metainformation for a Two_Level Model of Information Units with a Complex Structure // Automatic Documentation and Mathematical Linguistics. 2015. Vol. 49, № 6. Pp. 221-231.
 8. Le Sun, H. Dong, F.Khadeer Hussain, O. Khadeer Hussain, E. Chang Cloud service selection: State-of-the-art and future research directions // Journal of Network and Computer Applications. 2014. Vol. 45. Pp. 134–150.
 9. Nepal S., Zhang M., R. Ranjan, A. Haller, Georgakopoulos D. An Ontology-based System for Cloud Infrastructure Services' Discovery // Proc. 8th IEEE International Conference on Collaborative Computing: Networking, Applications and Worksharing. 2012. <http://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1212/1212.0156.pdf>
 10. CloudServiceMarket.info. A comprehensive overview of Cloud Computing services. Режим доступа: <http://www.cloudservicemarket.info/default.aspx> (14.03.2016).
 11. Qi Zhang, Lu Cheng, R. Boutaba Cloud computing: state-of-the-art and research challenges // J. Internet Serv App. 2010. №1. Pp. 7–18. DOI: 10.1007/s13174-010-0007-6.

МОДЕЛИ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ АКАДЕМИЧЕСКОГО ВЕБ-ПРОСТРАНСТВА

Клименко Ольга Анатольевна

к.ф.-м.н., с.н.с. Институт вычислительных технологий СО РАН
630090 Новосибирск, ул. Лаврентьева 6, e-mail: klimenko@ict.nsc.ru

Аннотация. В статье представлены некоторые результаты исследования академического веб-пространства методами вебометрики, теории графов и численными методами. Под академическим веб-пространством понимаются сайты университетов, институтов, научных центров, объединенных в сообщество гиперссылками. В работе получены новые модели представления академического веб-пространства, названные «звезда», «шар» и «медуза».

Ключевые слова: вебометрика, веб-пространство.

Введение. Развитие нового научного направления, получившего название вебометрики, началось в 1997 г. после работы Т. Алминда и П. Ингверсена [9]. Вебометрика возникла путем применения подходов библиометрии к веб-пространству. Под веб-пространством понимаются сайты и гиперссылки между ними. Анализ сайтов университетов методами вебометрики в 2004 году начала проводить Cybermetrics Lab – исследовательская группа из Высшего совета по научным исследованиям Испании (CSIC). Рейтинги научных центров и институтов проводятся Cybermetrics Lab с 2008 года и называются Webometrics [11]. Рейтинги сайтов научных институтов строились в Институте вычислительных технологий СО РАН [5], а также в Институте прикладных математических исследований Карельского научного центра РАН [3]. Методика проведения рейтингов менялась, оставался неизменным принцип построения, основанный на анализе гиперссылок и контента сайта.

1. Постановка задачи. Исследовалось отображение научно-исследовательской деятельности в интернете. Для этого в сети интернет выделяли часть, которую определили как академическое веб-пространство. В работе под академическим веб-пространством понимается группа сайтов университетов, научных институтов или центров одного государства. Внутри академического веб-пространства искались лидеры, кластеры сайтов, объединенных по территориальной принадлежности или по тематической.

2. Методы исследования. Для изучения веб-пространства применялись методы вебометрики, теории графов, а также численные методы. В работе под вебометрикой (англ. webometrics) понимается раздел информатики, в рамках которого исследуются количественные аспекты конструирования и использования информационных ресурсов, структур и технологий применительно к Всемирной паутине.

Сайты исследовались с помощью сервисов, которые предоставляют поисковые системы, а также с помощью поисковых роботов - краулеров (краулер — программа, предназначенная для перебора страниц сайта с целью занесения информации о нем в базу данных). Краулер анализирует содержимое страницы, сохраняет его в некотором специальном виде и отправляется по ссылкам на следующие страницы.

2.1. Построение рейтингов. Для определения лидеров на основе рейтинга Webometrics был построен рейтинг институтов Сибирского отделения РАН (СО РАН) [5]. Этот рейтинг сравнивался с рейтингом организаций Общества Фраунгофера в Германии, научных институтов Сербии, университетов Казахстана и др. Параметры рейтинга определялись с помощью сервисов, которые предоставляют поисковые системы. Основными характеристиками известности и авторитетности научного сайта являются число внешних гиперссылок на сайт, объем сайта, публикации, найденные на сайте системой Google Scholar. Академия Google (англ. Google Scholar) осуществляет поиск полных текстов научных публикаций всех форматов и тематик. Из системы Google Scholar можно узнать список статей, в которых цитируется рассматриваемая статья. Эта функция, в частности, обеспечивает индекс цитирования, ранее доступный только в Scopus и Web of Knowledge. Данный индекс используется при ранжировании сайтов.

Рейтинг выявил группу лидирующих сайтов в разных научных сообществах. Состав группы изменяется со временем. В предметных областях обычно лидирует один или два сайта.

2.2. Исследование сайта с помощью программы краулера. Проблемы, связанные с вебометрическим подходом – это отсутствие открытой информации о работе поисковых роботов, а также сложность в извлечении этих данных, так как все поисковые системы вводят ограничения на автоматический сбор информации. К тому же данные, предоставляемые поисковыми системами, не дают всю нужную информацию. Для построения рейтинга сайтов их достаточно, но для более глубокого исследования веб-пространства их не хватает. Необходима своя программа-краулер, которая путем обхода и анализа всех страниц на заданном множестве сайтов выявляет связи между элементами множества. В результате работы программы получается база данных, в которой содержится разнообразная информация о сайтах (ссылки, количество страниц на сайте, количество файлов формата pdf, doc, ppt, ключевые слова и т. д.). Основной плюс этого подхода в том, что можно учесть особые случаи, добавить новый функционал, проверить достоверность результатов.

2.3. Использование теории графов. Для детального анализа веб-пространства можно использовать методы теории графов [4]. Отношение между сайтами в графе задается наличием ссылок между ними. Дуга графа выходит из вершины v и входит в вершину u , если сайт, соответствующий вершине v , содержит хотя бы одну ссылку на сайт, соответствующий вершине u . Количество ссылок с одного сайта на другой рассматривается как вес соответствующей дуги. Ссылки сайта на себя не учитываются. Таким образом, веб-графы являются ориентированными графами, в которых любая пара вершин может быть соединена одной дугой или двумя противоположно направленными дугами.

С помощью теории графов были изучены структурные свойства академических сообществ, определены вершины, которые образуют сильно связную компоненту [6,7]. Группа сайтов образует сильно связную компоненту, если передвигаясь по ссылкам соответствующих сайтов, можно посетить любой сайт компоненты.

С помощью численных методов, применяемых в теории графов, были найдены кластеры или клики внутри веб-пространства СО РАН [2]. Внутри кластеров связей между сайтами больше, чем в среднем в графе.

3. Модели представления веб-пространства. Американскими математиками в 2000 году была предложена модель описания веб-пространства в виде галстука-бабочки [10]. Узел галстука образует сильно связная компонента. Левая часть модели состоит из сайтов, гиперссылки из которых ведут в сильно связную компоненту. Правую часть модели образуют сайты, в которые ведут гиперссылки из сильно связной компоненты.

Полученные с помощью программы-краулера данные о связях между сайтами Сибирского отделения РАН показали, что представление в виде галстука-бабочки не подходит для академического веб-пространства. Дело в том, что левая часть «бабочки» либо отсутствует, либо содержит единичные сайты.

Для представления веб-пространства СО РАН были опробованы модели в виде звезды, шара, круга, круга с отростками или «медузы». В модели «звезда» в центре находятся сайты с наибольшим числом входящих и исходящих гиперссылок. Они образуют ядро звезды, сайты менее всего связанные находятся на периферии (рис. 1, 2).

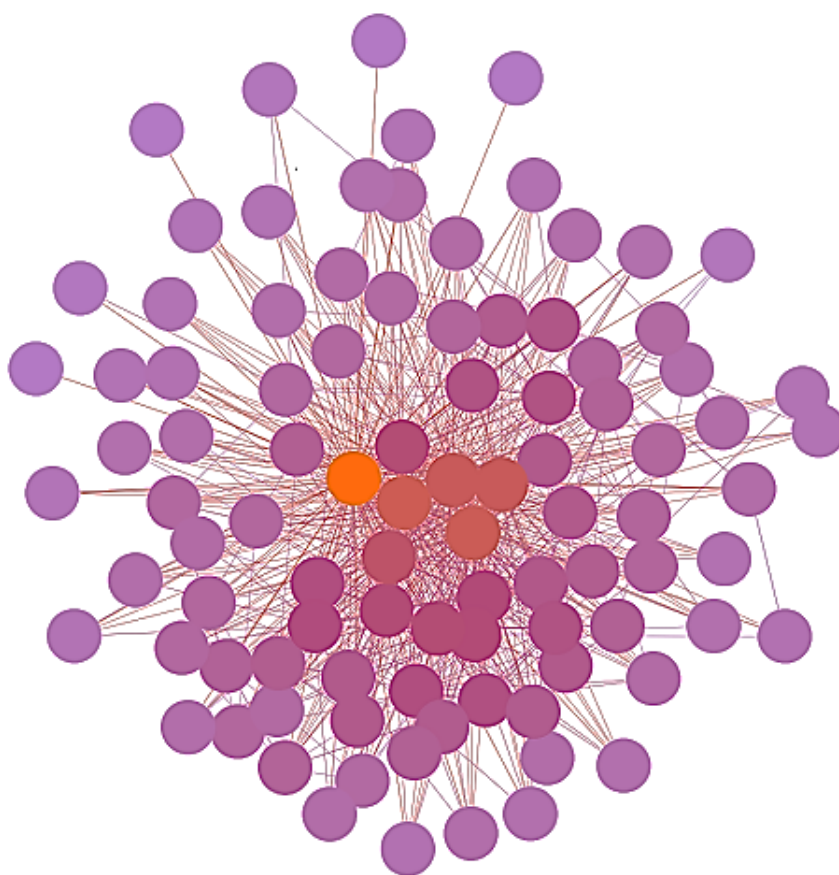


Рис. 1. Пространство СО РАН. Модель «звезда»

Модели были опробованы для представления Общества Фраунгофера в Германии (рис. 2), академического пространства Сербии и позволили визуализировать устройство академических пространств, сравнить их друг с другом и с «неакадемическими» сообществами.

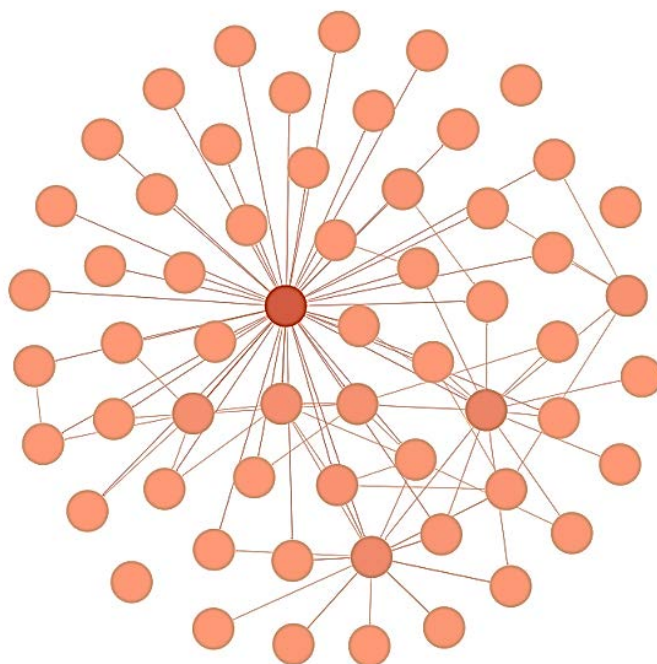


Рис. 2. Представления Общества Фраунгофера в Германии. Модель «звезда». В центре находится головной сайт Общества Фраунгофера, который обладает наибольшим числом входящих и исходящих ссылок

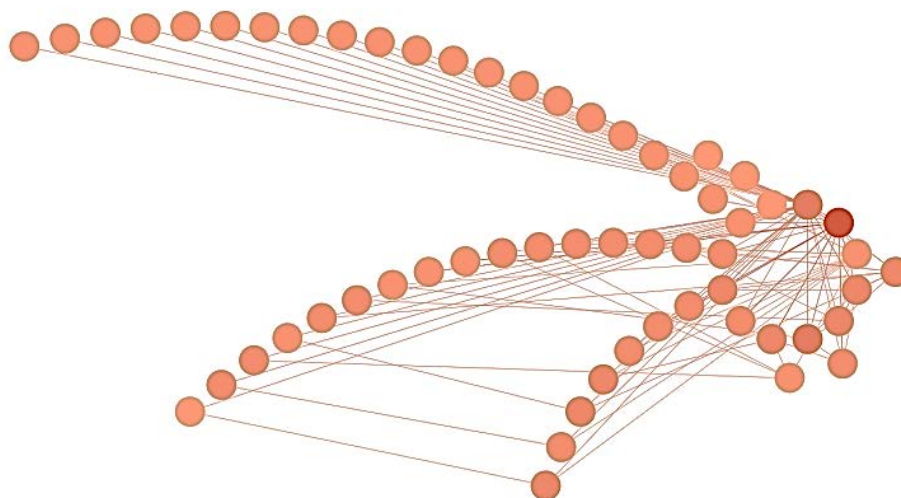


Рис. 3. Представление академического пространства Сербии. Модель «медуза»

В модели «медуза» (рис. 3) на окружности расположены сайты, которые образуют сильно связанную компоненту, в которой из любого сайта можно попасть в любой другой сайт по гиперссылкам за конечное число шагов.

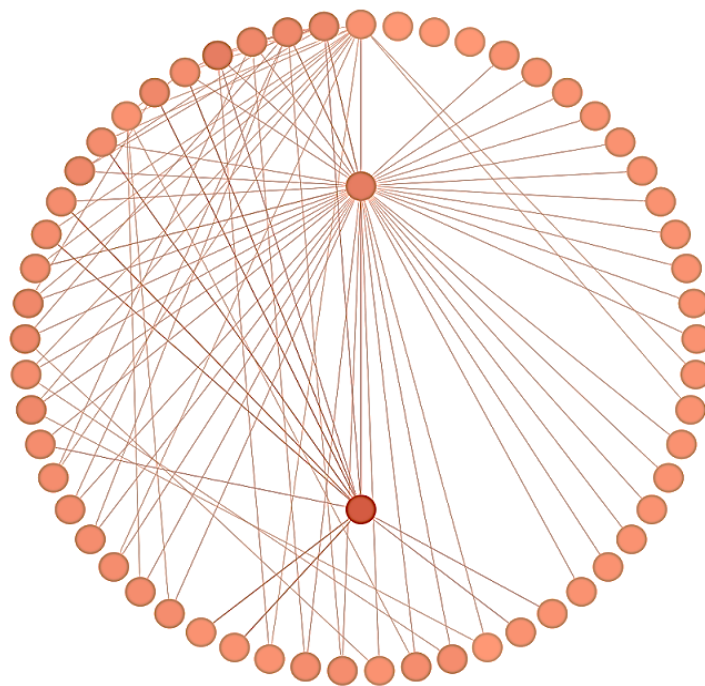


Рис. 4. Представление академического пространства Сербии. Модель «шар».

В модели «шар» (рис. 4) внутри круга находятся сайты научных организаций, которые имеют больше всего входящих и исходящих ссылок, это Сообщество институтов Сербии (<http://www.vinca.rs/zis>) и Сербская академия науки и искусства (<http://www.sanu.ac.rs>).

Для того чтобы понять разницу между академическим веб-пространством и «неакадемическими» рассматривались группы сайтов Красноярского края, агропромышленного комплекса Сибири. В группу сайтов Красноярского края входили сайты Правительства, мэрии и других административных объединений. Было замечено, что больше всего входящих ссылок имеют сайты Правительства Красноярска и мэрии, большинство исходящих ссылок с этих сайтов шли на сайт Правительства РФ и сайт Президента РФ.

В группу сайтов агропромышленного комплекса входили научно-исследовательские институты, фирмы, а также Министерство сельского хозяйства. Портал Сибирского отделения Академии сельскохозяйственных наук имел много входящих и исходящих ссылок, а сайт министерство – много входящих и мало исходящих (рис. 5).

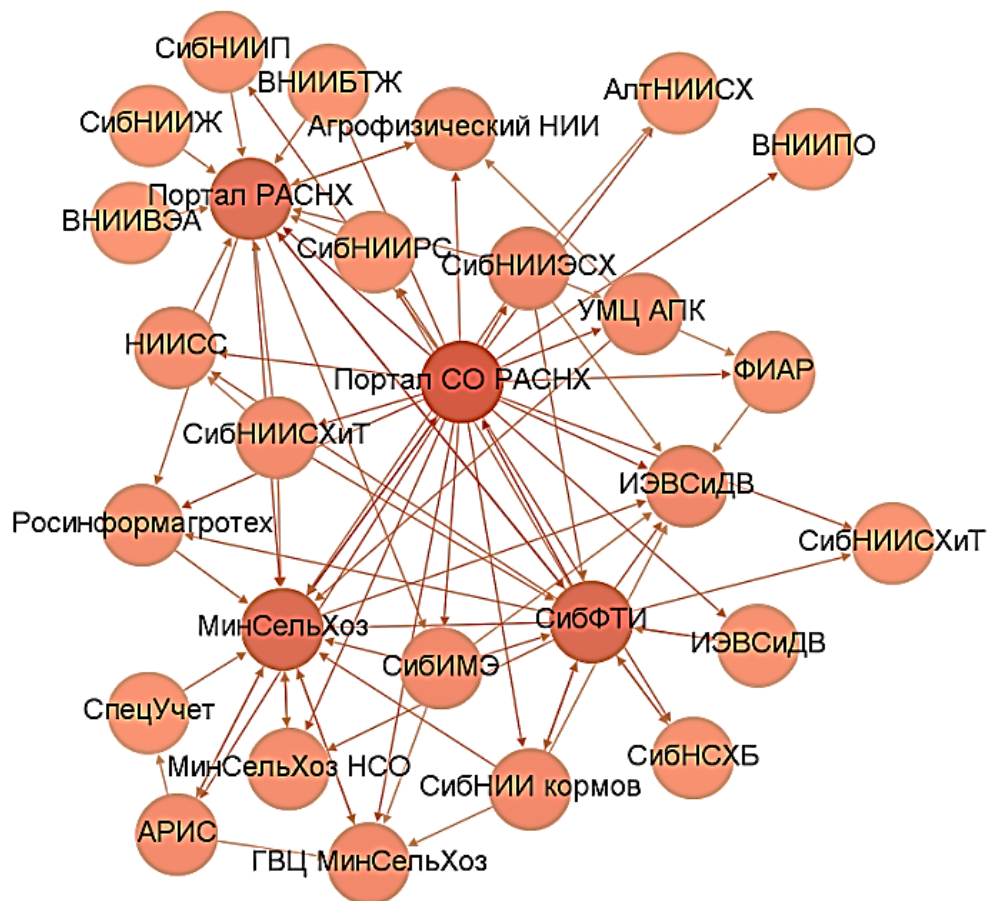


Рис. 5. Представление агропромышленного комплекса Сибири.

Сайт Министерства сельского хозяйства имеет больше всего входящих ссылок, исходящих мало.

Заключение. Исследования показали, что для академического веб-пространства модель «галстук-бабочка» не подходит. В целом академические сообщества имеют схожую структуру в веб-пространстве. Ядро сообщества составляют сайты, которые образуют сильно связанную компоненту, то есть из любого сайта можно попасть в любой другой за несколько шагов. В сильно связанную компоненту может входить от 20% до 80% сайтов. В каждом сообществе есть 1-3 сайта с очень большим количеством входящих и исходящих ссылок. Большие сообщества имеют сильно связанное ядро, в котором из любого сайта можно по ссылкам попасть в любой другой сайт за 2-5 шагов. Существуют сообщества физико-математические, химико-биологические и др., которые пересекаются. Гипотеза, что внутри больших академических сообществах есть кластеры, объединенные по географическому признаку не подтвердилась [1,2]. Обычно, если сайт имеет большое число входящих ссылок, то он имеет большое число исходящих ссылок.

Благодарность. Автор выражает искреннюю признательность программисту Института систем информатики имени А.П. Ершова СО РАН Филипповой Марине Яковлевне за большую работу по визуализации графов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бабушкин А.Г., Клименко О.А., Федоров Р.Ю. Междисциплинарные подходы к изучению типологии и связей интернет-сообществ // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2013. № 9. С. 12–19.
2. Клименко О.А., Медведев А.Н. Алгоритмы и методы нахождения сообществ на примере ВЕБ-пространства Сибирского Отделения РАН и общества Фраунгофера в Германии // Математическое моделирование и вычислительно-информационные технологии в междисциплинарных научных исследованиях: Материалы IV Всероссийской конференции. - 2014. Иркутск: Институт динамики и теории управления СО РАН. С.34-34.
3. Печников А.А., Илюкевич О.Г. Рейтинг официальных web-сайтов университетов России и Финляндии: сравнительный анализ // Информационные ресурсы России. 2008. № 3. С. 25–28.
4. Харари Ф. Теория графов. – М.: Мир, 1973.
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.
6. 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.
7. 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.
8. Albert R., Barabási A.-L. Statistical mechanics of complex networks // Reviews of Modern Physics. — 2002. — V. 74. — N 1. — P. 47-97
9. Almind T., Ingwersen P. Infometric analyses on the World Wide Web: methodological approaches to ‘webometrics’ // Journal of Documentation. 1997. V. 53. N 4. P. 404-426.
10. Broder A., Kumar R., Maghoul F., Raghavan P., Rajagopalan S., Stata R., Tomkins A., Wiener J. Graph structure in the Web // Computer Networks. 2000. Vol. 33. № 1–6. P. 309–320.
11. Ranking Web (Webometrics) of Research Centers [Электронный ресурс]. URL: <http://research.webometrics.info/> (дата обращения: 14.03.2016).

UDK 004.738.5

MODELS OF ACADEMIC WEB SPACE

Olga A. Klimenko

Dr., Senior Researcher, Institute of Computational Technologies Siberian Branch of Russian Academy of Sciences 6, Ac. Lavrentieva ave., 630090, Novosibirsk, Russia,
e-mail: klimenko@ict.nsc.ru

Annotation. This article presents some results of a study of the academic web space by webometrics methods, graph theory and numerical methods. Under the academic web space refers to websites of universities, institutes, research centers, united in community

hyperlinks. The paper presents new models of academic web space named "star", "ball" and "jellyfish".

Keywords: Webometrics, academic web space.

References

1. Babushkin A.G, Klimenko O.A., Fedorov R.Yu. Mezhdistsiplinarnye podhody k izucheniyutipologii I svyazei internet-soobschestv [Interdisciplinary approaches to the study of typology and links online communities] // Actual problems of the humanities and natural sciences. 2013. N 9. P. 12–19.
2. Klimenko O.A., Medvedev A.N. Algoritmy i metody nahozhdeniya soobschestv na primere veb-prostranstva Sibirskogo otdeleniya RAN I obschestva Fraungofera v Germanii.[Algorithms and methods for finding communities by the example of web space of Siberian Branch Academy of Sciences and the Fraunhofer Society in Germany] // Mathematical modeling and computational and information technologies in the interdisciplinary research: Proceedings of the IV Conference. - 2014 Irkutsk: Institute of Dynamics and Control Theory SB RAS. P.34-34.
3. Pechnikov A.A., Ilyukevich O.G. Reiting ofitsialnyh veb-saitov universitetov Rossii I Finlyandii: sravnitelnyi analiz [Rating the official web-site of Russian Universities and Finland: comparative analysis] // Information Resources of Russia. 2008. N 3. P. 25–28.
4. Harari F. Teoriya grafov [Graph Theory] – M.: Mir, 1973.
5. Shokin Yu.I., Klimenko O.A., Rychkova E.V., Shabalnikov I.V. Reiting saitov nauchnyh organizatsii SO RAN [Rating sites of scientific organizations of the SB RAS] // Computational technologies. 2008. V. 13. N 3. P. 128-135.
6. Shokin Yu.I., Vesnin A. Yu., Dobrynin A.A., Klimenko O.A., Rychkova E.V., Petrov I.S. Issledovanie nauchnogo veb-prostranstva Sibirskogo otdeleniya akademii nauk [Research scientific web space of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences] // Computational technologies. 2012. V. 17. N 6. P. 85-98.
7. Shokin Yu.I., Vesnin A.Yu., Vesnin A.Yu., Dobrynin A.A., Klimenko O.A., Rychkova E.V. Analiz veb-prostranstva akademicheskikh soobschestv metodami vebometriki I teorii grafov [Analysis of academic web spaces by webometrics and methods of graph theory] // Information technologies. 2014. N12. P. 31-40.
8. Albert R., Barabási A.-L. Statistical mechanics of complex networks // Reviews of Modern Physics. — 2002. — V. 74. — N 1. — P. 47-97
9. Almind T., Ingwersen P. Infometric analyses on the World Wide Web: methodological approaches to 'webometrics' // Journal of Documentation. 1997. V. 53. N 4. P. 404-426.
10. Broder A., Kumar R., Maghoul F., Raghavan P., Rajagopalan S., Stata R., Tomkins A., Wiener J. Graph structure in the Web // Computer Networks. 2000. Vol. 33. № 1–6. P. 309–320.
11. Ranking Web (Webometrics) of Research Centers [Electronic resource]. URL: <http://research.webometrics.info/> (treatment date: 14.03.2016).

**КОНЦЕПЦИЯ ПОДХОДА К СОЗДАНИЮ ПРОГРАММНЫХ КОМПОНЕНТОВ
ГЕНЕРАЦИИ БАЗ ЗНАНИЙ НА ОСНОВЕ ТРАНСФОРМАЦИИ
КОНЦЕПТУАЛЬНЫХ МОДЕЛЕЙ**

Дородных Никита Олегович

Аспирант, e-mail: tualatin32@mail.ru

Коршунов Сергей Андреевич

Аспирант, e-mail: grey.for@gmail.com

Юрин Александр Юрьевич

К.т.н., зав. лабораторией «Информационные технологии исследования природной и техногенной безопасности», Институт динамики систем и теории управления им. В.М. Матросова СО РАН, 664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 134, e-mail: iskander@icc.ru

Аннотация. Работа посвящена проблеме повышения эффективности создания интеллектуальных систем и их подсистем (компонентов). Основную сложность при разработке интеллектуальных систем представляет этап формирования баз знаний. Эффективность данного этапа может быть повышена путем трансформации концептуальных моделей, построенных при помощи различных программных средств онтологического моделирования или CASE-средств, в код баз знаний, представленных на определенном языке представления знаний. При этом актуальным является создание унифицированного подхода (технологии) для поддержки разработки программных компонентов интеллектуальных систем, обеспечивающих формирование (генерацию) баз знаний путем трансформации концептуальных моделей.

Ключевые слова: автоматизация разработки программных компонентов, интеллектуальная система, концептуальная модель, база знаний, трансформация моделей

Введение. В настоящее время разработка новых методов и подходов к созданию интеллектуальных систем (ИС) и их программных компонентов остается перспективной областью научных исследований. При этом сложность и трудоемкость процесса разработки ИС обусловлена, главным образом, особенностями этапа разработки баз знаний (БЗ), который включает задачи моделирования предметной области, получения, структурирования и формализации (представления) знаний, которые традиционно считаются «узким местом» проектирования ИС [2, 9]. Сложность данных задач возрастает при необходимости обеспечения удаленного, совместного (коллективного) доступа, согласования мнений экспертов (специалистов-предметников), а также повторного использования накопленной информации, представленной в разных формах, в том числе, в виде концептуальных (информационных) моделей (диаграмм, схем, карт знаний и т.п.).

Таким образом, проблема повышения эффективности разработки ИС и их программных компонентов (в том числе, подсистем формирования БЗ) является актуальной и решается в различных направлениях: от совершенствования методологии (методик) разработки до создания специального программного инструментария. Однако, в целом

решение проблемы создания технологий (подхода) для поддержки разработки программных компонентов ИС, обеспечивающих автоматизированную разработку БЗ на основе трансформации концептуальных моделей, требует проведения дополнительных исследований.

В связи с этим целью данной работы является разработка подхода к автоматизации процесса создания программных компонентов ИС, предназначенных для формирования БЗ на основе трансформации концептуальных моделей, и реализация подхода в форме веб-ориентированной программной системы. Представляется, что данная система должна обеспечивать не только синтез (генерацию) кода БЗ на определенном языке представления знаний (ЯПЗ) путем трансформации элементов концептуальных моделей, но и совместное (коллективное) проектирование БЗ с использованием специальных средств визуализации данного процесса.

В качестве источников концептуальных моделей предлагается использовать группу моделей, для описания структуры которых используется XML (eXtensible Markup Language). Примерами моделей данной группы являются: диаграммы классов UML (Unified Modeling Language) [8], представленные в соответствии со стандартом XMI (XML Metadata Interchange) [3] – стандартом обмена информацией о моделях; концепт-карты, представленные в соответствии со стандартом XTM (XML Topic Maps) [5] и др. В качестве целевых ЯПЗ выбраны – CLIPS (C Language Integrated Production System) [7] и OWL (Web Ontology Language) [10], как наиболее распространенные на данный момент средства представления продукции и онтологий.

1. Концепция подхода. Основными элементами разработанного подхода (технологии) автоматизации процесса создания программных компонентов ИС, обеспечивающих формирование БЗ путем трансформации концептуальных моделей предметных областей, являются:

- модель типового программного компонента, включающая модель трансформации;
- предметно-ориентированный декларативный язык – Transformation Model Representation Language (TMRL), предназначенный для представления и хранения модели трансформации;
- метод создания программных компонентов на основе «клонирования» (копирования) типового программного компонента и его настройки (специализации) на основе модели трансформации;
- концептуальная архитектура веб-ориентированной программной системы и ее основных элементов.

Для программной реализации подхода прилагается применить принципы веб-ориентированной разработки приложений.

Особенностью данной веб-ориентированной программной системы является ее расширяемость, в части создания и добавления в ее состав новых программных компонентов, обеспечивающих импорт и анализ различных форматов концептуальных моделей, и генерацию кода БЗ на разных ЯПЗ. Создаваемые программные компоненты могут отчуждаться и использоваться в качестве автономных подсистем для других ИС.

Также данная система предоставляет специальный интерфейс взаимодействия, при помощи которого внешние программные средства могут обращаться к соответствующим

программным компонентам для импорта концептуальных моделей и получения прототипов БЗ на их основе.

Далее подробнее рассмотрим отдельные элементы разработанного подхода.

2. Модель типового программного компонента. Для повышения эффективности разработки программных компонентов предлагается использовать оригинальную модель типового программного компонента, представленную следующим образом:

$$M_{TPC} = M_T, A_{IN}, CG_{OUT}, I, \quad (1)$$

где M_T – модель трансформации; A_{IN} – анализатор (parser) входных моделей; CG_{OUT} – генератор выходных моделей; I – интерфейс взаимодействия с внешними ИС.

При этом:

$A_{IN} = A_{IN}^{CM}, A_{IN}^{ONT}$, где A_{IN}^{CM} – анализатор входных концептуальных моделей, представленных в формате XML; A_{IN}^{ONT} – анализатор входной концептуальной модели, представленной в виде онтологии.

$CG_{OUT} = CG_{OUT}^{ONT}, CG_{OUT}^{CLIPS-KB}, CG_{OUT}^{OWL-KB}$, где CG_{OUT}^{ONT} – генератор выходной модели онтологии; $CG_{OUT}^{CLIPS-KB}$ – генератор кода БЗ на ЯПЗ CLIPS; CG_{OUT}^{OWL-KB} – генератор кода БЗ на ЯПЗ OWL.

Для унифицированного представления и хранения знаний, извлеченных из концептуальных моделей, предлагается использовать специально разработанную модель онтологии (ONT). Данная модель позволяет абстрагироваться от особенностей описания знаний в различных ЯПЗ, используемых при реализации БЗ (например, CLIPS, JESS, Drools, RuleML, SWRL, OWL, RDF и др.), и хранить знания в собственном независимом формате. Модель онтологии может выступать как в качестве входной, так и выходной модели. Подробное описание модели приводится в [6].

$I = i_1, \dots, i_n, i_j = name_j, command_j, j \in 1, n$, где $name_j$ – наименование j метода взаимодействия; $command_j$ – управляющая команда метода взаимодействия.

Интерфейс взаимодействия позволяет внешним программным системам (ИС) обращаться к программному компоненту (посредством запроса), с целью автоматического формирования БЗ, на определенном ЯПЗ (CLIPS или OWL), путем передачи (импорта) концептуальной модели.

Таким образом, в процессе создания программного компонента (специализации модели типового программного компонента M_{TPC}), пользователю необходимо сформировать модель трансформации M_T , которая определяет правила преобразования (сценарий трансформации) исходных концептуальных моделей в целевые БЗ. Также пользователю необходимо определить (выбрать) соответствующие блоки анализа и генерации, из которых выполняется «сборка» программного компонента.

2.1. Модель трансформации. Используя (1), определим M_T :

$$M_T = MM_{IN}, MM_{OUT}, T, \quad (2)$$

где MM_{IN} – метамодель исходной (входной) концептуальной модели; MM_{OUT} – метамодель целевой (выходной) модели представления знаний (БЗ); T – оператор преобразования моделей.

Основным элементом M_T является оператор преобразования (T):

$$T: CM \rightarrow KB, \quad (3)$$

где CM – исходная концептуальная модель; KB – целевая БЗ.

Для уточнения (3) выделим виды синтаксиса концептуальных языков моделирования и ЯПЗ согласно [11]. Таким образом, на абстрактном (abstract syntax) и конкретном (concrete syntax) уровне получим:

$$T_{AS}: MM_{CM} \rightarrow MM_{KB}, T_{CS}: M_{XML} \rightarrow Code_{KRL}, \quad (4)$$

где MM_{CM} – метамодель исходной концептуальной модели; MM_{KB} – метамодель целевой БЗ; M_{XML} – исходная концептуальная модель, представленная в формате XML; $Code_{KRL}$ – код БЗ, представленной на целевом ЯПЗ (Knowledge Representation Language, KRL). При этом $Code_{KRL} \in Code_{KRL}^{CLIPS}, Code_{KRL}^{OWL}$, где $Code_{KRL}^{CLIPS}$ – целевой код БЗ на ЯПЗ CLIPS; $Code_{KRL}^{OWL}$ – целевой код БЗ на ЯПЗ OWL.

Согласно (4), процесс трансформации M_{XML} в $Code_{KRL}$ осуществляется путем установления соответствий (определения правил трансформации) между абстрактными элементами исходной метамодели MM_{CM} и целевой метамодели MM_{KB} .

Введем оператор R_T для обозначения набора правил соответствия элементов метамodelей (правил трансформации):

$$R_T = r_1, \dots, r_n : MM_{CM} \rightarrow MM_{KB},$$

где r_i – правило трансформации.

При этом:

$$r_i = e_i^{in}, e_i^{out}, p_i, i \in 1, n,$$

где e_i^{in} – исходный элемент метамодели MM_{CM} (левая часть правила); e_i^{out} – целевой элемент метамодели MM_{KB} (правая часть правила); p_i – приоритет выполнения правила, определяющий последовательность выполнения правил, $p_i \in 1, k$.

3. Предметно-ориентированный язык TMRL. Для представления и хранения модели трансформации M_T разработан предметно-ориентированный язык (Domain Specific Language, DSL) – Transformation Model Representation Language (TMRL). Грамматика разработанного TMRL принадлежит к классу контекстно-свободных грамматик (КС-грамматик – LL(1)) [1]. Конструкции TMRL позволяют в декларативном виде описывать элементы модели трансформации M_T , в частности, правила соответствия элементов метамodelей R_T .

Упрощенная метамодель TMRL (abstract syntax), определяющая основные концепты, из которых состоит данный язык, представлена на рис. 1.

4. Метод создания программных компонентов. Метод создания программных компонентов представляет собой систематизированную совокупность действий, которые нацелены на решение задачи автоматизированной разработки программного компонента ИС на основе «клонирования» (копирования) и настройки типового программного компонента (специализация модели типового программного компонента M_{TPC} , путем формирования модели трансформации M_T , а также выбор соответствующих блоков анализа и генерации).

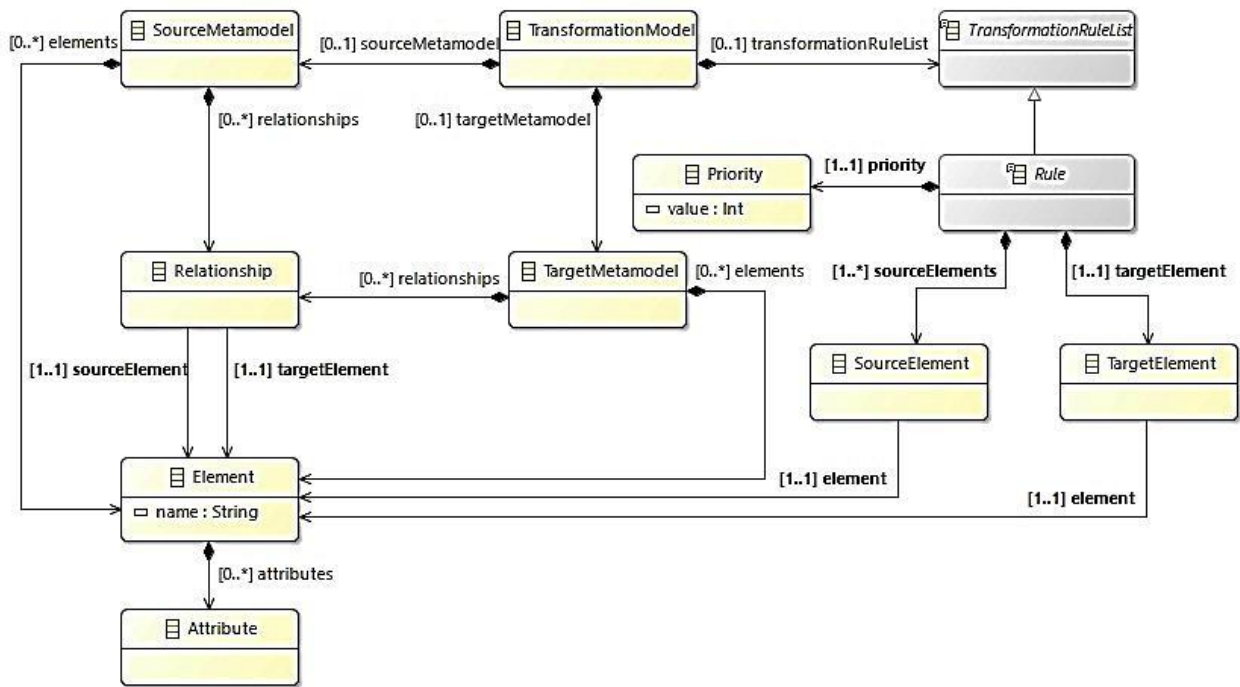


Рис. 1. Мета модель TMRL

Основные принципы метода создания программных компонентов:

- визуальное построение правил трансформации (соответствий) элементов метамодели исходной концептуальной модели в элементы метамодели целевой БЗ без использования специализированных языков трансформации моделей общего назначения (например, QVT, ATL и др.);
- автоматическое выделение элементов входных метамodelей для процесса визуального построения правил трансформации, на основе анализа XSD-структур;
- представление и хранение установленных правил соответствия элементов метамodelей с использованием предметно-ориентированного декларативного языка (TMRL).

Основные ограничения на входные и выходные метамodelи:

- Мета модель исходных концептуальных моделей MM_{CM} должна быть представлена в формате XML-схемы (XML Schema) – XML Schema Definition (XSD) [4].
- Для автоматического построения XML-схем разработаны многочисленные паттерны (шаблоны) проектирования, наиболее распространенными из которых являются: Russian Doll, Salami Slice, Venetian Blind, Garden of Eden. Данные паттерны различаются количеством используемых глобальных элементов и типов. Предполагается, что использование паттернов Venetian Blind и Garden of Eden [12] является наиболее перспективным.
- Мета модели целевых БЗ MM_{KB} , представленных на ЯПЗ CLIPS и OWL, доступны для построения модели трансформации по умолчанию.

Основные этапы метода создания программных компонентов на основе модели типового программного компонента, включая формирование модели трансформации, представлены на рисунках 2 и 3.



Рис. 2. Этапы создания программного компонента



Рис. 3. Этапы создания модели трансформации

5. Концептуальная архитектура программной системы. С целью программной реализации предлагаемой технологии разработана концептуальная архитектура веб-ориентированной программной системы, описывающая основные функциональные элементы и их взаимодействие.

Концептуальная архитектура веб-ориентированной программной системы (рис. 4) позволяет описать ее структуру, включая состав и типы элементов, а также принципиальные особенности функционирования.

Основные уровни (части) системы:

- Информационный уровень – отражает все информационные ресурсы программной системы, предназначенные для хранения служебной информации, которая используется подсистемами (на системном и прикладном уровне), как для обеспечения собственного функционирования, так и для решения задач автоматизированной разработке БЗ.
- Системный уровень – представляет собой набор всех предлагаемых пользователям подсистем, обеспечивающих как базовое взаимодействие пользователей с веб-ориентированной программной системой, так и предоставляющие интерфейс взаимодействия с внешними программными системами (ИС), а также предоставляющие инструментарий для создания прикладных программных компонентов на основе типового.
- Прикладной уровень – представляет собой набор разработанных пользователями программных компонентов, обеспечивающих возможность автоматического синтеза БЗ путем трансформации концептуальных моделей. Программные компоненты создаются на основе типового программного компонента, путем его «клонирования» (копирования) и настройки (специализации).

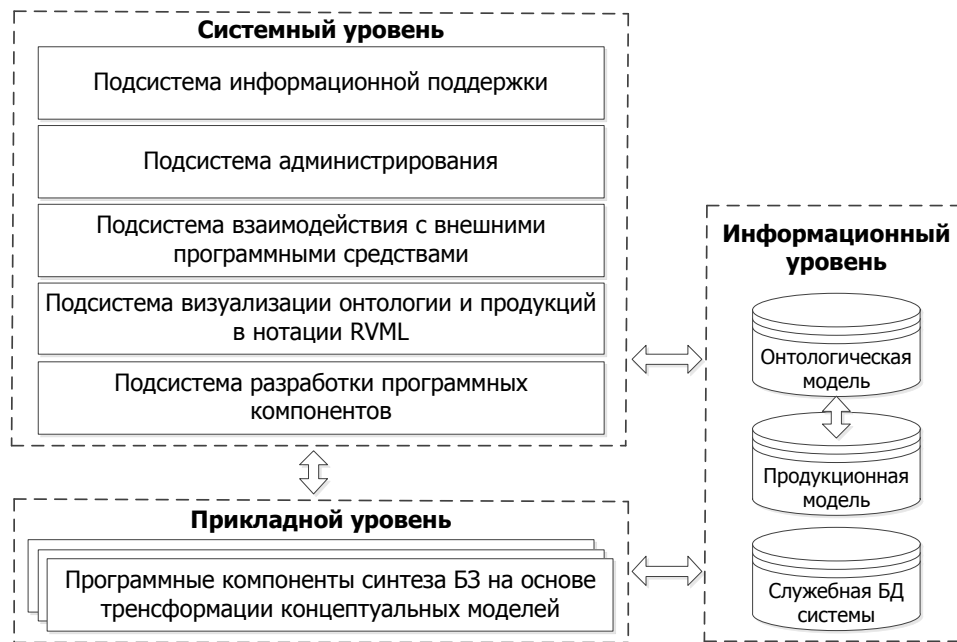


Рис. 4. Концептуальная архитектура веб-ориентированной программной системы

Заключение. В данной работе предлагается подход (технология) к автоматизированной разработке программных компонентов ИС, предназначенных для автоматического формирования кода БЗ, представленных на ЯПЗ CLIPS или OWL, путем трансформации концептуальных (информационных) моделей. В основе предлагаемого подхода лежит использование: модели типового программного компонента (включая модель трансформации); предметно-ориентированного декларативного языка – Transformation Model

Representation Language (TMRL), предназначенного для представления и хранения модели трансформации; метода создания программных компонентов на основе «клонирования» типового программного компонента и его настройки (специализации); концептуальной архитектуры веб-ориентированной программной системы.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ (проекты № 15-37-20655, №16-37-00122).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ахо А.В., Лам М.С., Сети Р., Ульман Дж.Д. Компиляторы: принципы, технологии и инструментарий, 2-е изд.: Пер. с англ. – М.: ООО “И.Д. Вильямс”, 2008. 1184 с. [Aho A.V., Lam M.S., Sethi R., Ullman J.D. Compilers: Principles, Techniques, and Tools. 2nd ed. Addison-Wesley, 2006. 1000 p.]
2. Гаврилова Т.А., Хорошевский В.Ф. Базы знаний интеллектуальных систем. СПб.: Питер, 2000. 384 с.
3. Документация XML Metadata Interchange (XMI). Режим доступа: <http://www.omg.org/spec/XMI> (дата обращения 10.03.2016).
4. Документация XML Schema definition (XSD). Режим доступа: <http://www.w3.org/TR/xmlschema-0> (дата обращения 10.03.2016).
5. Документация XML Topic Maps (XTM). Режим доступа: <http://www.topicmaps.org/xtm> (дата обращения 10.03.2016).
6. Дородных Н.О., Юрин А.Ю. Использование диаграмм классов UML для формирования продукционных баз знаний // Программная инженерия. 2015. №4. С. 3-9.
7. Частиков А.П., Гаврилова Т.А., Белов Д.Л. Разработка экспертных систем. Среда CLIPS. СПб.: БХВ-Петербург, 2003. 608 с.
8. Booch G., Rumbaugh J., Jacobson I. The Unified Modeling Language User Guide, 2nd Edition. Addison-Wesley, New York, 2005. 496 p.
9. Giarratano J.C., Riley G.D. Expert Systems: Principles and Programming, 4th Edition. Thomson Course Technology, 2005. 288 p.
10. Grau B.C., Horrocks I., Motik B., Parsia B., Patel-Schneider P., Sattler U. OWL 2: The next step for OWL // Web Semantics: Science, Services and Agents on the World Wide Web. 2008. Vol. 6, No. 4. P. 309-322.
11. Greenfield J., Short K., Cook S., Kent S., Crupi J. Software factories: assembling applications with patterns, models, frameworks, and tools. Wiley Pub., 2004. 696 p.
12. Khan A., Sum M. Introducing Design Patterns in XML Schemas. Режим доступа: <http://www.oracle.com/technetwork/java/design-patterns-142138.html> (дата обращения 10.03.2016)

THE CONCEPT OF AN APPROACH FOR DEVELOPMENT OF SOFTWARE COMPONENTS OF KNOWLEDGE BASES GENERATION BASED ON THE TRANSFORMATION OF CONCEPTUAL MODELS

Nikita O. Dorodnykh

Graduate student, e-mail: tualatin32@mail.ru

Sergey A. Korshunov

Graduate student, e-mail: grey.for@gmail.com

Alexander Yu. Yurin

Ph.D., Head. Laboratory of Information technology for investigation of natural and technogenic safety, 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, e-mail: iskander@icc.ru

Annotation. The paper discusses the problem of improving the process of designing intelligent systems and their components. The main problem in designing of intelligent systems is the stage of creating knowledge bases. The efficiency of this stage can be improved by the transformation of conceptual (information) models into program codes of knowledge bases. In turn the conceptual models can be created with the aid of different CASE tools or software for cognitive and ontological modeling; knowledge bases can be represented by the specific knowledge representation languages. Therefore, the creation of the unified approach (technology) for developing software components of intelligent systems providing generation of knowledge bases by transformation of conceptual models is actual.

Keywords: software components development, intelligent system, conceptual model, knowledge base, model transformation

References

1. Aho A.V., Lam M.S., Sethi R., Ullman J.D. Compilers: Principles, Techniques, and Tools. 2nd ed. Addison-Wesley, 2006. 1000 p.
2. Gavrilova T.A., Khoroshevskii V.F. Bazy znaniy intellektual'nykh sistem [Knowledge bases of intelligent systems]. SPb.: Piter, 2000. 384 p. (in Russian).
3. XML Metadata Interchange (XMI). Available at: <http://www.omg.org/spec/XMI/>, accessed 10.03.2016.
4. XML Schema definition (XSD). Available at: <http://www.w3.org/TR/xmlschema-0>, accessed 10.03.2016.
5. XML Topic Maps (XTM). Available at: <http://www.topicmaps.org/xtm>, accessed 10.03.2016.
6. Dorodnykh N.O., Yurin A.Yu. Ispol'zovanie diagramm klassov UML dlja formirovaniya produkcionnykh baz znaniy [Using UML Class Diagrams for Design of Knowledge Bases of Rule-Base Expert Systems]. Programmnyaya inzheneriya = Software engineering, 2015, № 4, pp. 3-9. (in Russian).

7. Chastikov A.P., Gavrilova T.A., Belov D.L. Razrabotka ehkspertnyx sistem. Sreda CLIPS [Development of expert systems. CLIPS environment]. SPb.: BHV-Petersburg, 2003. 608 p. (in Russian).
8. Booch G., Rumbaugh J., Jacobson I. The Unified Modeling Language User Guide, 2nd Edition. Addison-Wesley, New York, 2005. 496 p.
9. Giarratano J.C., Riley G.D. Expert Systems: Principles and Programming, 4th Edition. Thomson Course Technology, 2005. 288 p.
10. Grau B.C., Horrocks I., Motik B., Parsia B., Patel-Schneider P., Sattler U. OWL 2: The next step for OWL. Web Semantics: Science, Services and Agents on the World Wide Web, 2008, vol. 6, no. 4, pp. 309-322.
11. Greenfield J., Short K., Cook S., Kent S., Crupi J. Software factories: assembling applications with patterns, models, frameworks, and tools. Wiley Pub., 2004. 696 p.
12. Khan A., Sum M. Introducing Design Patterns in XML Schemas. Available at: <http://www.oracle.com/technetwork/java/design-patterns-142138.html>, accessed 10.03.2016.

**ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИНТЕРАКТИВНОЙ
ГЕОИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ И
ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ**

**Мозер Дмитрий Владимирович¹, Долгоносов Виктор Николаевич²,
Яворский Владимир Викторович³, Сергеева Анастасия Олеговна⁴,
Байдикова Наталья Владимировна⁵**

¹К.т.н., доцент кафедры «Маркшейдерского дела и Геодезии»

²Д.т.н., доцент кафедры «Маркшейдерского дела и Геодезии»

³ Д.т.н., профессор, зав. кафедрой «Информационные технологии и
естественно-научные дисциплины»

⁴Старший преподаватель кафедры «Информационные технологии и
естественно-научные дисциплины»

⁵Магистрант

^{1,2}Карагандинский государственный технический университет,
100027, Республика Казахстан, г. Караганда, бул. Мира, 56.

e-mail: dmitri-moser@yandex.ru

^{3,4,5}Карагандинский государственный индустриальный университет,
101400, Республика Казахстан, г. Темиртау, пр. Республики, 30.

e-mail: yavorskiy-v-v@mail.ru

Аннотация. Рассмотрены особенности формирования информационного обеспечения на основе разнородных данных для интерактивной геоинформационной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций. Представлен пример анализа снимков дистанционного зондирования.

Ключевые слова: чрезвычайные ситуации, геоинформационная система, дистанционное зондирование, информационное обеспечение.

Введение. Развитие производственной и социальной сфер деятельности человечества сопровождается усложнением промышленных технологий и расширением их влияния на окружающую среду. Наблюдается тенденция роста числа и масштабов техногенных и природных чрезвычайных ситуаций (ЧС). Вне зависимости от вида ЧС для успешной ее ликвидации и сокращения негативных последствий первостепенную роль играет своевременный сбор данных в зоне возникновения ЧС.

Проблема построения автоматизированных систем поддержки предупреждения и ликвидации ЧС актуальна не только в силу объективной необходимости решения прикладных задач, но и в силу того, что в настоящее время необходимо создание методов их решения, использующих новые методические и технологические концепции.

Методологические требования вытекают из особенностей постановки задач поддержки принятия решений в условиях экстраординарных ситуаций. Управление в условиях ЧС отличается от штатных условий гибкостью, необходимостью работы с недостоверной и неполной информацией, высоким темпом изменения ситуации, необходимостью формирования в кратчайшие сроки как можно более эффективных

решений, высокой результативностью, требованиями минимизации времени и минимума потерь при ликвидации ЧС [4]. Эти особенности требуют развития новой методологии поддержки управленческих решений, основанной на использовании сценарного подхода и методологии ситуационного управления в сочетании с новыми методами информационного моделирования [2, 3].

Очевидно, что базой исходной информации должна являться информационная система, которая позволит хранить все виды исходных данных для составления прогноза. Все данные, поступающие в такую систему – космические снимки, результаты аэрофотосъемки, видеонаблюдения, показатели датчиков – могут быть использованы для составления прогнозов различной продолжительности.

1. Системы дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). Для получения «долгосрочной» информации следует использовать системы дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). Дистанционное зондирование можно представить как процесс, посредством которого собирается информация об объекте, территории или явлении без непосредственного контакта с ним [5]. Суть ДЗЗ состоит в том, чтобы заменить измерения объектов на местности измерениями на расстоянии. В случае возникновения ЧС такие данные можно использовать для прогнозирования возможного распространения ЧС и ее масштабов.

Более детальную информацию о состоянии зоны ЧС дает возможность получить аэрофотосъемка.

Описанные выше технологии получения данных позволяют получать информацию о территории зоны ЧС. При этом, такая информация едва ли может быть использована для оперативного управления, поскольку предполагает некоторое время для ее обработки (обработки снимков графическими методами).

В случае, если необходимо обеспечить наблюдение за потенциально опасной зоной или зоной, где уже происходит ЧС, то следует использовать системы видеонаблюдения и оповещения.

Система видеонаблюдения позволяет организовать постоянный мониторинг в режиме реального времени с целью обеспечения оперативного принятия решений. Желательно, чтобы система видеонаблюдения была оснащена средствами записи и хранения информации в случае, если в конкретный период информация не может быть передана в ситуационный центр. Конечно, это касается тех случаев, когда ЧС не происходит.

В случае, если ЧС уже происходит в реальном времени и необходимо ее ликвидировать в максимально короткие сроки, система видеонаблюдения должна быть постоянно включена и имеет возможность передачи данных по разным каналам, чтобы обеспечить оперативность. Опять же, как и предыдущие способы, система видеонаблюдения позволяет передавать изображение зоны ЧС. Однако, для успешной ликвидации ЧС необходимо получать данные о таких параметрах территории, как давление, температура и т.д.

Для этого нужны датчики и **система оповещения**, которая будет считывать и передавать их показания в центр для анализа и принятия решений. Датчики и контроллеры также должны иметь возможность передачи данных по различным каналам связи, чтобы иметь альтернативу в случае отказа одного из них. Контроллеры должны быть оснащены записывающими устройствами для обеспечения возможности накопления данных в случае

невозможности их передачи. Следует установить периодичность отправки показаний датчиков, которая, в случае ЧС, должна быть максимально сокращена. Использование всех предложенных технологий и их интеграция на базе цифровой карты местности с привязкой по координатам позволит обеспечить полное информирование служб предупреждения и ликвидации ЧС для обеспечения быстрого принятия решений.

2. Общая принципиальная схема распределения потоков данных предлагаемой телекоммуникационной системы представлена на рис. 1.

Согласно рис. 1, описанные выше уровни мониторинга распределяются между службами, занятыми в обеспечении безопасности жизнедеятельности.

На верхнем уровне, уровне ДЗЗ, функционируют общереспубликанские службы, которые получают данные ДЗЗ от Национального космического агентства РК. При этом ведется база данных снимков, чтобы можно было выполнить анализ изменений за некоторый период времени.

Уровень аэрофотосъемки связан с территориальными подразделениями и позволяет выполнять мониторинг и анализ уже конкретной части территории. Данные аэрофотосъемки должны поступать в областные департаменты по ЧС.

Уровень систем видеонаблюдения и оповещения должен быть также связан с территориальными подразделениями. В каждом подразделении должна вестись локальная база данных информации о территории, включая и аэрофотоснимки. Кроме того, необходимо предусмотреть возможность получения данных с места ЧС, в случае ее возникновения, службами оперативного реагирования с целью обеспечения оперативности принятия решений и минимизации последствий.

В связи с таким распределением информации можно выделить два уровня в архитектуре телекоммуникационной системы: республиканский и местный. При этом на Республиканском уровне телекоммуникационная система должна обеспечивать [6]:

- общий мониторинг состояния территории Республики Казахстан на основе космических снимков;
- моделирование процессов и ситуационный анализ, визуализацию управленческих ситуаций для раскрытия причинно–следственных связей анализируемых событий;
- сбор данных от областных департаментов по ЧС не реже одного раза в сутки;
- организацию информационного взаимодействия служб и подразделений Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Казахстан для снижения объема бумажного документооборота, повышения уровня информированности сотрудников и оперативности при подготовке выходных фоп.

На местном (городском, областном) уровнях телекоммуникационная система проведения оперативных мероприятий должна реализовывать следующие функции [3]:

- мониторинг и анализ территории конкретной области или города с целью предупреждения ЧС;
- оповещение населения в случае угрозы ЧС;
- упрощение формирования отчетов о ЧС.

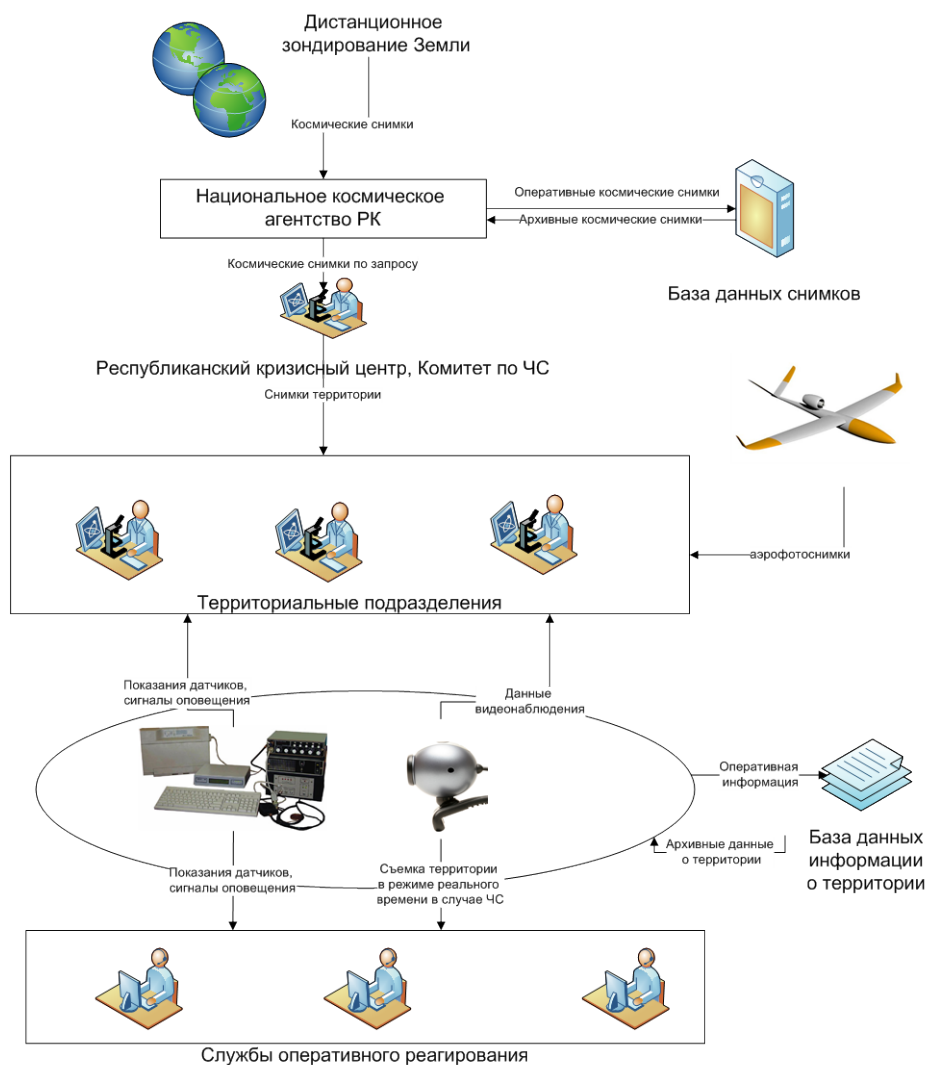


Рис. 1. Схема информационных потоков телекоммуникационной системы предупреждения и ликвидации ЧС

3. Интерактивная геоинформационная система. Интеграцию предложенных данных предлагается осуществлять на базе интерактивной геоинформационной системы, в основе которой должна лежать цифровая модель местности. Привязка всех получаемых данных должна осуществляться по координатам на карте. При этом, телекоммуникационная система должна обладать распределенной архитектурой, поскольку необходимо осуществлять мониторинг потенциально опасных зон с привязкой к конкретной местности, что можно сделать на базе территориальных ситуационных центров (СЦ). Следует обеспечить централизованное управление всеми территориальными СЦ, которые организуются на базе департаментов по ЧС, и передачу данных в центральный СЦ на базе Республиканского кризисного центра.

Рассмотрим более подробно применение дистанционного зондирования Земли для составления прогнозов на примере Карагандинской области. Карагандинская область богата полезными ископаемыми. Крупные промышленные предприятия ведут их добычу, что сказывается на состоянии окружающей среды. Подземная добыча угля в Карагандинском бассейне влечет за собой просадку территорий над отработанными пластами, что негативно отражается на существующих и строящихся объектах промышленной и городской

инфраструктуры. При этом многие шахтные стволы, в которых с начала прошлого столетия проводилась интенсивная добыча запасов угля и разведочные выработки, сейчас засыпаны. На поверхности их можно обнаружить только по данным топографической съемки, однако они представляют опасность для строящихся объектов из-за возможных просадок почв и грунтов.

Традиционные наземные инструментальные геодезические измерения на реперах, а также сети GPS и ГЛОНАСС позволяют получить значения смещений в точках и по профилю, но построить достоверную непрерывную карту деформаций земной поверхности на всю исследуемую площадь по этим данным не представляется возможным, поскольку между узловыми точками и профилями необходимо будет выполнить обычную интерполяцию.

В последнее время, в связи с появлением космических систем радиолокационного зондирования высокого (до 1м) разрешения, большое развитие получили методы и технологии космической радиолокационной интерферометрии (КРИ), при которой фиксируются амплитуда и фаза отраженного от поверхности радиосигнала, позволяющие с миллиметровой точностью определять смещения земной поверхности.

4. Применение методов космической радиолокационной интерферометрии.

Следует отметить, что в Казахстане уже имеется опыт применения методов космической радиолокационной интерферометрии для мониторинга подвижек земной поверхности. Такие работы в 2012 году были проведены российской компанией Совзонд на производственных территориях месторождений Тегиз, где по данным космических аппаратов радиолокационного зондирования Envisat, Alos были получены результаты смещений земной поверхности, составившие до 7.5 см. В 2012 году Институт космических исследований (ИКИ) проводил работы по применению методов радиолокационной интерферометрии для мониторинга смещений земной поверхности на производственных площадях ТОО Корпорация «Казахмыс».

В рамках данной научно-исследовательской работы совместно с Карагандинским государственным техническим университетом с помощью пакета ENVI был проведен анализ снимков Карагандинской области со спутника ENVISAT от 2010/07/31 и 2010/10/09 и получены интерферограммы Карагандинской области, приведенные на рис. 2-4. Результаты анализа показывают, что оседания территории в районе Темиртау составляют до 5 см.

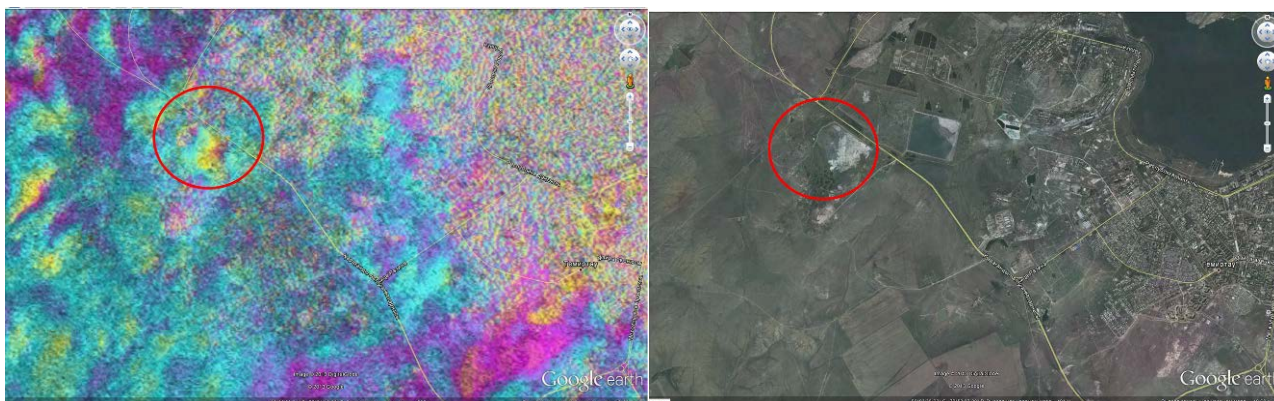


Рис. 2. Зона просадки с Юго-Западной стороны г. Темиртау

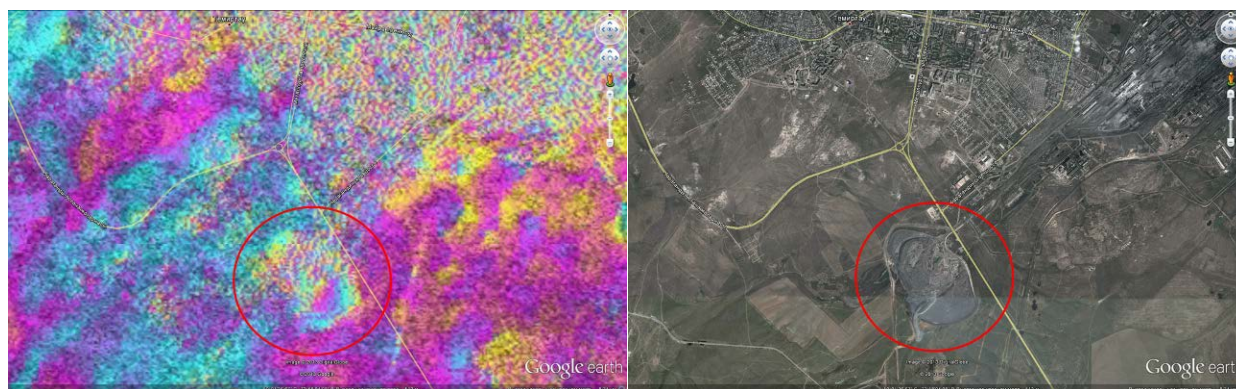


Рис. 3. Зона просадки на въезде в г. Темиртау со стороны г. Караганды

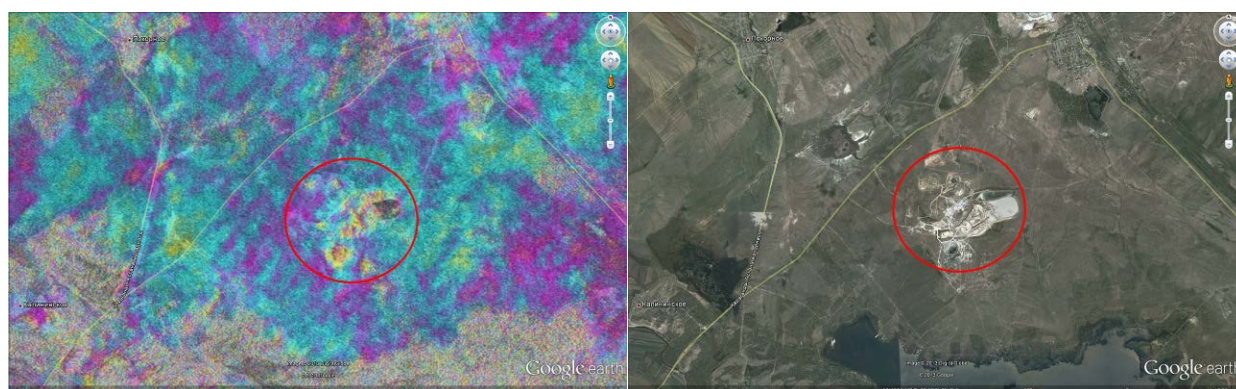


Рис. 4. Зона просадки на въезде в г. Темиртау со стороны г. Караганды

Заключение. Как показывает пример, применение дистанционного зондирования в качестве одной из составляющих интерактивной геоинформационной системы предупреждения и прогнозирования чрезвычайных ситуаций позволяет спрогнозировать и, следовательно, предупредить возникновение чрезвычайных ситуаций. С другой стороны, обязательно дополнять этот способ более подробной информацией, получаемой другими способами, и интегрировать ее в интерактивную геоинформационную систему с географической привязкой для получения максимально полной картины.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Официальный интернет-ресурс Комитета по чрезвычайным ситуациям МВД РК [Электронный ресурс]. - Режим доступа <http://emer.gov.kz/>, свободный. — Загл. с экрана.
2. Массель Л.В., Массель А.Г. Ситуационное управление и семантическое моделирование в энергетике // IV Международная конференция OSTIS: труды. Беларусь. Минск. БГУИР. 2014. С. 111-116.
3. Массель Л.В., Массель А.Г., Иванов Р.А. Когнитивная графика и семантическое моделирование для геопространственных решений в энергетике// 21-я Международная конференция Интеркарто/ИнтерГИС «Устойчивое развитие территорий: картографо-геоинформационное обеспечение»: труды. Краснодар-Фиджи. 2015. Краснодар. КГУ. С. 496-502.
4. Сонькин М.А., Ямпольский В.З., Яворский В.В., Сергеева А.О. Телекоммуникационная система ситуационного центра по ликвидации чрезвычайных ситуаций. // Труды VII

Международной научно-практической конференции «Научно-технический прогресс в металлургии», посвященной 50-летию Карагандинского государственного индустриального университета, 11-12 октября 2013г. Том 1. – Алматы, РИК по учебной и методической литературе, 2013. – с.16-18

5. Wang Yunjia, Wang Jian, Huang Yi, Tian Feng, Chen Guoliang (2013) :Technologies and applications for multi-source monitoring of surface disasters in mining area, International Society for Mine Surveying XV International ISM Congress 2013, Deutscher Markscheider-Verein e.V. – DMV,16–20 September · Aachen · Germany pp. 1034-1048
6. Yavorskiy V.V., Moser D., Fofanov O. Space monitoring of man-made hazards in central Kazakhstan. // Mechanical Engineering, Automation and Control Systems: Proceedings of International Conference, Tomsk, October 16-18, 2014. - Tomsk: TPU Publishing House, 2014 - p. 1-5

UDK 622.83

DATAWARE OF THE INTERACTIVE GEOINFORMATION SYSTEM OF PREVENTION AND LIQUIDATION OF EMERGENCY SITUATIONS

Dmitriy V. Moser¹, Viktor N. Dolgonosov², Vladimir V. Yavorskiy³,
Anastasiya O. Sergeyeva⁴, Natalya V. Baidikova⁵

¹C.t.s., associate professor of « Mine surveying and Geodesy » chair

²D.t.s., associate professor of « Mine surveying and Geodesy » chair

³D.t.s., professor, head of «Information technologies and natural-scientific disciplines» chair

⁴Senior lecturer of «Information technologies and natural-scientific disciplines» chair

⁵ Undergraduate student

^{1,2} Karaganda state technical university,

100027, Republic of Kazakhstan, Karaganda, Mira , 56.

e-mail: dmitri-moser@yandex.ru

^{3,4,5} Karaganda state industrial university,

101400, Republic of Kazakhstan, Temirtau, Republic avenue, 30.

e-mail: yavorskiy-v-v@mail.ru

Annotation. The features of dataware formation on base of heterogeneous data for an interactive geoinformation system of prevention and liquidation of emergency situations are considered. The example of an analysis of remote sensing images is shown.

Keywords: emergency situations, geographic information system, remote sensing, dataware.

References

1. The official Internet resource of Committee of emergency situations the Ministry of internal Affairs of the Republic of Kazakhstan [Electronic resource]. - Access mode <http://emer.gov.kz/> free. — The ingestion. screen.

2. Massel' L.V., Massel' A.G. Situacionnoe upravlenie i semanticheskoe modeli-rovanie v jenergetike [Contingency management and semantic modeling in the energy sector] // IV Mezhdunarodnaja konferencija OSTIS-2014: trudy. = IV International Conference OSTIS-2014: Proceedings. Minsk. BGUIR. = Belarus' State University of Informatics and Radiotechnics. 2014. S. 111-116 (in Russian).
3. Massel' L.V., Massel' A.G., Ivanov R.A. Kognitivnaja grafika i semanticheskoe modelirovanie dlja geoprostranstvennyh reshenij v jenergetike [Cognitive graphics and semantic modeling for spatial solutions in the energy sector] // 21-ja Mezhdunarodnaja konferencija Interkarto/InterGIS «Ustojchivoje razvitie territorij: kartografo-geoinformacionnoe obespechenie»: trudy. = 21th International Conference Intercarto / InterGIS "Sustainable Development of Territories: Cartography and GIS software": Proceedings. Krasnodar-Fidzhi (Fiji). 2015. Krasnodar. KGU. = Krasnodar State University. S. 496-502 (in Russian).
4. Sonkin M.A., Yampolskiy V.Z., Yavorskiy V.V., Sergejeva A.O. Telecommunication system of the situation center for emergency situations. // Proceedings of VII International scientific-practical conference «Scientific-technical progress in metallurgy», on the 50th anniversary of Karaganda State Industrial University, 11-12 October 2013. Tom 1. – Almaty, RIC for educational and methodical literature, 2013. – p.16-18
5. Wang Yunjia, Wang Jian, Huang Yi, Tian Feng, Chen Guoliang (2013) :Technologies and applications for multi-source monitoring of surface disasters in mining area, International Society for Mine Surveying XV International ISM Congress 2013, Deutscher Markscheider-Verein e.V. – DMV,16–20 September · Aachen · Germany pp. 1034-1048
6. Yavorskiy V.V., Moser D., Fofanov O. Space monitoring of man-made hazards in central Kazakhstan. // Mechanical Engineering, Automation and Control Systems: Proceedings of International Conference, Tomsk, October 16-18, 2014. - Tomsk: TPU Publishing House, 2014 - p. 1-5

**ПРОГРАММНОЕ СРЕДСТВО ВИЗУАЛИЗАЦИИ НА ОСНОВЕ
БИБЛИОТЕКИ WEBGL**

Коршунов Сергей Андреевич

Аспирант, e-mail: grey.for@gmail.com

Дородных Никита Олегович

Аспирант, e-mail: tualatin32@mail.ru

Институт динамики систем и теории управления

им. В.М. Матросова СО РАН, 664033 г. Иркутск, ул. Лермонтова 134

Аннотация: Данная работа описывает подход и основные принципы разработки программного средства визуализации, позволяющего непрограммирующим пользователям создавать свои подсистемы визуализации, которые могут быть использованы в различных областях. Рассмотрена архитектура и основные компоненты предлагаемого средства, а также формальное описание правил построения визуальной сцены и поведения составляющих ее объектов. Представлен пример визуальной модели промышленной площадки, построенной на основе программной библиотеки WebGL.

Ключевые слова: визуализация, онтология, трехмерное моделирование, машинная графика, пространственно-временные сцены.

Введение. Одним из самых перспективных направлений компьютерной графики является трехмерное моделирование, т.е. создание трехмерных объектов различной сложности и направленности [1, 7, 9, 11]. В настоящее время трехмерная визуализация применяется практически во всех сферах человеческой деятельности. Объекты научных исследований становятся все более сложными и разнообразными и требуют адекватных программных средств визуализации для наглядного отображения своих результатов. Визуализация в промышленных системах позволяет быстро оценить ситуацию, не дожидаясь показаний датчиков, а создание трехмерных образовательных проектов, таких как простые анимированные обучающие материалы или сложные виртуальные лаборатории, позволит повысить интерес учащихся и скорость усвоения ими учебного материала [2, 8].

При этом во всех областях применения преобладают узконаправленные средства, не предоставляющие пользователю полноценного инструментария для создания моделей, выходящих за рамки поставленной задачи. Все они характеризуются ограниченным набором встроенных объектов и эффектов, а разработка собственной подсистемы визуализации может потребовать от пользователя значительных навыков в программировании.

Все это обуславливает необходимость разработки такого программного средства, которое предоставило бы пользователям возможность для создания собственных визуальных подсистем различного применения, а автоматизация процесса написания кода снизила бы порог «вхождения» для непрограммирующих пользователей.

1. Основные принципы разработки. В первую очередь предлагаемое программное средство требует реализации инструментария, т.е. программных модулей для создания

визуальных объектов и сцен. Независимо от этого существует задача генерации кода, т.к. одна из главных целей – избавить пользователя от необходимости программировать, тем самым упростив процесс визуализации.

Модули создания объектов и сцен должны быть достаточно простыми в использовании, позволяя при этом создавать объекты самой разной структуры. Пытаться создать собственный аналог какой-либо профессиональной системы (Autodesk 3ds Max, Blender, Maya) – нецелесообразно, и в принципе не представляется возможным в рамках поставленной задачи. Самым простым решением в данном случае может быть создание объектов на основе простейших геометрических примитивов, а более точную форму объекта можно получить за счет использования полигональных сеток [6]. Эти два способа просты для реализации и создания объектов на их основе (рис. 1).

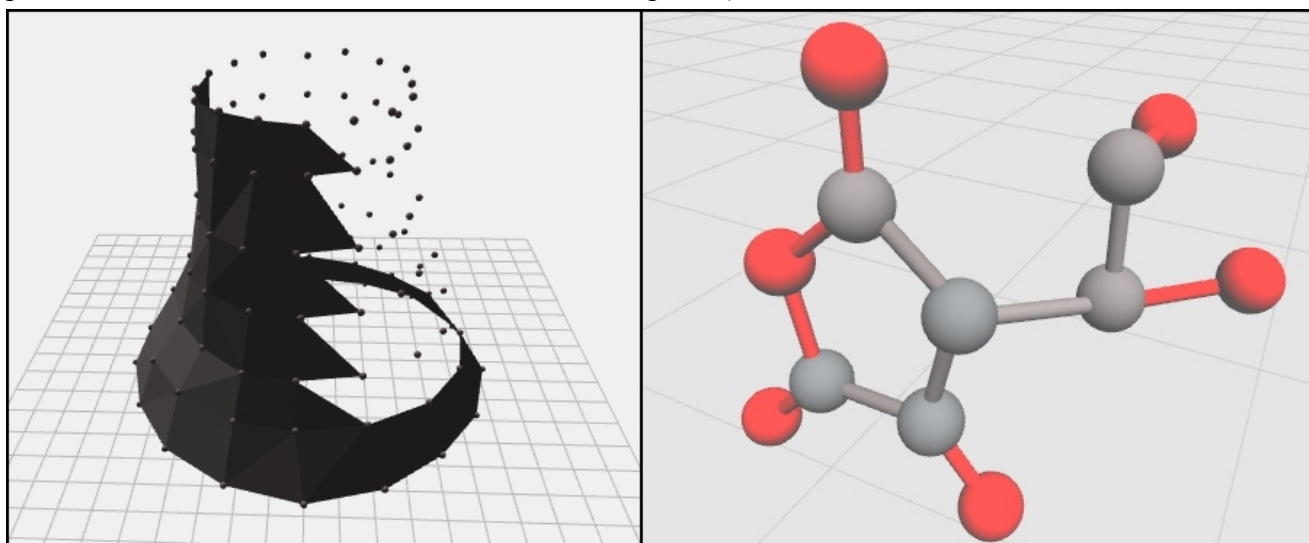


Рис. 1. Визуальные объекты, построенные на основе полигональной сетки и примитивов

Сочетание этих двух методов позволит создавать трехмерную визуализацию с достаточной степенью детализации для большинства визуализируемых моделей. Также, опциональным дополнением может служить импорт объектов наиболее распространенных форматов (3ds, X3D, VRML, U3D и т.д.) [3], так как эта возможность уже стала практически стандартной для подсистем визуализации.

Архитектура программного средства визуализации. Формально программное средство визуализации может быть описано в теоретико-множественном виде:

$$VT = \langle R^O, R^M, Int, VM, Ont^D, Ont^{VO}, Ont^{AppV} \rangle,$$

где VT – программное средство визуализации, R^O – инструментарий для создания объектов, R^M – интерфейс для описания правил описания визуальных сцен, Int – интерпретатор описания сцены в код, VM – модуль визуализации, Ont^D – онтология предметной области, Ont^{VO} – онтология визуальных объектов, Ont^{AppV} – онтология визуализации приложения.

В соответствии с вышеприведенным описанием была сформирована архитектура программного средства (рис. 2):

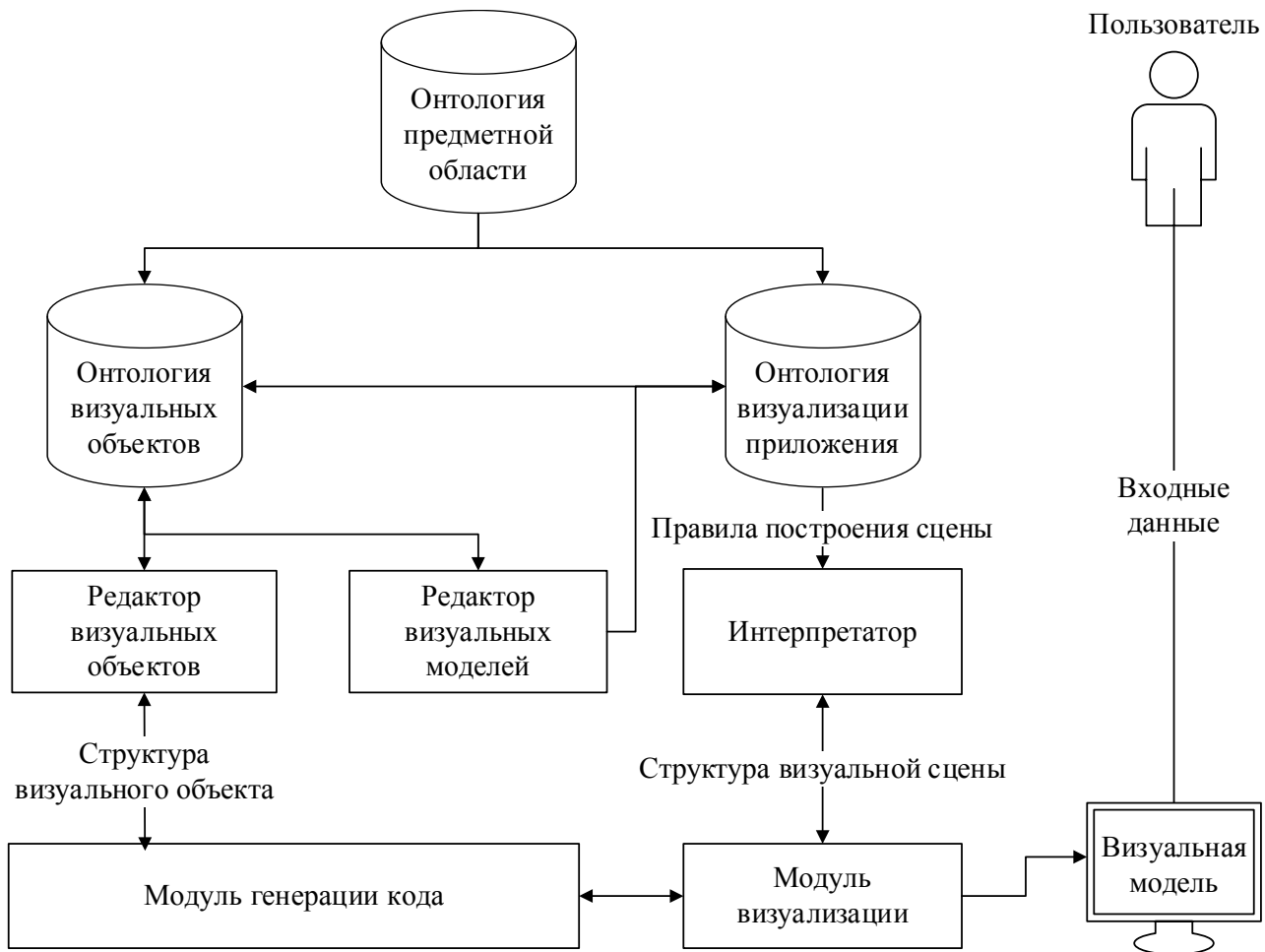


Рис. 2. Архитектура программной системы

Результатом работы программной системы будет JavaScript-код визуальной модели, содержащей набор объектов, каждый из которых следует определенным правилам поведения [5]. Опишем визуальную модель в расширенной нотации Бэкуса-Наура:

```

<визуальная_модель> ::= <входные_данные> <визуальный_объект> {<визуальный_объект>}
<визуальный_объект> ::=
параметры_объекта <визуальный_элемент> {<визуальный_элемент>} <месторасположение>
<правило_поведения> {<правило_поведения>}
<параметры_объекта> ::= (<имя_объекта> <координаты_объекта>
<углы_вращения_объекта>)
<координаты> ::= (<координата_по_оси_X> <координата_по_оси_Y>
<координата_по_оси_Z>)
<визуальный_элемент> ::= <параметры_элемента> <тип_элемента>
<параметры_элемента> ::= (<имя_элемента> <каркасная_модель> <цвет> <прозрачность>
<смещение> <угол_вращения_элемента>)
<тип_элемента> ::= <простой_объект> | <полигональный_объект>
    
```

<полигональный_объект> ::= <вершины_объекта> <границ_объекта>
 <вершины_объекта> ::= (<координаты> <координаты> <координаты>)
 {<вершины_объекта>}
 <границ_объекта> ::= (<вектор3>){<границ_объекта>}
 <вектор3> ::= (<число> <число> <число>)
 <простой_объект> ::= <прямоугольник> | <сфера> | <цилиндр> | <круг> | <торус> | <кольцо>
 <прямоугольник> ::= <ширина> <длина> <высота>
 <сфера> ::= <радиус> <количество_сегментов_по_ширине>
 <количество_сегментов_по_длине> <цилиндр> ::= <верхний_радиус> <нижний_радиус>
 <ширина>
 <круг> ::= <радиус> <количество_сегментов>
 <торус> ::= <радиус> <диаметр> <ширина> <радиальные_сегменты>
 <количество_сегментов>
 <кольцо> ::= <внутренний_радиус> <внешний_радиус> <количество_сегментов>
 <месторасположение> ::= [**simple** | **extend**] <имя_объекта> **placement**
 [<координаты_центра> | <начальные_координаты>]
 [<углы_вращения>|<конечные_координаты>]

Визуальную сцену можно представить в виде совокупности визуальных объектов, а также входных данных, поступающих от пользователя и влияющих на динамику всей сцены.

Правила месторасположения определяют размещение (и его тип) на сцене всех объектов, состоящих из различного числа составных элементов, в качестве которых могут выступать примитивы основных геометрических форм, либо построенные на основе полигональных каркасов. Каждый объект – набор многочисленных параметров, как общих, так и присущих только отдельным типам элементов.

<правило_поведения> ::= **if** <условие> {<условие>} **then** <действие>
 <условие> ::= <параметр_условия> <оператор> <значение>
 <параметр_условия> ::= <параметры_объекта> | <параметры_элемента> | <входные_данные>
 <оператор> ::= < | > | = | <= | >=
 <действие> ::= <изменение_параметра_объекта> | <изменение_параметра_элемента> |
 <замена_объекта> | <замена_элемента> | <удаление_объекта> | <удаление_элемента> |
 <добавление_объекта>
 <изменение_параметра_объекта> ::= **change_object_parameter** <имя_объекта>
 <параметр_объекта> <шаг> <значение>
 <изменение_параметра_элемента> ::= **change_element_parameter** <имя_объекта>
 <имя_элемента> <параметр_элемента> <шаг> <значение>

<замена_объекта> ::= **change_whole_object** <имя_объекта> <месторасположение>

<замена_элемента> ::= **change_whole_element** <имя_объекта> <имя_элемента>
<месторасположение>

<удаление_объекта> ::= **delete_object** <имя_объекта>

<удаление_элемента> ::= **delete_element** <имя_объекта> <имя_элемента>

<добавление_объекта> ::= **add_object** <месторасположение>

2. Реализация с использованием WebGL. Один из главных вопросов при создании визуализации – выбор технологии. Авторы предлагают использовать в качестве основы для визуализатора программную библиотеку WebGL [4], которая позволяет создавать интерактивную графику на языке JavaScript. WebGL, использующий низкоуровневый API OpenGL, удовлетворяет всем вышеописанным требованиям и позволяет работать с графикой прямо в браузере, не требуя установки дополнительных средств разработки. К тому же, реализация средства визуализации в виде веб-приложения даст пользователям возможность распределенной работы над визуальной моделью. Возможностей WebGL достаточно для создания моделей разной степени сложности (рис. 3).

На рисунке представлены две визуальные модели, отличающиеся лишь детализацией объектов. Упрощенная модель состоит из более чем 100 сложных объектов и более чем 400 простых элементов, что является куда более важным показателем. В более детализированной модели количество сложных объектов возросло незначительно (со 106 до 119), а количество простых элементов возросло почти в 6 раз (с 419 до 2453). Производительность модели при этом составила 20 FPS, что является достаточно удовлетворительным показателем, так как минимальное значение частоты кадров, обеспечивающее плавное восприятие человеком отображения движения – 8 FPS [12].

Заключение. Авторами предложены основные принципы разработки программного средства для визуализации, которое способно предоставить пользователям инструментарий для создания подсистем визуализации различного назначения. Авторы считают, что подобное программное средство позволило бы повысить эффективность процесса визуализации в различных прикладных и исследовательских областях. Предложен принцип создания визуальных объектов на основе полигональных сеток и примитивов, в достаточной мере удовлетворяющий требованиям большинства моделей, но при этом простой в реализации и использовании.

В статье показана архитектура предлагаемого средства, приведено формальное описание визуальной сцены, код которой будет являться результатом работы средства визуализации. Авторы предлагают использовать программную библиотеку WebGL в качестве основы для модуля визуализации. Для оценки применимости данной библиотеки приведен пример визуальной модели промышленной зоны.

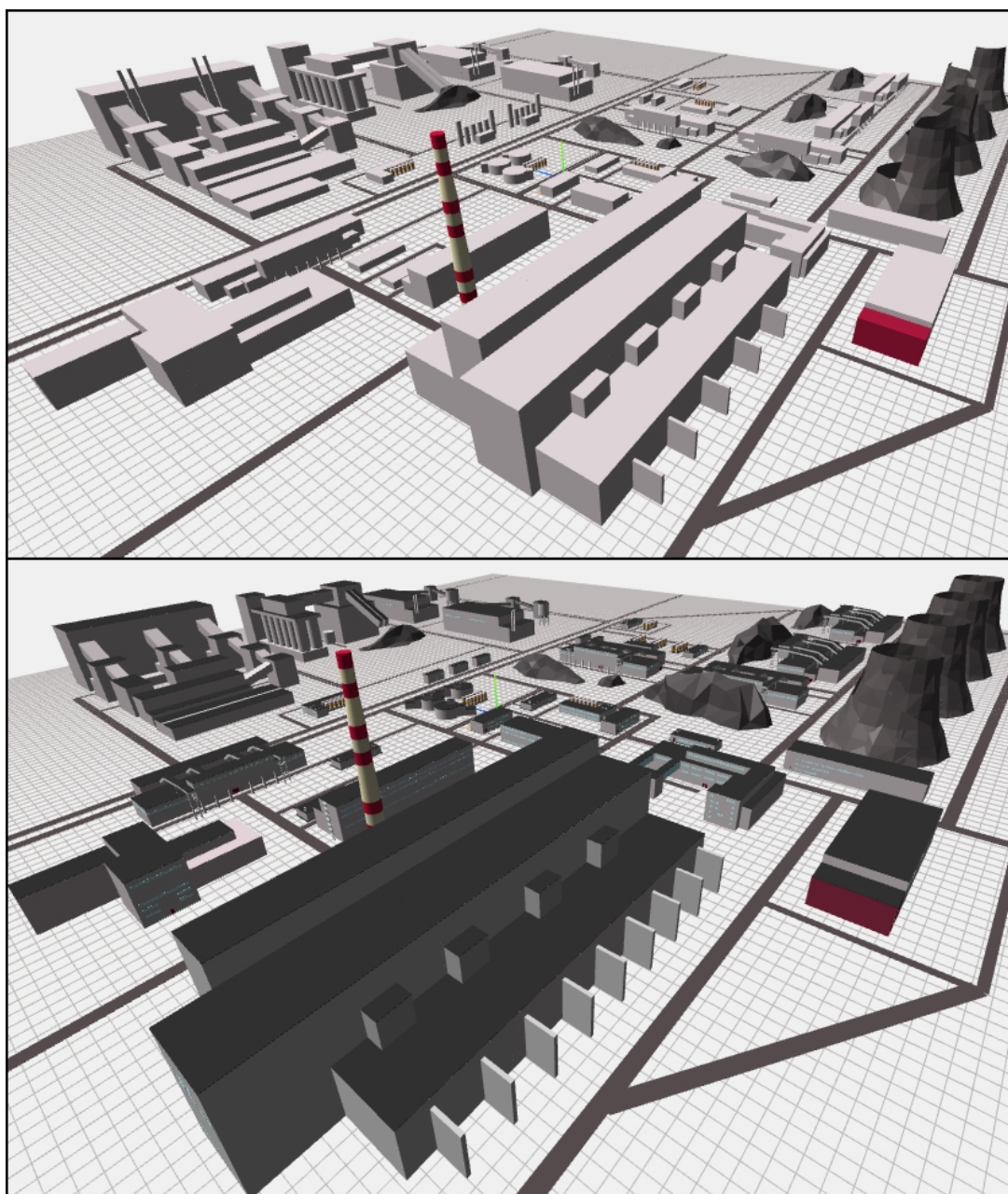


Рис. 3. Визуальные модели промышленной площадки

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Герасимов С.И., Бутова С.В. Съемка движущегося ракетного поезда // Научная визуализация. 2015. № 2. С. 12-20.
2. Грибова В.В., Петряева М.В., Федорищев Л.А. Разработка виртуального мира медицинского компьютерного обучающего тренажера // Дистанционное и виртуальное обучение. 2011. №9.
3. Джамбруно М. Трехмерная (3D) графика и анимация. 2-е издание. пер. с англ. М.: Вильямс, 2002. 640 с. [Giambro M. 3D Graphics & Animation. 2nd ed. New Riders Press, 2002. 640 p.]
4. Документация спецификации Web-based Graphics Library (WebGL). 2016. URL: <https://www.khronos.org/registry/webgl/specs/latest/1.0/> (дата обращения: 10.03.2016).

5. Коршунов С.А., Николайчук О.А., Павлов А.И. Web-ориентированный компонент производственной экспертной системы // Программные продукты и системы. – 2015. – №2. – С.20-25.
6. Перемитина Т.О. Компьютерная графика. Учебное пособие. Томск: Эль Контент, 2012. – 144 с.
7. Рыбкина А.И., Бобков А.Е., Никифоров О.В., Пятыгина О.О. Программно-аппаратный комплекс для визуализации геофизических данных на сферическом экране // Научная визуализация. 2015. № 2. С. 38-49.
8. Трухан И.А., Трухан Д.А. Визуализация учебной информации в обучении математике, ее значение и роль // Успехи современного естествознания. 2013. № 10. С. 113-115.
9. Турпалов В.Е., Гаврилов Н.И. Технологии трехмерной научной визуализации и геометрического моделирования в цифровой биомедицине // Научная визуализация. 2015. № 4. С. 27-43.
10. 3D Warehouse. URL: <https://3dwarehouse.sketchup.com>.
11. Kohei Fujita, Tsuyoshi Ichimura, Muneo Hori. A quick earthquake disaster estimation system with fast urban earthquake simulation and interactive visualization // Procedia Computer Science, 2014. Volume 29. С.866-876.
12. Keval H., Sasse M.A. To catch a thief – you need at least 8 frames per second: the impact of frame rates on user performance in a CCTV detection task // Proceedings of the 16th ACM international conference on Multimedia. – ACM, 2008. – P. 941-944

UDK 004.92

VISUALIZATION SOFTWARE TOOL BASED ON THE WEBGL LIBRARY

Sergei A. Korshunov

Postgraduate Student, e-mail: tualatin32@mail.ru

Nikita O. Dorodnyh

Postgraduate Student, e-mail: grey.for@gmail.com

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

Annotation: This paper describes the approach and guidelines for the development of software visualization tools, allowing non-programming users to create their own visualization subsystem, which can be used in various fields. Architecture and main components were considered, as well formal description of scenes creation and objects behaviour rules. An example of the visual model of the industrial site, based on WebGL software library is presented.

Keywords: visualization, ontology, simulation, modeling, computer graphics, spatio-temporal scenes.

References

1. Gerasimov S.I., Butova S.V. S"emka dvizhushchegosya raketnogo poezda [Shooting rocket moving train] / Scientific visualization = Nauchnaya vizualizaciya. 2015. № 2. Pp. 12-20. (in Russian).
2. Gribova V.V., Petryaeva M.V., Fedorishchev L.A. Razrabotka virtual'nogo mira medicinskogo komp'yuternogo obuchayushchego trenazhera [The development of the virtual world of computer medical training simulator] / Distance and virtual learning = Distancionnoe i virtual'noe obuchenie. 2011. №9. Pp. 30-42. (in Russian).
3. Giambro M. 3D Graphics & Animation. 2nd ed. New Riders Press, 2002. 640 p.
4. Web-based Graphics Library Specifications (WebGL). 2016. URL:<https://www.khronos.org/registry/webgl/specs/latest/1.0/> (дата обращения: 10.03.2016).
5. Korshunov S. A., Nikolajchuk O.A., Pavlov A. I. Web-oriented component of an expert system / Software products and systems = Programmnye produkty i sistemy. 2015. №. 2. Pp. 20-25. (in Russian).
6. Peremitina T.O. Komp'yuternaya grafika. Uchebnoe posobie [Computer graphics. Tutorial]. Tomsk: El content, 2012. – 144 p. (in Russian).
7. Rybkina A.I., Bobkov A.E., Nikiforov O.V., Pyatygina O.O. Programmno-apparatnyj kompleks dlya vizualizacii geofizicheskikh dannyh na sfericheskom ehkrane [Hardware-software complex for visualization of geophysical data on a spherical screen] / Scientific visualization = Nauchnaya vizualizaciya. 2015. № 2. Pp. 38-49. (in Russian).
8. Truhan I.A., Truhan D.A. Vizualizaciya uchebnoj informacii v obuchenii matematike, ee znachenie i rol' [Visualization of the educational information in the teaching of mathematics, its importance and role] / The success of modern science = Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya. 2013. № 10. Pp. 113-115. (in Russian).
9. Turpalov V.E., Gavrilov N.I. Tekhnologii trekhmernoj nauchnoj vizualizacii i geometricheskogo modelirovaniya v cifrovoj biomedicine [Technology dimensional scientific visualization and geometric modeling to digital biomedicine] / Scientific visualization = Nauchnaya vizualizaciya. 2015. № 4. Pp. 27-43. (in Russian).
10. 3D Warehouse. URL: <https://3dwarehouse.sketchup.com>.
11. Kohei Fujita, Tsuyoshi Ichimura, Muneo Hori. A quick earthquake disaster estimation system with fast urban earthquake simulation and interactive visualization // Procedia Computer Science, 2014. Vol. 29. Pp. 866-876.
12. Keval H., Sasse M.A. To catch a thief – you need at least 8 frames per second: the impact of frame rates on user performance in a CCTV detection task // Proceedings of the 16th ACM international conference on Multimedia. – ACM, 2008. – Pp. 941-944.

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 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