

# **СИСТЕМЫ И СРЕДСТВА ИНФОРМАТИКИ**

**Научный журнал Российской академии наук  
(издается под руководством Отделения нанотехнологий  
и информационных технологий РАН)**

Издается с 1989 года  
Журнал выходит ежеквартально

## **Учредители:**

**Российская академия наук  
Федеральный исследовательский центр  
«Информатика и управление» Российской академии наук**

## **РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ**

академик РАН И. А. Соколов — председатель Редакционного совета  
академик РАН Г. И. Савин  
академик РАН А. Л. Стемпковский  
член-корреспондент РАН Ю. Б. Зубарев  
профессор Ш. Долев (S. Dolev, Beer-Sheva, Israel)  
профессор Ю. Кабанов (Yu. Kabanov, Besancon, France)  
профессор М. Никулин (M. Nikulin, Bordeaux, France)  
профессор В. Ротарь (V. Rotar, San-Diego, USA)  
профессор М. Финкельштейн (M. Finkelstein, Rostok, Germany)

## **РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ**

академик РАН И. А. Соколов — главный редактор  
профессор, д.ф.-м.н. С. Я. Шоргин — заместитель главного редактора  
д.т.н. В. Н. Захаров проф., д.ф.-м.н. В. Ю. Королев  
проф., д.т.н. В. Д. Ильин проф., д.г.-м.н. Р. Б. Сейфуль-Муллюков  
проф., д.ф.-м.н. Л. А. Калиниченко проф., д.т.н. И. Н. Сеницын  
д.т.н. В. А. Козмидади к.т.н. А. В. Филин  
проф., д.т.н. К. К. Колин к.ф.-м.н. С. А. Христочевский

## **Редакция**

профессор, д.г.-м.н. Р. Б. Сейфуль-Муллюков  
к.ф.-м.н. Е. Н. Арутюнов  
С. Н. Стригина (ответственный секретарь)

© Федеральный исследовательский центр «Информатика  
и управление» Российской академии наук, 2016

Журнал включен в базу данных Russian Science Citation Index (RSCI),  
интегрированную с Web of Science

Журнал входит в систему Российского индекса научного цитирования (РИНЦ)  
Журнал включен в базу данных CrossRef (систему DOI — Digital Object Identifier),  
в базу данных Ulrich's periodicals directory  
и в информационную систему «Общероссийский математический портал Math-Net.Ru»

Журнал реферируется в «Реферативном журнале» ВИНТИ  
и в системе Google Scholar

Журнал включен в сформированный Минобрнауки России Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук

**<http://www.ipiran.ru/journal/collected>**

# СИСТЕМЫ И СРЕДСТВА ИНФОРМАТИКИ

Том 26 № 4 Год 2016

## СОДЕРЖАНИЕ

Метод повышения пертинентности информации в рекомендательных системах поддержки жизнеобеспечения на основе неявных данных <b>С. А. Филиппов, В. Н. Захаров</b>	<b>4</b>
Модели отказоустойчивых самосинхронных схем <b>Ю. А. Степченков, А. Н. Каменских, С. Ф. Тюрин, Ю. В. Рождественский</b>	<b>19</b>
Оценка защищенности в безопасных архитектурах распределенных информационных систем <b>А. А. Грушо, Н. А. Грушо, Е. Е. Тимонина</b>	<b>31</b>
Некоторые системотехнические и нормативно-методические вопросы обеспечения защиты информации в автоматизированных информационных системах на облачных технологиях с использованием методов искусственного интеллекта <b>В. Е. Гаврилов, А. А. Зацаринный</b>	<b>38</b>
Методология создания веб-сервисного информационного взаимодействия в системе распределенных ситуационных центров <b>К. И. Волович, С. А. Денисов, В. А. Кондрашев, А. П. Сучков</b>	<b>51</b>
Применение архитектуры CUDA при реализации сеточных алгоритмов для метода скользящего разделения смесей <b>А. К. Горшенин, В. Ю. Кузьмин</b>	<b>60</b>
Максимизация дохода системы массового обслуживания типа $G/M/1$ на множестве пороговых стратегий с двумя точками переключения <b>Я. М. Агаларов, М. Я. Агаларов, В. С. Шоргин</b>	<b>74</b>

# СИСТЕМЫ И СРЕДСТВА ИНФОРМАТИКИ

Том 26 № 4 Год 2016

## СОДЕРЖАНИЕ

Метод взвешенных дискриминантных систем для классификации объектов с пропущенными данными <b><i>Т. В. Захарова, С. Е. Кинжитаева</i></b>	<b>89</b>
Моделирование визуальных рассуждений в функциональных гибридных интеллектуальных системах <b><i>А. В. Колесников, С. В. Листопад, С. Б. Румовская, В. И. Данишевский</i></b>	<b>100</b>
Алгоритмическое обеспечение оптимизационной задачи доставки груза водным транспортом <b><i>Е. М. Бронштейн, И. Е. Копылов</i></b>	<b>114</b>
Кросслингвистическая база данных для аннотирования логики-семантических отношений в тексте <b><i>А. А. Дурново, И. М. Зацман, Е. Ю. Лоцилова</i></b>	<b>124</b>
Социальный потенциал информационных технологий в современной России <b><i>К. К. Колин</i></b>	<b>138</b>
Создание человеко-машинной среды решения задач <b><i>А. В. Ильин, В. Д. Ильин</i></b>	<b>149</b>
Концептуальные основы автоматизированной обработки неструктурированной информации в перспективных системах управления <b><i>И. И. Быстров, В. Н. Козичев, Б. В. Тарасов</i></b>	<b>162</b>
Об авторах	<b>172</b>
Авторский указатель за 2016 г.	<b>175</b>
2016 Author Index	<b>181</b>
Правила подготовки рукописей статей	<b>187</b>
Requirements for manuscripts	<b>191</b>

## МЕТОД ПОВЫШЕНИЯ ПЕРТИНЕНТНОСТИ ИНФОРМАЦИИ В РЕКОМЕНДАТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ ПОДДЕРЖКИ ЖИЗНЕОБЕСПЕЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ НЕЯВНЫХ ДАННЫХ\*

*С. А. Филиппов<sup>1</sup>, В. Н. Захаров<sup>2</sup>*

**Аннотация:** Сегодня, когда методы релевантного поиска практически достигли своих пределов, все большее внимание уделяется повышению пертинентности информации. Особенно это справедливо в области систем поддержки жизнеобеспечения, связанных с розничной торговлей товарами и (или) услугами в Интернете, где происходит серьезная борьба за интерес покупателя. Практически все современные крупные интернет-магазины стараются адаптировать внешний вид и содержимое своих страниц под нужды конкретных пользователей, в основном с применением коллаборативной фильтрации (collaborative filtering, CF). Преимуществами данного подхода являются увеличение вовлеченности посетителей, улучшение пользовательского опыта и повышение конверсии. В данной работе представлено описание метода повышения пертинентности информации, опирающегося на неявные данные, т. е. на результаты обработки активности пользователей, связанных с процессом принятия решения, а не с его результатом (как в случае обработки явных данных). В основе метода лежит комбинированное использование подходов Item–Item CF и User–User CF, позволяющее предлагать посетителю пертинентное информационное предложение даже в ситуациях, когда сведения о пользовательской активности отсутствуют или малоинформативны. Возможность предложенного метода проверены с помощью экспериментального образца программного комплекса повышения пертинентности информации, установленного на действующий интернет-магазин Thaisoap. Полученные результаты подтверждают, что даже ограниченное применение метода достаточно серьезно для электронной коммерции улучшает пользовательский опыт и доходы владельца.

**Ключевые слова:** пертинентность; коллаборативная фильтрация; интернет-магазин; рекомендательная система; неявные данные

**DOI:** 10.14357/08696527160401

### 1 Введение

Одним из современных трендов в развитии сети Интернет является персонализация — способ подачи информации на сайтах, который подстраивается

---

\*Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки РФ (уникальный идентификатор проекта RFMEFI60414X0139).

<sup>1</sup>Институт проблем информатики Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук, stanislav@philippov.ru

<sup>2</sup>Институт проблем информатики Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук, vzakharov@ipiran.ru

под уникальные потребности конкретных посетителей. Современные поисковые системы, социальные сети, форумы, новостные ресурсы и системы поддержки жизнеобеспечения (здесь и далее под такими системами подразумеваются системы электронной коммерции, интернет-магазины) стараются адаптировать внешний вид и содержимое (контент) своих страниц под нужды конкретных пользователей. По результатам исследования компании Evergage, в 2015 г. персонализацию в реальном времени использовали 44% веб-сайтов, 17% мобильных сайтов, 13% веб-приложений и 9% мобильных приложений [1]. При этом 78% тех, кто не использует персонализацию сейчас, утверждают, что планируют начать ее использовать в течение следующих 12 мес. Увеличение вовлеченности посетителей, улучшение пользовательского опыта и повышение конверсии считаются самыми важными результатами ее применения.

В сфере электронной коммерции основным инструментом персонализации контента служат рекомендательные системы, обеспечивающие автоматическую обработку данных о пользовательской активности и выработку рекомендаций на товары и услуги, которые могут быть интересны конкретным пользователям [2]. Исходными данными для анализа поведения пользователей являются сведения об их активности, которые могут собираться явным или неявным образом. Явным образом получают персональные данные при регистрации, покупках, выставлении пользователем оценок тем или иным объектам на сайтах, в результате голосований и опросов, другие данные, связанные с уже принятыми пользователем решениями. При этом сегодня практически не уделяется внимания неявным данным, таким как, например, время пребывания посетителей на отдельных страницах, копирование данных со страниц, выделение отдельных характеристик товаров и т. п. Зачастую это связано с тем, что такие данные составляют огромные массивы, которые являются неоднородными и достаточно сложными для интерпретации. Более того, их хранение в реляционных базах данных фактически невозможно [3]. Поэтому, как правило, используются так называемые NoSQL системы управления данными (HBase, Cassandra). Их характерными особенностями являются отказ от транзакций, практически линейная масштабируемость, высокая скорость обработки запросов, отсутствие жесткой схемы данных.

Необходимо отметить, что адаптация под конкретного пользователя — весьма сложная задача, поскольку для ее решения необходимо принимать во внимание как присущие человеку неопределенность и спонтанность в рамках конкретного интернет-ресурса, так и множество неопределенностей, связанных с особенностями функционирования сети Интернет. В контексте проблемы персонализации контента (а также прогнозирования, выявления предпочтений и групп схожих ресурсов) встает задача обработки собранных данных и выявления определенных закономерностей, позволяющих сделать выводы о конкретных предпочтениях пользователей. Таким образом, основной целью обработки данных о пользовательской активности является извлечение полезной информации, которая может, в свою очередь, использоваться для решения следующих задач [4]:

- (1) кластеризация ресурсов. Группирование схожих по множеству посетителей ресурсов в несколько кластеров (групп) ресурсов. Кластеризация позволяет строить каталоги ресурсов, а также выявлять недостатки существующих тематических каталогов;
- (2) кластеризация пользователей. Группирование схожих пользователей в кластеры аналогично кластеризации ресурсов. Позволяет выявлять группы пользователей со схожими интересами;
- (3) построение устойчивых поведенческих профилей пользователей в виде перечня групп ресурсов, посещаемых как данным пользователем, так и схожими с ним пользователями;
- (4) построение расширенных профилей пользователей, включающих социально-демографические данные (анкеты), описательные статистики и поведенческие профили. Расширенные профили позволяют классифицировать новых пользователей, выявлять зависимости между пользовательским поведением и социально-демографическими характеристиками;
- (5) сегментация клиентской базы на основе расширенных профилей позволяет выделять сегменты как по анкетным данным клиентов, так и по их поведению. Эта информация используется при маркетинговых исследованиях;
- (6) персонализация контента. Представление каждому пользователю сайта наиболее интересной для него информации в наиболее удобном для него виде. Знание информационных предпочтений пользователя позволяет динамически перестраивать контент сайта;
- (7) построение карт сходства ресурсов и пользователей. Позволяет отображать множества наиболее посещаемых ресурсов и наиболее активных пользователей в виде точечного графика. Схожим ресурсам (пользователям) соответствуют близкие точки на карте. Карту сходства можно использовать как графическое средство навигации.

Существуют различные методы и подходы, используемые на практике при решении перечисленных выше задач. Весь класс этих методов, которые принято называть методами коллаборативной фильтрации, и рассмотрен далее.

## **2 Методы коллаборативной фильтрации**

В основе методов коллаборативной фильтрации лежит предположение о консервативности пользовательских предпочтений (т.е. пользователи, одинаково оценивающие определенные объекты, скорее всего, аналогичным образом будут оценивать и новые объекты со сходными характеристиками) [5]. По существу, рекомендации базируются на автоматическом сотрудничестве множества пользователей и на выделении (методом фильтрации) тех пользователей, которые демонстрируют схожие предпочтения или шаблоны поведения. Таким образом,

методы коллаборативной фильтрации вырабатывают рекомендации, основанные на модели предшествующего поведения пользователя и с учетом поведения пользователей со схожими характеристиками.

Наибольшее распространение в сфере электронной коммерции получили рекомендательные системы, использующие следующие методы коллаборативной фильтрации:

- коллаборативная фильтрация посредством анализа предпочтений групп пользователей со схожими интересами (User–User CF);
- коллаборативная фильтрация посредством анализа взаимосвязей между информационными единицами (Item–Item CF).

При этом по отдельности методы Item–Item CF и User–User CF используют только часть собираемой рекомендательными системами информации о пользовательской активности и предпочтениях при выработке рекомендаций. Более эффективным может быть использование гибридных подходов. Так, например, в работе [6] предлагается алгоритм комбинированной фильтрации, основная идея которого заключается в получении оценки неизвестного рейтинга как взвешенной суммы оценок на основании фильтрации по транзакциям, фильтрации по товарам и смешанной фильтрации (на основании рейтингов похожих товаров в похожих транзакциях).

### **3 Обзор метода повышения pertinентности информации**

Авторами данной работы по итогам проведенных прикладных научных исследований предлагается собственный метод повышения pertinентности информации, сочетающий сильные стороны обоих рассмотренных выше методов коллаборативной фильтрации и позволяющий более полно использовать доступную информацию о пользователях и информационных единицах, в первую очередь неважные данные о пользователе.

Суть предлагаемого метода заключается в совместном использовании при выработке рекомендаций оценок, полученных с использованием как метода Item–Item CF, так и метода User–User CF. Для новых пользователей или пользователей с нерепрезентативной историей посещений предлагается генерировать рекомендации, базируясь на данных о подобию информационных единиц (метод Item–Item CF). Таким образом решается проблема «холодного старта» и повышается качество рекомендаций для малоактивных пользователей, а также пользователей со слабо выраженными предпочтениями. По мере накопления данных о пользовательских предпочтениях и формировании его поведенческого профиля приоритет предлагается отдавать оценкам, полученным с использованием метода User–User CF, исходя из гипотезы о том, что при наличии качественных поведенческих профилей пользователей данный метод позволяет более точно предсказывать их предпочтения. При этом в случае необходимости рекомендации, полученные с использованием метода User–User CF, могут до-

полняться предложениями информационных единиц, полученными на основе их рейтинга популярности.

Высказанные гипотезы и работоспособность метода были экспериментально исследованы в составе действующего интернет-магазина Thaisoap. Магазин ориентирован на продажу натуральной тайской косметики и кокосового масла. Каталог товаров магазина содержит более 1 500 наименований товаров, разбитых на 180 классов (44 корневых класса, 136 подклассов). Ежедневно по данным за 2015 г. магазин посещают в среднем около 1 500 посетителей и проводят на нем в среднем 11 мин каждый (на каждого посетителя приходится в среднем 28 переходов по ссылкам). Для теоретических исследований использовалась тестовая выборка данных за IV квартал 2015 г., экспериментальные исследования проведены в феврале–мае 2016 г. В обоих случаях каталог товаров был неизменен. Дополнительно использовались статистические данные аналитической системы Яндекс.Метрика (<http://metrika.yandex.ru>).

#### **4 Определение подобия информационных единиц по неявным пользовательским предпочтениям**

В целях решения задачи формирования рекомендации с уместной информацией в условиях недостаточности знаний о пристрастиях пользователей авторами предлагается использовать метод, в основе которого лежит расчет близости пар и последующая группировка (кластеризация) информационных единиц на основе данных пользователей, последовательно просматривающих несколько товаров. При отсутствии данных предлагается использовать обычные классификаторы с учетом цены и параметров объектов, список «Новинки», а также матрицу «С этим товаром покупают» (аксессуары, дополняющие основную покупку). При данном подходе явное участие пользователей интернет-магазина в формировании рейтинга товаров не требуется.

Первым шагом алгоритма является построение матрицы подобия информационных единиц, где и по вертикали, и по горизонтали присутствуют все информационные единицы интернет-магазина. Заполнение матрицы происходит по следующему правилу: если пользователь последовательно просмотрел два товара, то вес подобия в матрице для этих двух товаров увеличивается на 1. Для обработки матрицы в целях выявления групп информационных единиц, которые являются близкими по своим оценкам подобия, из всех известных алгоритмов кластеризации в результате проведенного моделирования был выбран современный производительный алгоритм Affinity Propagation. Одним из преимуществ данного алгоритма является отсутствие необходимости предварительной оценки оптимального количества кластеров [7].

С помощью статистического пакета R была проведена обработка тестового массива данных интернет-магазина Thaisoap: построена матрица подобия по всему доступному временному периоду и проведена ее обработка по алгоритму Affinity Propagation.



## Детализация кластера номер 5

Кластер	Референсная информационная единица	Примеры товаров из кластера
ID: 5 Size: 75	ID: 76. Нерафинированное 100% массажное кокосовое масло «Citronella» Tropicana, 100 мл	ID: 43. Кокосовое масло Tropicana, 1 л, нерафинированное ID: 51. Кокосовое масло нерафинированное Tropicana в аптекарском флаконе, 90 мл ID: 466. Восстанавливающий кокосовый ЛОСЬОН для тела Tropicana «Sweet Coconut» (без парабенов), 200 мл ID: 624. Маска-эксфолиант для лица «Морской коллаген» Artiscent, 100 мл ID: 1234. Мининабор шампунь и кондиционер для волос «Золотой шелк с экстрактом шелковицы»

Всего алгоритм выделил 64 кластера, наиболее крупными из которых оказались кластеры с номерами 5 (75 объектов), 8 (44 объекта), 10 (30 объектов), 19 (27 объектов) и 55 (31 объект). Качество работы алгоритма можно оценить на примере кластера номер 5, описание которого представлено в таблице. В частности, видно, что для референсной информационной единицы «массажное кокосовое масло» в кластер подобия попали товары на основе кокосового масла или косвенно ассоциирующиеся с кремами и маслами для ухода за телом.

Рассмотрение других полученных в результате работы алгоритма кластеров показывает, что в отдельные группы были выделены товары, имеющие схожие потребительские характеристики. Так, например, кластер номер 55 («Синий тайский бальзам от варикоза») сформирован преимущественно бальзамами («Традиционный малый КРАСНЫЙ тайский бальзам (для целебного массажа) Kogn Herb» и т. п.) и лаками («Противогрибковый лак «Демиктен» и т. п.) имеющими лечебно-профилактическую направленность. В кластер номер 10 («Набор «Здоровые волосы» Tropicana») попали товары для волос и тела («Сыворотка для волос «Romance»», «Набор «Роскошные волосы» Tropicana» и т. п.). В качестве референсной информационной единицы может выступать товар, который заинтересовал потенциального покупателя в каталоге интернет-магазина. Предложения же рекомендательной системы в этом случае будут формироваться, используя товары с оценками подобия, наиболее близкими к референсному товару (т. е. входящие в соответствующий кластер подобия). Таким образом, если новый посетитель выберет в каталоге массажное кокосовое масло «Citronella» Tropicana, то рекомендательная система предложит ему посмотреть кокосовое масло Tropicana, кокосовое масло нерафинированное Tropicana в аптекарском флаконе, восстанавливающий кокосовый ЛОСЬОН для тела Tropicana и т. д.

В зависимости от конфигурации рекомендательного сервиса предложения товаров (на базе метода Item–Item CF) могут дополняться наиболее популярными на текущий момент товарами или новыми товарами, требующими продвижения (например, из пяти слотов для рекомендованных товаров один может быть отведен для продвижения новых продуктов из линейки массажных масел).

В целом необходимо отметить, что использование метода Item–Item CF, основанного на оценке близости информационных единиц, позволяет получить рекомендации, интуитивно понятные посетителям магазина, не имея данных об их предпочтениях. Так, например, при выборе бальзама от варикоза рекомендательная система предложит посмотреть традиционный бальзам для целебного массажа и противогрибковый лак, что в целом будет достаточно точно соответствовать заданной посетителями тематике поиска (лечебно-профилактические средства на основе кокосового масла).

## 5 Формирование поведенческих профилей и выявление групп пользователей со схожими характеристиками

По мере накопления данных о пользовательской активности появляется возможность формирования поведенческих профилей и использования метода User–User CF для генерации рекомендаций, более полно соответствующих предпочтениям конкретных пользователей. В результате проведенного имитационного моделирования было установлено, что наиболее подходящим с учетом существующих для работы ограничений по скорости и объемам обработки данных для выявления групп пользователей со схожими предпочтениями (User–User CF) является метод кластеризации K-средних (K-means). В целом данный статистический метод прост в реализации и является хорошо масштабируемым [8]. Вычислительная сложность алгоритма —  $O(nkl)$ , где  $n$  — число объектов;  $k$  — число кластеров;  $l$  — число итераций. Одним из недостатков данного метода является необходимость заранее задавать число кластеров для разбиения. Тем не менее оптимальное для разбиения число кластеров достаточно просто получить посредством минимизации суммы внутрикластерных расстояний. Другим недостатком алгоритма K-средних является прямая зависимость производительности алгоритма от числа итераций. Число итераций может быть уменьшено заданием близких к оптимальным начальных значений центроидов кластеров (данный подход используется в модифицированном методе K-средних — K-means++).

Первым шагом алгоритма является построение матрицы активности пользователей. В тестовом массиве данных было доступно только количество обращений к конкретной категории товаров. Таким образом, каждая строка матрицы активности представляет собой вектор оценок, соответствующих различным категориям товаров (тематический профиль пользователя). Профиль пользователя характеризует степень его интереса к каждой группе товаров.

Следующим шагом (перед выявлением групп пользователей со схожими характеристиками методами кластеризации) является обработка полученной матри-

цы активности с целью вычисления попарных расстояний между ее элементами. В качестве метрики расстояния (функция сходства) было использовано расстояние Евклида (геометрическое расстояние в многомерном пространстве), которое является одной из наиболее простых для реализации и часто используемых на практике метрик на сегодняшний день. На рис. 1 представлена гистограмма расстояний, полученная в результате обработки матрицы с попарными расстояниями между объектами с помощью статистического пакета R. Предварительное рассмотрение результатов позволяет сделать вывод о том, что предпочтения (векторы активности) пользователей интернет-магазина Thaisoap не сильно отличаются (т. е., скорее всего, большинство пользователей интересуются схожими категориями товаров).

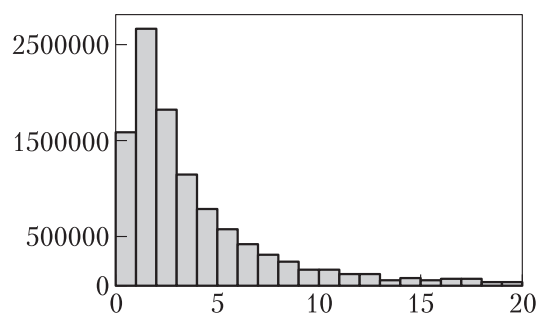


Рис. 1 Гистограмма расстояний

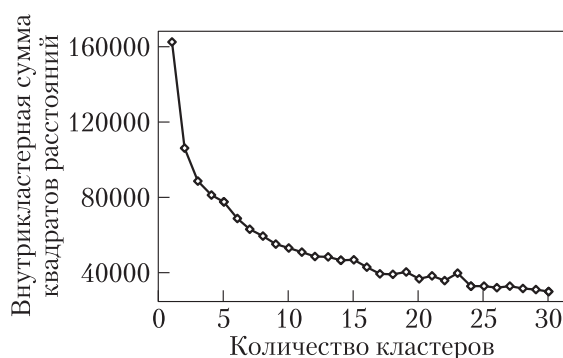


Рис. 2 Анализ количества кластеров

Одним из исходных параметров для применения метода K-средних является число кластеров, на которое необходимо разбить исследуемый массив данных. Для определения оптимального числа кластеров было проведено специальное исследование. В качестве критерия использовалась внутрикластерная сумма квадратов расстояний, которую необходимо было минимизировать. На рис. 2 приведены результаты расчета внутрикластерной суммы квадратов расстояний по методу локтя (Elbow method). В результате исследования тестового набора данных было определено оптимальное для данного тестового массива число кластеров, равное 30.

Таким образом, были получены все необходимые параметры для проведения кластеризации данных по матрице активности пользователей. Результат работы алгоритма кластеризации позволил выделить несколько наиболее крупных кластеров пользователей с номерами 1, 9, 20, 21 и 22. Пользователи из кластера под номером 1 (размер кластера 1384) демонстрируют слабое предпочтение ко всем категориям товаров. Возможно, что в кластер с номером 1 попали посетители

сайта, которые пришли без конкретной цели, например просто ознакомиться с предлагаемым ассортиментом товаров. Пользователи из кластера номер 9 (размер 180) демонстрируют явное предпочтение к категории cat9 («Лицо»). Пользователи из кластера номер 20 (размер 1366) демонстрируют предпочтение к категории cat7 («Кокосовое масло»). Сумма квадратов расстояний относительно других кластеров мала, что говорит о небольшом различии объектов внутри кластера. Пользователи из кластера номер 21 (размер 622) демонстрируют также предпочтение к категории cat7 («Кокосовое масло»). Пользователи из кластера номер 22 (размер 180) демонстрируют предпочтение к категориям cat47 («MUST HAVE Зима 2016») и cat49 («ХИТЫ нашего магазина»). Проведение расчетов на основании данных за другие недели дало похожие результаты.

Таким образом, данные, полученные в результате обработки исходных данных о пользовательской активности кластера, могут быть использованы для формирования предложений рекомендательной системой. Качество рекомендаций будет зависеть от адекватности данных о пользовательских предпочтениях (другими словами, качества сформированных поведенческих профилей). Рекомендоваться пользователям будут информационные единицы, имеющие наименьшее значение метрики расстояния по отношению к референсному товару (в качестве референсного рассматривается товар, который заинтересовал посетителя в конкретный момент времени). При необходимости рекомендации могут быть дополнены предложениями информационных единиц, имеющих близкие оценки подобию (метод Item–Item CF). Необходимость дополнения рекомендаций, полученных при использовании метода User–User CF, будет возникать, как правило, для пользователей, не имеющих четко выраженных предпочтений. Проведенные исследования показывают, что в целом предложенный подход к решению задачи выработки рекомендаций с использованием метода User–User CF (на базе использования методов кластерного анализа) позволяет формировать рекомендации, соответствующие ожиданиям пользователей. Так, например, более 70% регулярно посещающих интернет-магазин Thaisoap пользователей (по результатам экспериментальных исследований) воспользовались предложениями рекомендательного сервиса (совершили переходы по предлагаемым сервисом рекомендательным ссылкам или добавляли рекомендованные товары в корзину).

## **6 Оценка эффективности метода повышения пертинентности информации**

Одним из наиболее распространенных подходов к определению эффективности методов, применяемых в рекомендательных системах интернет-магазинов, является оценка средней наполненности покупательской корзины до и после использования рекомендательной системы. Существующие исследования дают довольно большой разброс результатов измерений. Но сходятся все они на том, что в любых случаях наблюдается рост средней наполненности покупательской корзины, который может составлять 12%–60% [9], при этом наблюдается

значительная дифференциация по типам товаров. Так, для бытовой техники и электроники эффект использования рекомендательных систем, как правило, минимален. Для книг и спортивных товаров, напротив, эффект близок к максимальному. Непосредственно на эффективность влияет такой параметр, как покрытие, определяющий, насколько полно имеющийся ассортимент товаров и услуг охватывается при выработке рекомендаций. Косвенное влияние на эффективность оказывает качество работы рекомендательной системы. Чем более полезные рекомендации вырабатываются, тем больше доверие и лояльность пользователей к интернет-магазину. Доверие пользователей является фактором, который может играть существенную роль в долгосрочной перспективе.

Для оценки эффективности рекомендательной системы, построенной на базе предложенного комбинированного подхода, был проведен сравнительный анализ четырех сценариев работы экспериментального образца программного комплекса повышения pertinентности информации в составе интернет-магазина Thaisoap. Первый сценарий не предполагает использования рекомендательного сервиса, покупатели используют только каталог товаров и стандартные средства поиска для выбора товаров. Второй сценарий предполагает использование рекомендательного сервиса, реализующего только метод Item-Item CF. Третий сценарий аналогичен второму, только используется метод User-User CF. В четвертом сценарии используется рекомендательный сервис, полностью использующий созданный метод повышения pertinентности информации на базе предложенного комбинированного подхода (Item-Item CF + User-User CF). В каждом из рассмотренных сценариев брался временной период, равный одному месяцу. При этом каталог товаров оставался неизменным (т. е. не изменялась номенклатура товаров, предлагаемых посетителям магазина). Одним из условий проведения сравнительного анализа являлась работа «с чистого листа», т. е. в начале каждого месячного отрезка времени не использовались данные о пользовательских предпочтениях или рейтингах информационных единиц, накопленные за предыдущие периоды времени.

В первом сценарии было выявлено 1860 посетителей, из которых 140 чел. совершили покупки (конверсия 7,5%). Средняя наполненность корзины при этом составила 1,5 товара. При навигации по сайту посетители совершали в среднем 36 кликов в рамках одной сессии и проводили на сайте в среднем порядка 16 мин. Во втором сценарии было выявлено 1908 посетителей, из которых покупки совершили 164 чел. (конверсия 8,6%). Средняя наполненность корзины при этом составила 2,1 товара. При навигации по сайту посетители совершали в среднем 31 клик в рамках одной сессии и проводили на сайте в среднем около 12 мин. В третьем сценарии было выявлено 1873 посетителя, из которых 145 чел. совершили покупки (конверсия 7,7%). Средняя наполненность корзины при этом составила 1,9 товара. При навигации по сайту посетители совершали в среднем 32 клика в рамках одной сессии и проводили на сайте в среднем около 14 мин. В последнем сценарии было выявлено 2011 посетителей, из которых 183 чел. совершили покупки (конверсия 9,1%). Средняя наполнен-

ность корзины при этом составила 2,4 товара. При навигации по сайту посетители совершали в среднем 28 кликов в рамках одной сессии и проводили на сайте в среднем около 11 мин.

Анализ полученных результатов исследования позволяет сделать следующие основные выводы.

1. Использование рекомендательной системы в рассматриваемых сценариях позволило повысить среднюю наполненность корзины и сократить время, затрачиваемое посетителями на поиск интересующих их товаров. Так, среднее время пребывания посетителей на сайте сокращалось в различных сценариях с 16 до 14–11 мин, при этом в сценариях с использованием рекомендательной системы увеличивалась средняя наполненность корзины, что напрямую влияло на среднюю величину чека и непосредственные доходы магазина.
2. Метод User–User CF показал себя малоэффективным на рассматриваемом интервале времени (один месяц). Основной причиной этого стало низкое качество рекомендаций, связанное с недостаточностью данных о пользовательских предпочтениях.
3. Метод Item–Item CF показал себя достаточно эффективным за счет успешного решения проблемы «холодного старта». По сравнению с первым сценарием конверсия увеличилась более чем на 1%, средняя наполненность корзины увеличилась с 1,5 до 2,1.
4. Рекомендательная система на базе комбинированного подхода позволила получить наибольший прирост рассматриваемых показателей. Так, конверсия выросла более чем на 1,5% по сравнению с первым сценарием, а средняя наполненность корзины выросла с 1,5 до 2,4 (т. е. более чем на 35%).

В целом необходимо отметить, что эффективность рекомендательной системы сильно зависит как от типов продаваемых товаров, так и от особенностей используемых алгоритмов и качества реализации рекомендательной системы. В определенных ситуациях рекомендательная система может не давать заметного повышения показателей конверсии и средней наполненности товарной корзины. Тем не менее она остается полезной, так как предлагает более удобный и простой для посетителей способ поиска интересующих их товаров, тем самым создавая удобное окружение и повышая лояльность посетителей к интернет-ресурсу, что уже в среднесрочной перспективе может обеспечить возвраты пользователей, формирование пула постоянных покупателей, обеспечивающих стабильный рост выручки интернет-магазина.

## 7 Заключение

В данной работе представлено описание метода повышения пертинентности информации, основанного на комбинированном использовании методов Item–Item CF и User–User CF с применением неявных данных.

1. Для новых пользователей или пользователей с непрезентабельной историей посещений предполагается генерировать рекомендации, базируясь на рейтингах информационных единиц (метод Item–Item CF). Таким образом решается проблема «холодного старта» и повышается качество рекомендаций для малоактивных пользователей, а также пользователей со слабо выраженными предпочтениями.
2. По мере накопления презентабельных данных о пользовательских предпочтениях и формировании его поведенческого профиля предпочтение предлагается отдавать оценкам, полученным с использованием метода User–User CF. При наличии качественных поведенческих профилей пользователей данный метод позволяет более точно предсказывать их предпочтения. При этом в случае необходимости рекомендации, полученные с использованием метода User–User CF, могут дополняться предложениями информационных единиц, полученными на основе их рейтинга популярности.

Таким образом, предлагаемый метод позволяет более полно использовать доступную информацию о пользователях и информационных единицах, а также нивелировать недостатки обоих методов.

Практическая реализация предложенного метода в виде экспериментального образца программного комплекса повышения pertinентности информации экспериментально проверена в составе интернет-магазина Thaisoap. Анализ журналов активности пользователей в период экспериментальных исследований показал, что более 70% посетителей магазина используют блоки рекомендательной системы для поиска интересующих их товаров. При этом процент использования блоков рекомендательной системы посетителями, совершившими покупки за указанный период времени, превышает 80%. Сравнительный анализ различных сценариев показывает, что использование комбинированного подхода при построении рекомендательной системы позволило повысить конверсию более чем на 1,5%, сократить среднее время пребывания посетителей на сайте (с 16 до 11 мин), а также увеличить среднюю наполненность товарной корзины (с 1,5 до 2,4 товара).

Также необходимо отметить, что предложенный авторами метод гарантированно показывает лучшие результаты, чем известные и применяемые на сегодня методы Item–Item CF и User–User CF. В частности, это можно связать с учетом неявных данных, позволяющих более полно и быстро выявить пользовательские предпочтения, необходимые для формирования рекомендаций, что особенно важно сегодня, когда большая часть посетителей приходит из поисковой системы и затем более никогда не возвращается.

## Литература

1. Почему персонализация контента это еще не веб-персонализация. Блог платформы LPgenerator. <http://lpgenerator.ru/blog/2016/03/19/pochemu-personalizaciya-kontenta-eto-eshe-ne-veb-personalizaciya>.

2. Филиппов С. А., Захаров В. Н., Ступников С. А., Ковалев Д. Ю. Подходы к повышению pertinence информационного предложения в медиасервисах на основе обработки больших объемов данных // *Seur Workshop Proceeding: Selected Papers of the 17th Conference (International) on Data Analytics and Management in Data Intensive Domains (DAMDID/RCDL 2015)*, 2015. Vol. 1536. P. 114–118.
3. Филиппов С. А., Захаров В. Н., Ступников С. А., Ковалев Д. Ю. Организация больших объемов данных в рекомендательных системах поддержки жизнеобеспечения, входящих в состав глобальных платформ электронной коммерции // *Seur Workshop Proceedings: Selected Papers of the 17th Conference (International) on Data Analytics and Management in Data Intensive Domains (DAMDID/RCDL 2015)*, 2015. Vol. 1536. P. 119–124.
4. Лексин В. А. Технология персонализации на основе выявления тематических профилей пользователей и ресурсов Интернета. — Вычислительный центр им. А. А. Дородницына РАН, 2007. ВКР магистра.
5. Su X., Khoshgoftaar T. M. A survey of collaborative filtering techniques // *Advances Artificial Intelligence*, 2009. Vol. 2009. Article ID 421425. 19 p.
6. Гончаров М. Системы выработки рекомендаций. <http://www.businessdataanalytics.ru/RecommendationSystems.htm>.
7. Frey B. J., Dueck D. Clustering by passing messages between data points // *Science*, 2007. Vol. 315. Iss. 5814. P. 972–976. doi: 10.1126/science.1136800.
8. Coates A., Ng A. Y. Learning feature representations with K-means. — Stanford University, 2012. [http://www.cs.stanford.edu/~acoates/papers/coatesng\\_nntot2012.pdf](http://www.cs.stanford.edu/~acoates/papers/coatesng_nntot2012.pdf).
9. Дьяченко В. Сервисы рекомендаций: как с их помощью увеличить продажи на 60% // Коммерческий директор. <http://www.kom-dir.ru/article/51-servisy-rekomendatsiy>.

*Поступила в редакцию 14.09.16*

---

---

## METHOD OF INCREASING INFORMATION PERTINENCE FOR E-COMMERCE RECOMMENDER SYSTEMS BASED ON IMPLICIT DATA

*S. A. Philippov and V. N. Zakharov*

Institute of Informatics Problems, Federal Research Center “Computer Science and Control” of the Russian Academy of Sciences, 44-2 Vavilov Str., Moscow 119333, Russian Federation

**Abstract:** The paper describes the method of increasing pertinence of information in e-commerce recommender systems based on implicit data, i. e., due to the processing of user activity associated with the decision-making process. The method works successfully in situations where information about user activity is absent or little informative. Practical application of this method in e-commerce systems can improve their efficiency through targeted supply of goods and services



to consumers. The main feature of the proposed method is the combined use of Item–Item CF (collaborative filtering) and User–User CF methods taking into account the implicit data collected. The features of the proposed method are verified by a prototype software that is installed on the existing online store Thaisoap.

**Keywords:** pertinence search; collaborative filtering; e-commerce recommender system; implicit data targeting

**DOI:** 10.14357/08696527160401

## Acknowledgments

This work was supported by the Ministry of Education and Science of the Russian Federation, the unique identifier of the project is RFMEFI60414X0139.

## References

1. Pochemu personalizatsiya kontenta eto eshche ne veb-personalizatsiya [Why personalized content is not web personalization]. Blog of the LPgenerator. Available at: <http://lpgenerator.ru/blog/2016/03/19/pochemu-personalizatsiya-kontenta-eto-eshe-ne-veb-personalizatsiya/> (accessed August 9, 2106).
2. Philippov, S., V. Zakharov, S. Stupnikov, and D. Kovalev. 2015. Podkhody k povysheniyu pertinentnosti informatsionnogo predlozheniya v mediaservisakh na osnove obrabotki bol'shikh ob'emov dannykh [Approaches to improve the pertinence of information in the media services on the basis of big data processing]. *Ceur Workshop Proceedings: Selected papers of the 17th Conference (International) on Data Analytics and Management in Data Intensive Domains (DAMDID/RCDL 2015)*. Obninsk, Russia. 1536:114–118. Available at: <http://ceur-ws.org/Vol-1536/paper17.pdf> (accessed September 29, 2016).
3. Philippov, S., V. Zakharov, S. Stupnikov, and D. Kovalev. 2015. Organizatsiya bol'shikh ob'emov dannykh v rekomendatel'nykh sistemakh podderzhki zhizneobespecheniya, vkhodyashchikh v sostav global'nykh platform elektronnoy kommertsii [Organization of big data in the global e-commerce platforms]. *Ceur Workshop Proceedings: Selected Papers of the 17th Conference (International) on Data Analytics and Management in Data Intensive Domains (DAMDID/RCDL 2015)*. Obninsk, Russia. 1536:119–124. Available at: <http://ceur-ws.org/Vol-1536/paper18.pdf> (accessed September 29, 2016).
4. Leksin, V. A. 2007. Tekhnologiya personalizatsii na osnove vyyavleniya tematicheskikh profiley pol'zovateley i resursov Internet [Personalization technology on the basis of the identification of the thematic profiles of users and resources online]. Vychislitel'nyy Tsentr im. A. A. Dorodnitsyna RAN. Master's Degree Thesis.
5. Su, X., and T. M. Khoshgoftaar. 2009. A survey of collaborative filtering techniques. *Advances Artificial Intelligence* 2009. Article ID 421425. 19 p.
6. Goncharov, M. 2010. Sistemy vyrabotki rekomendatsiy [Recommendations systems]. Available at: <http://www.businessdataanalytics.ru/RecommendationSystems.htm> (accessed August 12, 2106).

7. Frey, B. J., and D. Dueck. 2007. Clustering by passing messages between data points. *Science* 315(5814):972–976. doi: 10.1126/science.1136800.
8. Coates, A. and A. Y. Ng. 2012. *Learning feature representations with K-means*. Stanford University. Available at: [http://www.cs.stanford.edu/~acoates/papers/coatesng\\_nntot2012.pdf](http://www.cs.stanford.edu/~acoates/papers/coatesng_nntot2012.pdf) (accessed July 14, 2106).
9. D'yachenko, V. 2016. Servisy rekomendatsiy: kak s ikh pomoshch'yu uvelichit' prodazhi na 60% [Recommendation services: How to use them to increase the sales by 60%]. *Kommercheskiy Director* [Director of Marketing]. Available at: <http://www.komdir.ru/article/51-servisy-rekomendatsiy> (accessed August 29, 2106).

*Received September 14, 2016*

### **Contributors**

**Philippov Stanislav A.** (b. 1980) — Candidate of Science (PhD) in technology, senior scientist, Institute of Informatics Problems, Federal Research Center “Computer Science and Control” of the Russian Academy of Sciences, 44-2 Vavilov Str., Moscow 119333, Russian Federation; stanislav@philippov.ru

**Zakharov Victor N.** (b. 1948) — Doctor of Science in technology, associate professor; Scientific Secretary, Federal Research Center “Computer Science and Control” of the Russian Academy of Sciences, 44- 2 Vavilov Str., Moscow 119333, Russian Federation; vzakharov@ipiran.ru

## МОДЕЛИ ОТКАЗОУСТОЙЧИВЫХ САМОСИНХРОННЫХ СХЕМ

Ю. А. Степченков<sup>1</sup>, А. Н. Каменских<sup>2</sup>, С. Ф. Тюрин<sup>3</sup>, Ю. В. Рождественский<sup>4</sup>

**Аннотация:** Разработка аппаратуры для цифровых вычислительных систем, отличающейся как высокой надежностью, так и энергоэффективностью, является одной из важнейших задач XXI в. Использование самосинхронных (СС) схем позволяет повысить их энергоэффективность. Однако увеличение аппаратных затрат при СС-исполнении обычной, неотказоустойчивой аппаратуры приводит к снижению ее надежности. Самосинхронное исполнение отказоустойчивой аппаратуры позволяет повысить не только ее надежность, но и улучшить комплексный показатель «энергозатраты–надежность». Дальнейшее развитие методов обеспечения отказоустойчивости СС-схем с учетом их специфики позволит компенсировать их недостатки, такие как сложность проектирования, за счет значительно лучших комплексных показателей эффективности. В статье разрабатываются модели и алгоритмы обнаружения неисправностей для методов обеспечения активной отказоустойчивости, что позволяет повысить достоверность функционирования (ДФ) и коэффициент готовности.

**Ключевые слова:** надежность; энергоэффективность; энергозатраты–надежность; самосинхронная схема; отказоустойчивость; саморемонт

**DOI:** 10.14357/08696527160402

### 1 Введение

Самосинхронные схемы зарекомендовали себя как хорошее решение для целей повышения энергоэффективности цифровых устройств [1–3]. Идея СС-схем заключается в отказе от тактирования устройств, благодаря чему снижается энергопотребление, особенно во время простоя. Методы проектирования СС-схем заложены в работах Д. Е. Маллера (см., например, [4]) и заключаются в использовании специальных элементов — индикаторов, позволяющих определять момент окончания всех переходных процессов в схеме. В книге [5] было предложено расцеплять входные последовательности на две фазы — активную

<sup>1</sup>Институт проблем информатики Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук, YStepchenkov@ipiran.ru

<sup>2</sup>Пермский национальный исследовательский политехнический университет, kamenskikh.anton@gmail.com

<sup>3</sup>Пермский национальный исследовательский политехнический университет, tyurinsergfeoyandex.ru

<sup>4</sup>Институт проблем информатики Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук, YRogdest@ipiran.ru

(рабочую) и неактивную (спейсер), обеспечивая тем самым монотонность всех переходов в последовательностях [6]. Реализация данного предложения позволяет использовать унифицированный тип СС-кодирования для всех классов схем.

Индикаторы окончания переходных процессов позволяют в дальнейшем оперативно обнаружить и локализовать константные консервативные неисправности (ККН) в устройстве, а затем провести восстановление (саморемонт) с использованием методов активной отказоустойчивости. Функциональность индикаторов СС-схем близка к известным методам рабочего контроля [7].

Теоретические основы диагностики и повышения надежности СС-схем заложены в работах В. И. Варшавского с соавт., в частности этой проблематике посвящена гл. 10 монографии [8]. Исследования по этой теме проводились в работах отечественных [9, 10] и зарубежных [11–13] ученых.

Однако существующие методы обнаружения неисправностей в СС-схемах используют в качестве признака неисправного состояния затягивание переходного процесса до момента срабатывания специально вводимого тайм-аута. Такой подход противоречит самой идее СС-схем, которые относятся к классу бестактовых (clockless) схем, в которых длительность переходного процесса может быть произвольной, но конечной величиной. Использование же генератора тактовых импульсов и счетчика времени в отказоустойчивых вариантах исполнения СС-схем приводит к их выводу из класса бестактовых схем и к росту энергопотребления. Более того, такой подход вносит существенную задержку на этапе обнаружения неисправности и делает невозможным его использование для ряда критических областей применения [14].

В настоящей статье будут предложены новые методы обнаружения неисправностей в СС-схемах, лишенные перечисленных выше недостатков.

## 2 Математические модели для расчета параметров надежности самосинхронных схем с активной отказоустойчивостью

Построим граф марковской цепи для расчета показателей надежности последовательно-параллельного порта (ПП-порта) с активной отказоустойчивостью [14]. Самосинхронное устройство с активной отказоустойчивостью может находиться в трех состояниях — исправное (0), работоспособное (1) или неработоспособное (2). Интенсивность  $w_1$  определяется сложностью невосстанавливаемого оборудования,  $w_2$  — сложностью основной системы,  $\mu$  — интенсивность восстановления (рис. 1).



Рис. 1 Граф марковской цепи ПП-порта с активной отказоустойчивостью

Необходимо учесть, что в интенсивность входят только отказы, приводимые к классу ККН, поэтому в коэффициенте готовности  $k_T$  необходимо учесть их долю ( $\varphi$ ). Очевидно, что надежность системы можно повысить, приближая соотношение  $w_1/w_2$  к нулю.

Расчет коэффициента готовности для ПП-порта СС-микроядра [14] показал, что в СС-схемах, благодаря небольшим затратам времени на обнаружение и локализацию неисправности, интенсивность отказов  $w_1$  определяет итоговое значение коэффициента готовности. Таким образом, одной из важных задач является повышение надежности дополнительного оборудования (ДО) — мультиплексоров, устройств управления и линий связи:

$$k_T = \frac{\mu}{w_2 + \mu} \cong 1;$$

$$k_T^* = \frac{\mu}{w_2 + \mu} e^{-w_1 t} \cong e^{-w_1 t}.$$
(1)

Кроме того, надежность можно повысить, увеличив интенсивность восстановления, которая определяется на основе времени на обнаружение, локализацию и последующий ремонт неисправности. Таким образом, надежность СС-схем можно повысить, разработав модели, позволяющие уменьшить время на обнаружение и локализацию неисправностей.

Так как в СС-схемах обнаруживаются только неисправности типа ККН, необходимо определять не только коэффициент готовности, но и ДФ. Достоверность функционирования — свойство системы, обуславливающее безошибочность производимых ею преобразований информации [15]. Достоверность функционирования складывается из вероятности безошибочной работы и вероятности возникновения обнаруживаемой ошибки. В случае СС-схемы обнаруживаются только ошибки типа ККН, точная доля которых неизвестна и, кроме того, зависит от множества факторов: элементной базы, технологии изготовления и т. д. Поэтому в [16] было предложено использовать коэффициент  $\varphi$ , отображающий долю ошибок типа ККН среди всех возможных ошибок (рис. 2).



**Рис. 2** Классификация событий, определяющих ДФ

При идеальном средстве контроля ДФ определяется как сумма вероятности безотказной работы (ВБР) и вероятности возникновения обнаруживаемого отказа:

$$D(t) = P_1(t) + P_2(t) = P_1 + \varphi(1 - P_1) = e^{-n\lambda t} + \varphi(1 - e^{-n\lambda t}) .$$

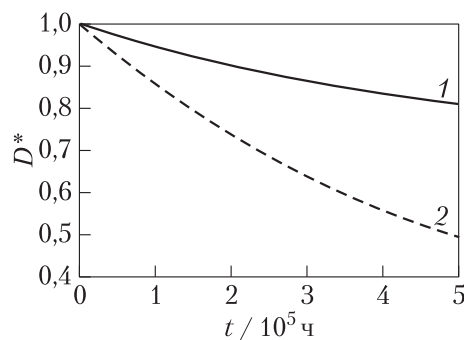


Рис. 3 Расчет ДФ: 1 —  $\varphi = 70\%$ ; 2 —  $\varphi = 20\%$

При неидеальном средстве контроля необходимо учесть ВБР устройства контроля и остального дополнительного оборудования (ДО):

$$D^*(t) = \left[ e^{-n\lambda t} + \varphi(1 - e^{-n\lambda t}) \right] e^{-L\lambda t} ,$$

где  $L$  — сложность ДО.

Все расчеты достоверности проводились с показателями сложности  $n = 2000$  (ячеек БМК — базовых матричных кристаллов) и интенсивности отказов, с учетом сбоев,  $\lambda = 10^{-9}$  1/ч (рис. 3).

### 3 Модель и алгоритм обнаружения неисправности для отказоустойчивого самосинхронного устройства с физическим тайм-аутом

Модель обнаружения неисправности:

$$(t_{\pi/\pi} > t_{\text{э}}) \rightarrow \text{Err} ,$$

где  $t_{\pi/\pi}$  — время переходного процесса;  $t_{\text{э}}$  — эталонное время; Err — сигнал ошибки.

Такая модель хорошо согласуется с определением ККН и использует фактор времени, поэтому в дальнейшем будем называть ее «временной» моделью обнаружения неисправности.

Один из недостатков временной модели заключается в том, что в ряде случаев неисправность обнаруживается только в фазе, следующей за фазой возникновения; таким образом, остается вероятность возникновения скрытой неисправности с переходом в состояние антиспейсера в рабочей фазе. Алгоритм контроля ошибки, учитывающий это обстоятельство, приведен на рис. 4:

- (1) определяется, в каком состоянии находится схема. Если схема в устойчивом состоянии, счетчик времени принудительно устанавливается в начало; при появлении антиспейсера сразу формируется сигнал ошибки. Если схема в переходном состоянии, то переход к счету;

- (2) сравнивается значение счетчика времени с пороговым значением. Если они равны, выдается сигнал ошибки и останавливается счет. Если значение счетчика меньше порогового значения, то возврат в начало алгоритма.

Таким образом, когда индикатор контролирует переходное состояние в схеме, то за каждый цикл работы счетчик увеличивает свое значение на единицу, пока не достигнет порога. По достижении порога счет останавливается. Если во время счета контролируемая схема перейдет в устойчивое состояние, счетчик принудительно будет сброшен в исходное состояние [17].

Синхронный счетчик позволяет измерять длительность переходной фазы тактами с известной задержкой, т. е. может быть задано условие — выдавать сигнал ошибки, если переходное состояние длится более 500 нс. Однако в реальных схемах требуется СС-счетчик: для обеспечения корректной работы при дифференцированных значениях питающего напряжения входы питания счетчика и контролируемой схемы должны быть подключены к одной шине. Тогда измерение задержки будет проходить в СС тактах, длительность которых зависит от внешних условий.

Помимо тайм-аута (зависания в фазе) необходимо контролировать появление запрещенного набора (антиспейсера) на выходе схемы. Сделать это можно разными способами: можно подключать сигнал ошибки напрямую на выход

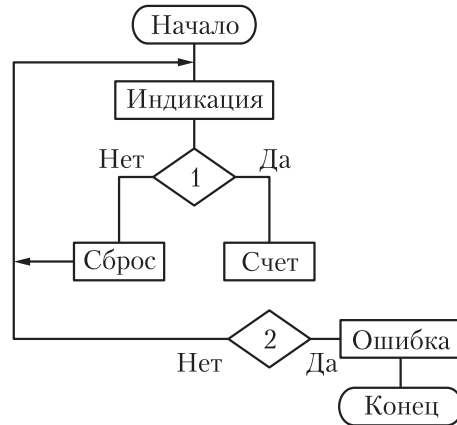


Рис. 4 Алгоритм обнаружения неисправности

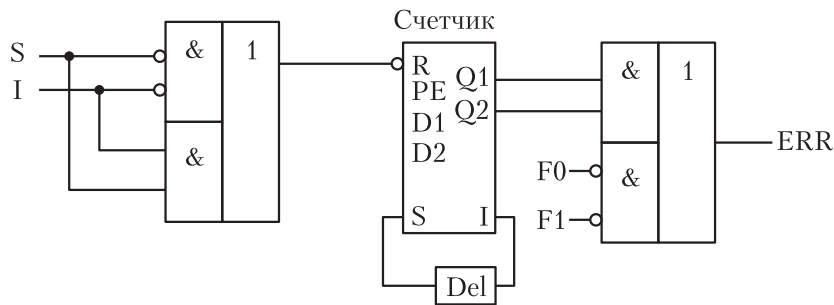
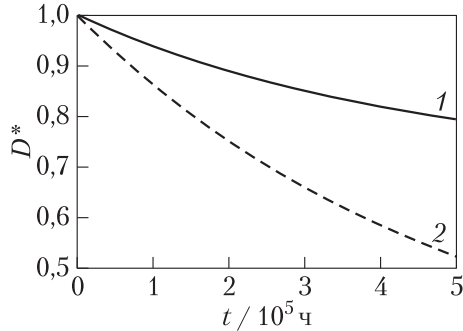


Рис. 5 Функциональная схема устройства обнаружения неисправности СС-схемы: S — запрос; I — индикаторный выход устройства (ответа); F0 и F1 — выходы устройства

ERR либо через предустановку счетчика. Функциональная схема предлагаемого счетчика приведена на рис. 5.

За сложность типового счетчика времени примем сложность 4-разрядного СС-счетчика. В качестве базового разряда возьмем триггер С0R [18] сложностью 8 ячеек БМК, кроме того, необходимы логические элементы для объединения выходов счетчика. Итого сложность счетчика времени  $n_c \approx 35$  ячеек БМК.



**Рис. 6** Расчет ДФ при  $n = 228$ ,  $L = 85$ ,  $\lambda = 10^{-8}$ : 1 — без учета ВБР ДО; 2 — с учетом ВБР ДО

Сложность остального ДО зависит от множества факторов — числа входов/выходов, количества резервных элементов и т. д. Очевидно, что при сложности устройства  $n$ , значительно большей (более двух порядков), чем сложность счетчика времени  $n_c$ , влиянием ДО можно пренебречь. Однако при сложности  $n$ , сравнимой (от 1 до 10 раз больше) со сложностью ДО, снижение ДФ будет весьма значительным (рис. 6).

Коэффициент готовности по (1), с учетом  $\varphi$ , при  $\lambda = 10^{-8}$  и  $t = 10^5$  составляет

$$K_{\Gamma}^* = \frac{\mu}{w_2 + \mu} w_1 \cong \overline{(P_{\text{ДО}}^* \vee (\overline{\varphi}) P_2)} = 0,86,$$

где  $P_{\text{ДО}}^*$  — вероятность отказа ДО.

#### 4 Исследование модели обнаружения неисправности на основе логического тайм-аута

В этом разделе проведем анализ СС-схем с целью выработки модели, позволяющей обнаружить неисправность без использования фактора времени. В простейшем случае такие модели известны — это контроль четности. Для случая нерезервированных СС-схем состояние антиспейсера также однозначно свидетельствует о наличии неисправности. В настоящем разделе будут рассмотрены более сложные механизмы обнаружения неисправностей в СС-схемах.

Константная консервативная неисправность — неисправность, при которой задержка в элементе становится бесконечной ( $t_{\text{п/п}} = \infty$ ). Модель логического тайм-аута должна быть функционально эквивалентна временной модели, т. е. реагировать только на неисправности типа ККН, иначе высока вероятность ложного срабатывания триггера неисправности. Например, если привязывать срабатывание триггера к переключениям в одном из каналов, не давая при этом времени



Таблица истинности СС-схемы для спейсеров 0 и 1

F1	F1B	F2	F2B	Спейсер 0		Спейсер 1	
				Ошибка	Комментарий	Ошибка	Комментарий
0	0	0	0	0	Спейсер 0	1	Антиспейсер
0	0	0	1	0	Задержка	1	Ошибка 1-го типа
0	0	1	0	0	Задержка	1	Ошибка 1-го типа
0	0	1	1	1	Антиспейсер	1	Антиспейсер
0	1	0	0	0	Задержка	1	Ошибка 1-го типа
0	1	0	1	0	Data0	0	Data0
0	1	1	0	—	Ошибка 2-го типа	—	Ошибка 2-го типа
0	1	1	1	1	Ошибка 1-го типа	0	Задержка
1	0	0	0	0	Задержка	1	Ошибка 1-го типа
1	0	0	1	—	Ошибка 2-го типа	—	Ошибка 2-го типа
1	0	1	0	0	Data1	0	Data1
1	0	1	1	1	Ошибка 1-го типа	0	Задержка
1	1	0	0	1	Антиспейсер	1	Антиспейсер
1	1	0	1	1	Ошибка 1-го типа	0	Задержка
1	1	1	0	1	Ошибка 1-го типа	0	Задержка
1	1	1	1	1	Антиспейсер	0	Спейсер 1

завершить все переходные процессы во втором, высока вероятность отключить работоспособный канал только по причине проектных (физических) различий в реализации СС-схем, а не вследствие наличия критической неисправности в одном из каналов.

Предлагается классификация неисправностей, которая позволяет обобщить имеющиеся данные по типам неисправностей СС-схем:

- антиспейсер — отказ в одном из каналов, мутантная неисправность;
- ошибка 1-го типа — неисправность типа ККН;
- ошибка 2-го типа — невозможно определить отказавший канал, мутантная неисправность;
- задержка переходного процесса не является неисправностью в чистом виде, однако может возникать как следствие производственных дефектов, физических различий, параметрических отказов и т. д.

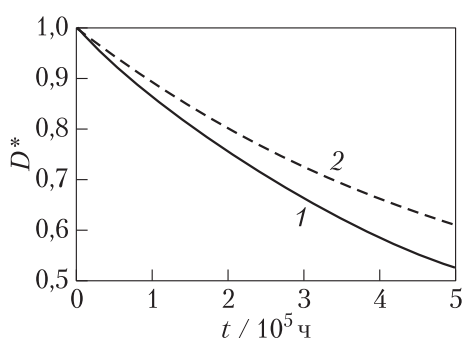
Проанализируем таблицу истинности с целью выявить признаки неисправностей, при этом будем учитывать фактор времени и возможность незавершения переходного процесса в одном из каналов.

Получим булевы уравнения ошибок:

$$g(f) = F1F1B \vee F2F2B = \text{Err}1 .$$

С учетом ошибок 2-го типа

$$g^*(f) = \text{Err}1 \vee F1F2B \vee F2F1B = \text{Err} . \tag{2}$$



**Рис. 7** Расчет ДФ при  $n = 228$ ,  $L_1 = 85$ ,  $L_2 = 54$ ,  $\lambda = 10^{-8}$ : 1 — физический тайм-аут; 2 — логический тайм-аут

Существенным недостатком предлагаемой модели является использование нагруженного резервирования. Однако сложность устройства обнаружения неисправности при использовании предлагаемой модели значительно ниже; следовательно, надежность СС-устройства с активной отказоустойчивостью и предлагаемой моделью обнаружения неисправности будет выше. Сложность устройства контроля, реализующего функцию (2), составляет 4 ячейки поля БМК. Рассчитаем коэффициент готовности по формуле (1) и ДФ с учетом  $\varphi$  при  $\lambda = 10^{-8}$ ,  $t = 10^5$ ,  $L = 54$  (рис. 7):

$$k_r^* = \frac{\mu}{w_2 + \mu} w_1 \cong \overline{(P_{\text{ДО}}^* \vee (\bar{\varphi}) P_2)} = 0,89.$$

## 5 Заключение

Проведен анализ СС-схем с активной отказоустойчивостью. Для анализа использовались модель Маркова и математическая модель для расчета достоверности СС-схем. Обобщен материал по имеющимся моделям обнаружения неисправностей в СС-схемах, результаты формализованы в виде модели и алгоритма. Предложена модель обнаружения неисправности на основе логического тайм-аута. Применение модели позволяет сократить аппаратные затраты на ДО, тем самым позволяя повысить надежность (коэффициент готовности и ДФ) СС-схем.

В дальнейшем планируется развивать идею логического тайм-аута с целью обнаруживать не только неисправности класса ККН, но и других классов. Потенциально метод логического тайм-аута способен обнаруживать не только однократные и многократные ККН, но также и мутантные неисправности.

## Литература

1. Степченков Ю. А., Дьяченко Ю. Г., Петрухин В. С., Плеханов Л. П. Само-синхронные схемы — ключ к построению эффективной и надежной аппаратуры долговременного действия // Научные технологии, 2007. Т. 8. № 5-6. С. 73-89.
2. Bailey A., Al Zahrani A., Fu G., Di J., Smith S. Multi-threshold asynchronous circuit design for ultra-low power // J. Low Power Electronics, 2008. Vol 4. No. 3. P. 337-348.

3. *Yakovlev A.* Energy-modulated computing // Design, Automation & Test in Europe Conference & Exhibition Proceedings. — IEEE, 2011. P. 1–6. [https://www.researchgate.net/publication/224235958\\_Energy-modulated\\_computing](https://www.researchgate.net/publication/224235958_Energy-modulated_computing).
4. *Muller D. E., Bartky W. S.* A theory of asynchronous circuits // Symposium (International) on the Theory of Switching Proceedings. — Harvard Univ. Press, 1959. Part 1. P. 204–243.
5. *Астановский А. Г., Варшавский В. И., Мараховский В. Б. и др.* Аперiodические автоматы / Под ред. В. И. Варшавского. — М.: Наука, 1976. 424 с.
6. Страницы истории отечественных ИТ / Сост. Э. М. Пройдаков. — М.: Альпина Паблишер, 2016. Т. 2. 234 с.
7. *Гуляев В. А., Макаров С. М., Новиков В. С.* Диагностика вычислительных машин. — Киев: Техніка, 1981. 167 с.
8. *Варшавский В. И., Кишиневский М. А., Мараховский В. Б. и др.* Автоматное управление асинхронными процессами в ЭВМ и дискретных системах / Под ред. В. И. Варшавского. — М.: Наука, 1986. 398 с.
9. *Варшавский В. И., Володарский В. Я., Мараховский В. Б. и др.* Аппаратная и структурная организация средств контроля и восстановления в самосинхронном кольцевом канале // Автоматика и вычисл. техника, 1989. JS1. С. 61–68.
10. *Степченко Ю. А., Дьяченко Ю. Г., Рождественский Ю. В. и др.* Самосинхронный вычислитель для высоконадежных применений // Проблемы разработки перспективных микро- и наноэлектронных систем-2010: Сб. тр. / Под общ. ред. акад. А. Л. Степковского. — М.: ИППМ РАН, 2010. С. 418–423.
11. *Rennels D. A., Kim H.* Concurrent error detection in self-timed VLSI // 24th Symposium (International) on Fault-Tolerant Computing Proceedings, 1994. P. 96–105.
12. *Lehtonen T., Liljeberg P., Plosila J.* Online reconfigurable self-timed links for fault tolerant NoC // VLSI Des., 2007. Vol. 2007. Article ID 94676. 13 p.
13. *Manohar R., Kelly C. W.* Fault tolerant asynchronous circuits. U.S. Patent No. 7505304, 2009.
14. *Степченко Ю. А., Петрухин В. С., Дьяченко Ю. Г.* Опыт разработки самосинхронного ядра микроконтроллера на базовом матричном кристалле // Нано- и микросистемная техника, 2006. № 5. С. 29–36.
15. ГОСТ Р. 53480-2009. Надежность в технике. Термины и определения. — М.: Стандартинформ, 2011. 26 с.
16. *Каменских А. Н.* Анализ достоверности функционирования отказоустойчивых асинхронных нейронных сетей // Нейрокомпьютеры: разработка и применение, 2016. № 8. С. 32–35.
17. *Каменских А. Н., Тюрин С. Ф.* Модель устройства обнаружения неисправностей самосинхронных схем // Радіоелектроні і комп'ютерні системи, 2014. № 6. С. 169–172.
18. *Степченко Ю. А., Денисов А. Н., Дьяченко Ю. Г., Гринфельд Ф. И., Филимонок О. П., Морозов Н. В., Степченко Д. Ю.* Библиотека элементов для проектирования самосинхронных полузаказных БМК микросхем серий 5503/5507 и 5508/5509. — М.: ИПИ РАН, 2013. 391 с.

Поступила в редакцию 15.09.16

## MODELS OF FAULT-TOLERANT SELF-TIMED CIRCUITS

Yu. A. Stepchenkov<sup>1</sup>, A. N. Kamenskih<sup>2</sup>, S. F. Tyurin<sup>2</sup>, and Yu. V. Rogdestvenski<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Institute of Informatics Problems, Federal Research Center “Computer Sciences and Control” of the Russian Academy of Sciences, 44-2 Vavilov Str., Moscow 119333, Russian Federation

<sup>2</sup>Faculty of Electrical Engineering of the Department of Automation and Telemechanics, Perm National Research Polytechnic University, 29 Komsomol Prosp., Perm 614990, Russian Federation

**Abstract:** The development of both the reliable and the energy-efficient computing systems is one of most important tasks in the XXI century. The usage of self-timed circuits makes it possible to improve energy-efficiency of a computing system. However, the complexity increase in not fault-tolerant self-timed circuits leads to decrease of reliability. The fault-tolerant self-timed implementation of digital devices makes it possible to increase not only reliability but also the complex index “energy-consumption/reliability.” The further development of synthesis methods of fault-tolerant self-timed circuits will allow to compensate the negative effects of self-timed circuit’s development by the positive effect of complex index increasing. The paper describes the models and algorithms of fault detection which are developed to improve validity and reliability of actively fault-tolerant self-timed circuits.

**Keywords:** reliability; energy-efficiency; energy-reliable; self-timed circuit; fault-tolerant; self-repair

**DOI:** 10.14357/08696527160402

## References

1. Stepchenkov, Yu. A., Yu. G. Diachenko, V. S. Petrukhin, and L. P. Plekhanov. 2007. Samosinkhronnye skhemy — klyuch k postroeniyu effektivnoy i nadezhnoy apparatury dolgovremennogo deystviya [Self-timed circuits is a key to design high efficient and reliable devices for long times] *Naukoemkie Tekhnologii* 8(5-6):73–89.
2. Bailey, A., A. Al Zahrani, G. Fu, J. Di, and S. Smith. 2008. Multi-threshold asynchronous circuit design for ultra-low power. *J. Low Power Electronics* 4(3):337–348.
3. Yakovlev, A. 2011. Energy-modulated computing. *Design, Automation & Test in Europe Conference & Exhibition Proceedings*. IEEE. 1–6: Available at: [https://www.researchgate.net/publication/224235958\\_Energy-modulated\\_computing](https://www.researchgate.net/publication/224235958_Energy-modulated_computing) (accessed September 15, 2016).
4. Muller, D. E., and W. S. Bartky. 1959. A theory of asynchronous circuits. *Symposium (International) on the Theory of Switching Proceedings*. Harvard Univ. Press. 1:204–243.
5. Astanovskiy, A. G., V. I. Varshavskiy, V. B. Marakhovskiy, et al. 1976. *Aperiodicheskie avtomaty* [Aperiodic automata]. Ed. V. I. Varshavskiy. Moscow: Nauka. 424 p.

6. Proydakov, E. M. (compiler). 2016. *Stranitsa istorii otechestvennykh IT* [The history pages of domestic IT]. Moscow: Al'pina Publisher. Vol. 2. 234 p.
7. Gulyaev, V. A., S. M. Makarov, and V. S. Novikov. 1981. *Diagnostika vychislitel'nykh mashin* [Diagnostics of computing systems]. Kiev: Tekhnika. 1981. 167 p.
8. Varshavskiy, V. I., V. A. Kishinevskiy, V. B. Marakhovskiy, et al. 1986. *Avtomatnoe upravlenie asinkhronnymi protsessami v EVM i diskretnykh sistemakh* [Automata control of asynchronous processes in computers and discrete systems]. Ed. V. I. Varshavskiy. Moscow: Nauka. 398 p.
9. Varshavskiy, V. I., V. Ya. Volodarskii, V. B. Marakhovskii, et al. 1989. Apparatsnaya i strukturnaya organizatsiya sredstv kontrolya i vosstanovleniya v samosinkhronnom kol'tsevom kanale [Hardware and structural organization of control and repair equipment in self-timed ring channel]. *Avtomatika i Vychisl. Tekhnika* [Automatic Control and Computer Sciences] JS1:61–68.
10. Stepchenkov, Yu. A., Yu. G. Djachenko, Yu. V. Rozhdestvenskiy, et al. 2010. Samosinkhronnyy vychislitel' dlya vysokonadezhnykh primeneniy [Self-timed calculator for high reliable applications]. *Vserossiyskaya nauchno-tekhnich. konf. "Problemy razrabotki perspektivnykh mikro- i nanoelektronnykh sistem (MES)." Sbornik trudov* [All-Russia Science & Technology Conference "Problems of Advanced Micro- and Nanoelectronic Systems Development" Proceedings]. Institute for Design Problems in Microelectronics of the Russian Academy of Sciences. 418–423.
11. Rennels, D. A., and H. Kim. 1994. Concurrent error detection in self-timed VLSI. *24th Symposium (International) on Fault-Tolerant Computing Proceedings*. 96–105.
12. Lehtonen, T., P. Liljeberg, and J. Plosila. 2007. Online reconfigurable self-timed links for fault tolerant NoC. *VLSI Des.* Article ID 94676. 13 p.
13. Manohar, R., and C. W. Kelly. 2009. Fault tolerant asynchronous circuits. Patent U.S. No. 7505304.
14. Stepchenkov, Yu. A., V. S. Petrukhin, and Yu. G. Diachenko. 2006. Opyt razrabotki samosinkhronnogo yadra mikrokontrollera na bazovom matrichnom kristalle [Development experience of self-timed RISC-processor using uncommitted Logic Array]. *Nano- i Mikrosistemnaya Tekhnika* 5:29–36.
15. GOST 53480-2009. 2010. Nadezhnost' v tekhnike. Terminy i opredeleniya [Dependability in technics. Terms and definitions]. Moscow: Standardinform Pubs. 32 p.
16. Kamenskikh, A. N. 2015. Analiz dostovernosti funktsionirovaniya otkazoustoychivyykh asinkhronnykh neyronnykh setey [The analysis of validity of fault-tolerant asynchronous neural networks]. *Neyrokomp'yutery: Razrabotka i Primenenie* [Neurocomputers: Development and Application] 8:32–35.
17. Kamenskikh, A. N., and S. F. Tyurin. 2014. Model' ustroystva obnaruzheniya neispravnostey samosinkhronnykh skhem [Fault detection unit model of self-timed circuits]. *Radioelektronniye Komp'yuterniye Sistemi* [Radioelectronic and Computer Systems] 6:169–172.
18. Stepchenkov, Yu. A., A. N. Denisov, Yu. G. Djachenko, F. I. Grinfield, O. P. Filimonenko, N. N. Morozov, and D. Yu. Stepchenkov. 2013. *Biblioteka elementov dlya proektirovaniya samosinkhronnykh poluzakaznykh BMK mikroskhem seriy 5503/5507 i 5508/5509* [Gates library for designing of self-timed ASIC circuits using series of uncommitted BMK Logic Array 5503/5507 and 5508/5509]. Moscow: IPI RAN. 391 p.

Received September 15, 2016

## **Contributors**

**Stepchenkov Yuri A.** (b. 1951) — Candidate of Science (PhD) in technology, Head of Department, Institute of Informatics Problems, Federal Research Center “Computer Science and Control” of the Russian Academy of Sciences, 44-2 Vavilov Str., Moscow 119333, Russian Federation; YStepchenkov@ipiran.ru

**Kamenskih Anton N.** (b. 1991) — PhD student, assistant of the Faculty of Electrical Engineering of the Department of Automation and Remote Control, Perm National Research Polytechnic University, 29 Komsomol Prosp., Perm 614990, Russian Federation; kamenskikh.anton@gmail.com

**Tyurin Sergey F.** (b. 1953) — Doctor of Science in technology, professor, professor of the Faculty of Electrical Engineering of the Department of Automation and Telematics, Perm National Research Polytechnic University, 29 Komsomol Prosp., Perm 614990, Russian Federation; tyurinsergfeo@yandex.ru

**Rogdestvenski Yuri V.** (b. 1952) — Candidate of Science (PhD) in technology, Head of Laboratory, Institute of Informatics Problems, Federal Research Center “Computer Science and Control” of the Russian Academy of Sciences, 44-2 Vavilov Str., Moscow 119333, Russian Federation, Moscow 119333, Russian Federation; YRogdest@ipiran.ru

## ОЦЕНКА ЗАЩИЩЕННОСТИ В БЕЗОПАСНЫХ АРХИТЕКТУРАХ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ\*

*А. А. Грушо<sup>1</sup>, Н. А. Грушо<sup>2</sup>, Е. Е. Тимонина<sup>3</sup>*

**Аннотация:** Необходимым условием безопасности архитектуры распределенных информационно-вычислительных систем (РИВС) является возможность эффективного перечисления информационных потоков (ИП) и анализ их содержания. Полнота анализа защищенности РИВС сводится к полноте перечисления ИП потоков и возможности анализа их содержания. Противоречивость безопасной архитектуры РИВС может возникнуть, если появятся неразрешенный ИП либо запрет на разрешенный ИП или пропуск сбой. Приведен пример архитектуры РИВС, в которой анализ взаимодействий компонентов представляет сложную вычислительную задачу, и пример безопасной архитектуры, когда можно эффективно анализировать все взаимодействия в РИВС.

**Ключевые слова:** безопасная архитектура распределенных информационно-вычислительных систем; методы анализа защищенности распределенных информационно-вычислительных систем

**DOI:** 10.14357/08696527160403

### 1 Введение

Распределенная информационно-вычислительная система рассматривается как единая система, позволяющая создавать и ликвидировать любое число виртуальных машин. Функционал в РИВС обеспечивается множеством взаимодействующих компонентов (информационные технологии (ИТ), задачи, хосты и другие сетевые сущности, управляющие системы). Компоненты РИВС можно представить в виде некоторой иерархической декомпозиции [1, 2].

В РИВС допускается существование компонентов, связанных с глобальными сетями, например Интернетом, или имеющих какое-то другое взаимодействие с окружением [3–5]. В связи с этим возникают риски вредоносного воздействия, которое состоит в захвате хостов вредоносным кодом (ВК).

---

\* Работа поддержана РФФИ (проект 15-07-02053).

<sup>1</sup> Институт проблем информатики Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук, grusho@yandex.ru

<sup>2</sup> Институт проблем информатики Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук, info@itake.ru

<sup>3</sup> Институт проблем информатики Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук, eltimon@yandex.ru

Бизнес-процессы развиваются во времени, задействуя или освобождая компоненты РИВС, при этом число компонентов ограничено.

Вредоносный код имеет ограниченный искусственный интеллект (ИИ), поэтому адаптация в изменяющейся среде порождает задержки его функционирования, иногда превышающие время стабильной работы компонентов.

В РИВС находится ценная информация (ЦИ), которая используется в компонентах и тем самым может передаваться в результатах выполнения функционала РИВС от одного компонента к другому.

Для ЦИ угрозами являются:

- утечка ЦИ в окружение;
- уничтожение или несанкционированная модификация;
- блокирование компонентов или их легального взаимодействия.

Для передачи ЦИ в узел, связанный с окружением, необходимо иметь путь, который может потребовать транзитные узлы, т. е. должен возникнуть ИП от узла-источника к узлу, имеющему доступ к окружению. Организация такого пути, в том числе с транзитными узлами, — это сложная задача для ВК.

Архитектура РИВС не должна допускать непосредственного взаимодействия с рисковыми узлами компонентов с ЦИ [1, 2], поэтому для появления ЦИ в узлах, связанных с окружением, от ВК требуется создание специальных путей, которые не должны быть легальными. Если система информационной безопасности (ИБ) РИВС контролирует ИП, то такие пути могут быть созданы либо за счет скрытых каналов (в этой работе не рассматриваются), либо с использованием легальных взаимодействий. Предположим, что в РИВС невозможно использование гипервизоров, руткитов и других уязвимостей компьютерных и сетевых устройств для построения утечки ЦИ на технических уровнях взаимодействия компьютерных систем.

Из этого предположения следует, что можно рассматривать только легальные взаимодействия и искать в них источники нарушения ИБ.

Оценка защищенности — это оценка возможностей противника в реализации угроз. Поскольку реализация угроз связана с построением некоторых ИП при взаимодействии компонентов РИВС, то анализ защищенности в указанных предположениях сводится к анализу взаимодействий компонентов РИВС. При этом методы анализа защищенности в рассматриваемых предположениях являются методами анализа взаимодействий компонентов РИВС. Однако анализ взаимодействий компонентов РИВС и порождаемых ими ИП — это сложная задача. Именно в попытках как-то решить эту задачу были разработаны политики безопасности MLS (multilevel security) и Байба [6].

Существенную роль в возможности эффективного решения данной задачи играет архитектура РИВС. Необходимым условием безопасности архитектуры РИВС является возможность эффективного перечисления ИП и анализ их содержания. Таким образом, полнота анализа защищенности РИВС сводится к полноте перечисления ИП и возможности анализа их содержания.



Противоречивость безопасной архитектуры РИВС [7] может возникнуть, если появятся неразрешенный ИП или запрет на разрешенный ИП, пропуск сбой.

В следующих разделах приведены примеры архитектуры РИВС, в которой анализ взаимодействий компонентов представляет сложную вычислительную задачу, и безопасной архитектуры, когда можно эффективно анализировать все взаимодействия в РИВС.

## **2 Пример архитектуры распределенной информационно-вычислительной системы с труднорешаемой задачей анализа взаимодействий**

Пусть корпоративная сеть предприятия состоит из  $n = 100$  связанных в локальную сеть компьютеров и сетевого оборудования, причем каждый компьютер может связаться с каждым (включая обращения к серверам). Предположим, что ИП между любыми двумя узлами возникает как пуассоновский процесс с интенсивностью  $\lambda = 0,1$ , т. е. в среднем каждая пара компьютеров соединяется 1 раз в течение рабочего дня  $T$  ( $T = 10$  ч). Тогда среднее число ИП в день равно 9900. Провести анализ содержания такого количества сессий в сутки человек не может. Если для выхода в Интернет имеется разрешение у каждого сотрудника или каждый сотрудник может использовать свой собственный носитель памяти, то защита конфиденциальности информации в такой сети предприятия отсутствует, а целостность — проблематична. В случае возникновения инцидента безопасности выявление нарушителя практически невозможно.

## **3 Пример архитектуры распределенной информационно-вычислительной системы, обеспечивающей полный контроль взаимодействий компонентов и содержания информационных потоков**

Пусть требования ИБ в РИВС описываются множеством атрибутов безопасности  $A_1, \dots, A_m$ . Сюда входят обязательные атрибуты ИБ, такие как параметры идентификации, а также атрибуты, обеспечивающие идентификацию исходных данных задач, и условия распространения результатов решения задач. Каждый атрибут описывается доменом возможных значений этого атрибута.

Предположим, что для каждой задачи  $B$  существует приложение  $D(B)$ , которое способно проводить анализ атрибутов ИБ задачи  $B$ . Задача  $B$  и приложение  $D(B)$  реализуются на разных виртуальных машинах, причем любое взаимодействие с  $B$  осуществляется через  $D(B)$ . Это приложение также организует реализацию всех взаимодействий для задачи  $B$ . Тогда пара  $(B, D(B))$  определяет функциональный и защитный компоненты задачи  $B$ . Рассмотрим корневое дерево  $R$ , корень которого является компонентом управления системы

и обозначается  $B_0$ , а ветви строятся, исходя из иерархической декомпозиции всех ИТ организации, т. е. каждая ИТ редуцируется во множество задач, образующих второй слой иерархической декомпозиции. Эти задачи порождают подзадачи, которые формируют следующие слои дерева. Полученное дерево назовем информационным деревом организации.

Дерево  $R$  определяет полурешетку, в которой для каждой пары вершин существует наименьшая верхняя грань. Путь коммутирующих вершин дерева проходит только по ребрам  $R$ . Если две задачи имеют легальное право обмениваться информацией, то их связь реализуется через единственный путь, соединяющий эти вершины дерева.

Рассмотрим коммуникацию смежных задач  $B_1$  и  $B_2$ . Запрос на коммуникацию и данные для обмена передаются по внутренним связям задач  $B_1$  и  $B_2$  с приложениями  $D(B_1)$  и  $D(B_2)$ . Приложения  $D(B_1)$  и  $D(B_2)$  рассматривают задачу возможности и необходимости затребованной передачи данных. При положительном решении они инициируют связь между  $D(B_1)$  и  $D(B_2)$  с использованием атрибутов безопасности задач  $B_1$  и  $B_2$ .

Связь произвольных задач  $B_1$  и  $B_2$  осуществляется через единственную последовательность соединений, определяемых ребрами дерева  $R$ , причем для каждой пары смежных вершин вопрос о возможности и необходимости соединения решается, как это было описано выше. Передача информации от одной ИТ к другой требует рассмотрения значительно меньшего числа атрибутов безопасности, в то время как связь задач внутри этих технологий требует рассмотрения большего числа атрибутов безопасности.

Построенная выше архитектура позволяет контролировать и анализировать все ИП в системе, при этом функционирование бизнес-задач не связано с функциями ИБ, так как изоляция и контроль всех связей определяется функцией  $D(\cdot)$ .

**Утверждение 1.** Для построенной архитектуры РИВС справедливы следующие утверждения:

- (1) не может возникнуть неразрешенный ИП между задачами;
- (2) не может исчезнуть разрешенный ИП;
- (3) места сбоев идентифицируются однозначно.

**Доказательство.** Каждый неразрешенный ИП имеет отличия в атрибутах ИБ задачи  $B$  (например, в значениях хэш-функции, зависящей от ключа), поэтому  $D(B)$  не допустит существования такого ИП. Если все атрибуты ИП совпадают с легальными атрибутами, соответствующими задаче  $B$ , то на шаге, предшествующем  $D(B)$ , происходит сравнение перечня задач с решаемыми в настоящее время, т. е. выявляются допустимые для решаемой задачи ИП. Если все данные совпадают, то нелегальный ИП реализуется скрытым каналом, не рассматриваемым в данной статье.

Если легальный ИП исчезает, то любое из контролируемых приложений  $D(\cdot)$ , предшествующих  $D(B)$ , не получает ответа в течение соответствующего

тайм-аута. Эта информация передается в блок управления, где вычисляется место сбоя.

**Утверждение 2.** *Рассматриваемая древовидная топология РИВС является единственной архитектурой, для которой выполняется утверждение 1.*

**Доказательство.** Предположим, что архитектура допускает два пути из задачи  $B_1$  в задачу  $B_2$ . На разных путях, проходящих через разные вершины, возможно отставание передаваемых пакетов данных. Тогда возможна коллизия данных в задаче  $B_2$ , состоящая в том, что пришедшие первыми исправленные данные будут заменены на пришедшие вторыми неправильные данные.

Возникает вопрос, зачем необходимы приложения  $D(\cdot)$  на входных и промежуточных вершинах пути. Такой подход позволяет идентифицировать задачи и подзадачи при реализации ИТ, что предотвращает, как было отмечено в доказательстве утверждения 1, появление нелегальных потоков, не связанных с реализацией конкретной ИТ, и выявляет ошибки и сбои. Если все приложения  $D(\cdot)$  свести к одному входному в ИТ экрану, то возможны неконтролируемые сбои и нелегальные потоки внутри ИТ.

В случае идентификации сбоя возможно создание нового участка пути в виртуальной среде с отключением участка, в котором произошел сбой. Новая ИТ запускается как система виртуальных машин, начиная с приложения  $D(\cdot)$  от этой технологии, т. е. строится поддерево от корня. Завершение задачи или ИТ соответствует уничтожению виртуальных машин задачи и соответствующего ей приложения  $D(\cdot)$  вплоть до всего поддерева соответствующей ИТ.

#### 4 Заключение

В работе предложен подход, обеспечивающий следующие решения по ИБ ИТ и задач:

- (1) изоляция доменов всех компонентов ИТ и задач (кроме хостов и физического оборудования);
- (2) возможность распределенного интеллектуального анализа данных для решения задач ИБ;
- (3) возможность контроля всех ИП между ИТ и задачами.

#### Литература

1. Грушо А., Грушо Н., Тимонина Е., Шоргин С. Безопасные архитектуры распределенных систем // Системы и средства информатики, 2014. Т. 24. № 3. С. 18–31.
2. Грушо А., Грушо Н., Тимонина Е., Шоргин С. Возможности построения безопасной архитектуры для динамически изменяющейся информационной системы // Системы и средства информатики, 2015. Т. 25. № 3. С. 78–93.
3. ГОСТ Р ИСО/МЭК 15408-1-2012. Информационные технологии. Методы и средства обеспечения безопасности. Критерии оценки безопасности информационных технологий. Часть 1. Введение и общая модель. — М.: Стандартинформ, 2014. 56 с.

4. ГОСТ Р ИСО/МЭК 15408-2-2013. Информационные технологии. Методы и средства обеспечения безопасности. Критерии оценки безопасности информационных технологий. Часть 2. Функциональные требования безопасности. — М.: Стандартинформ, 2014. 161 с.
5. ГОСТ Р ИСО/МЭК 15408-3-2013. Информационная технология. Методы и средства обеспечения безопасности. Критерии оценки безопасности информационных технологий. Часть 3. Компоненты доверия к безопасности. — М.: Стандартинформ, 2014. 150 с.
6. *Грушо А., Применко Э., Тимонина Е.* Теоретические основы компьютерной безопасности. — М.: Академия, 2009. 272 с.
7. *Грушо А. А., Забейало М. И., Зацаринный А. А., Писковский В. О.* Безопасная автоматическая реконфигурация облачных вычислительных сред // Системы и средства информатики, 2016. Т. 26. № 3. С. 83–92.

*Поступила в редакцию 13.09.16*

---

---

## SECURITY EVALUATION IN SECURE ARCHITECTURE OF DISTRIBUTED INFORMATION SYSTEMS

*A. A. Grusho, N. A. Grusho, and E. E. Timonina*

Institute of Informatics Problems, Federal Research Center “Computer Science and Control” of the Russian Academy of Sciences, 44-2 Vavilov Str., Moscow 119333, Russian Federation

**Abstract:** The necessary condition of secure architecture of distributed information systems is the possibility of effective enumerating of information flows and the analysis of their contents. Completeness of the analysis of security of distributed information systems comes down to completeness of enumerating of information flows and possibility of the analysis of their contents. Contradictions of secure architecture of distributed information systems can arise if there is a forbidden information flow, or a ban on an allowed information flow, or an admission of failure is possible. The paper gives an example of architecture of distributed information systems in which the analysis of interactions of components represents a complex computing problem and an example of secure architecture when it is possible to effectively analyze all interactions in distributed information systems.

**Keywords:** secure architecture of distributed information systems; methods of the analysis of security of distributed information systems

**DOI:** 10.14357/08696527160403

### Acknowledgments

The work was supported by the Russian Foundation for Basic Research (project 15-07-02053).

## References

1. Grusho, A., N. Grusho, E. Timonina, and S. Shorgin. 2014. Bezopasnye arkhitektury raspredelennykh sistem [Secure architecture of the distributed systems]. *Sistemy i Sredstva Informatiki — Systems and Means of Informatics* 24(3):18–31.
2. Grusho, A., N. Grusho, E. Timonina, and S. Shorgin. 2015. Vozmozhnosti postroeniya bezopasnoy arkhitektury dlya dinamicheski izmenyayushchey informatsionnoy sistemy [Possibilities of secure architecture creation for dynamically changing information systems]. *Sistemy i Sredstva Informatiki — Systems and Means of Informatics* 25(3):78–93.
3. ISO/IEC 15408-1-2012. 2014. Informatsionnye tekhnologii. Metody i sredstva obespecheniya bezopasnosti. Kriterii otsenki bezopasnosti informatsionnykh tekhnologiy. Chast' 1. Vvedenie i obshchaya model' [Information technology. Security techniques. Evaluation criteria for IT security. Part 1. Introduction and general model]. Moscow: Standardinfo. 56 p.
4. ISO/IEC 15408-2-2013. 2014. Informatsionnye tekhnologii. Metody i sredstva obespecheniya bezopasnosti. Kriterii otsenki bezopasnosti informatsionnykh tekhnologiy. Chast' 2. Funktsional'nye trebovaniya bezopasnosti [Information technology. Security techniques. Evaluation criteria for IT security. Part 2. Security functional requirements]. Moscow: Standardinfo. 161 p.
5. ISO/IEC 15408-3-2013. 2014. Informatsionnye tekhnologii. Metody i sredstva obespecheniya bezopasnosti. Kriterii otsenki bezopasnosti informatsionnykh tekhnologiy. Chast' 3. Komponenty doveriya k bezopasnosti [Information technology. Security techniques. Evaluation criteria for IT security. Part 3. Security assurance components]. Moscow: Standardinfo. 150 p.
6. Grusho, A., E. Primenko, and E. Timonina. 2009. Teoreticheskie osnovy komp'yuternoy bezopasnosti [Theoretical bases of computer security]. Moscow: Academy. 272 p.
7. Grusho, A. A., M. I. Zabezhailo, A. A. Zatsarinnyy, and V. O. Piskovski. 2016. Bezopasnaya avtomaticheskaya rekonfiguratsiya oblachnykh vychislitel'nykh sred [Secure automatic reconfiguration of cloudy computing]. *Sistemy i Sredstva Informatiki — Systems and Means of Informatics* 26(3):83–92.

*Received September 13, 2016*

## Contributors

**Grusho Alexander A.** (b. 1946) — Doctor of Science in physics and mathematics, professor, Head of Laboratory, Institute of Informatics Problems, Federal Research Center “Computer Sciences and Control” of the Russian Academy of Sciences, 44-2 Vavilov Str., Moscow 119333, Russian Federation; grusho@yandex.ru

**Grusho Nick A.** (b. 1982) — Candidate of Science (PhD) in physics and mathematics, senior scientist, Institute of Informatics Problems, Federal Research Center “Computer Sciences and Control” of the Russian Academy of Sciences, 44-2 Vavilov Str., Moscow 119333, Russian Federation; info@itake.ru

**Timonina Elena E.** (b. 1952) — Doctor of Science in technology, professor, leading scientist, Institute of Informatics Problems, Federal Research Center “Computer Sciences and Control” of the Russian Academy of Sciences, 44-2 Vavilov Str., Moscow 119333, Russian Federation; eltimon@yandex.ru

## НЕКОТОРЫЕ СИСТЕМОТЕХНИЧЕСКИЕ И НОРМАТИВНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ В АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ НА ОБЛАЧНЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА\*

*В. Е. Гаврилов<sup>1</sup>, А. А. Зацаринный<sup>2</sup>*

**Аннотация:** Статья посвящена вопросам информационной безопасности в облачных вычислительных системах (ОВС) и возможности использования технологий искусственного интеллекта (ИИ) в системах защиты информации. Проведен анализ основных проблем информационной безопасности в ОВС. Рассмотрены основные компоненты системы защиты информации, в которых в настоящее время в той или иной мере используются технологии ИИ. Даны предложения по расширению области применения этих технологий в целях защиты информации. Проанализирована существующая нормативная база по информационной безопасности в ОВС.

**Ключевые слова:** автоматизированные системы; информационная безопасность; облачные вычислительные системы; искусственный интеллект; стандарты; угрозы информационной безопасности

**DOI:** 10.14357/08696527160404

### 1 Введение

Основные подходы и методы защиты информации сформировались в конце 1980-х гг., когда получили распространение многопользовательские автоматизированные системы (АС) и многозадачные операционные системы. До появления этих технологий защита информации в АС обеспечивалась, в основном, за счет использования доверенного пользовательского программного обеспечения и сопутствующих организационно-технических мер. В нормативном плане методы защиты информации нашли отражение в документах так называемой «радужной серии» и в первую очередь в «Оранжевой книге» [1], на основе которых были разработаны руководящие документы Гостехкомиссии СССР [2, 3] по защите информации от несанкционированного доступа.

\*Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект 15-29-07981 офи-м).

<sup>1</sup>Институт проблем информатики Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук, vegavrilov@yandex.ru

<sup>2</sup>Институт проблем информатики Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук, AZatsarinny@ipiran.ru

Несмотря на интенсивное развитие информационных технологий (ИТ), основные положения этих документов с определенными оговорками актуальны и в настоящее время. При этом концептуально система защиты информации базируется на следующих основных принципах:

- запрещается все, кроме явно заданных полномочий пользователя;
- защита от угроз со стороны внешних нарушителей (защита периметра АС);
- создание доверенной, функционально замкнутой среды функционирования;
- обеспечение контроля целостности среды функционирования;
- обеспечение контроля действий авторизованных пользователей;
- ограничение возможностей пользователей по организации атак со стороны потенциального внутреннего нарушителя.

Приведенные выше принципы и подходы применялись на протяжении многих лет в различных вариантах, учитывающих как специфику применения АС пользователем, так и системотехнические решения. Эти принципы, по существу, обуславливают функционирование АС в защищенном исполнении (АСЗИ) как взаимодействие поименованных субъектов и объектов в замкнутой доверенной среде в соответствии с установленными правилами и требованиями.

Вместе с тем интенсивное развитие ИТ в значительной мере ограничивает реализацию указанных выше принципов защиты информации. Можно утверждать, что в настоящее время развитие ИТ опережает развитие методов и технологий защиты информации.

В настоящей статье авторами сделана попытка в определенной степени восполнить этот разрыв. В статье рассмотрены системотехнические и методические вопросы обеспечения защиты информации в автоматизированных информационных системах, построенных с использованием так называемых облачных технологий (далее — АИС ОТ).

## **2 Анализ особенностей системы защиты информации в автоматизированных информационных системах на облачных технологиях**

В терминах руководящих документов [3] АИС ОТ представляет собой многопользовательскую территориально распределенную АС с различными правами пользователей по доступу к информации. Соответствующие требования нормативных документов и сертифицированные средства защиты информации для построения системы защиты в такой АС имеются. Вместе с тем ряд особенностей ОВС существенно затрудняют построение традиционной системы защиты информации вплоть до полной невозможности реализации перечисленных выше основных принципов.

Рассмотрим некоторые из этих особенностей.

*Размытие периметра АИС ОТ.* Условия эксплуатации сегментов АИС ОТ отдельными участниками, политики безопасности, возможности участников по

применению организационно-технических мер защиты настолько многообразны, что у разработчика системы защиты вызывает значительные трудности даже разработка единой модели угроз и нарушителя [4].

*Нарушение функциональной замкнутости АИС ОТ.* В условиях АИС ОТ практически исключается централизованный контроль состава и безопасности локального пользовательского прикладного программного обеспечения. Использование данных от внешних источников, не хранимых в сегментах АИС ОТ и часто представленных в форматах, содержащих исполняемый код, делает практически невозможной реализацию принципа функционирования в замкнутой целостной программно-аппаратной среде.

*Сложности централизованного администрирования подсистемы управления доступом.* С ростом масштаба АС экспоненциально растет сложность централизованного администрирования подсистемы управления доступом зарегистрированных пользователей, явное задание их полномочий в мандатной и дискреционной моделях доступа. Реализация принципа «разрешено только то, что явно задано правилами разграничения доступа» становится практически невыполнимой. Кроме того, в условиях масштабной АИС ОТ становится практически невозможным централизованный контроль за действиями пользователей по установке дополнительного программного обеспечения, в том числе содержащего уязвимости, расширяющие возможности по проведению компьютерных атак.

Чаще всего указанные проблемы решаются за счет сегментации АИС ОТ с использованием средств виртуализации [5], однако надежность этой технологии в условиях массового применения недоверенных программно-аппаратных средств зарубежного производства вызывает определенные опасения. Даже использование сертифицированных гипервизоров отечественного производства не гарантирует, что они получают управление раньше, чем встроенные производителем в BIOS используемых средств вычислительной техники. Кроме того, централизованное администрирование безопасности АСЗИ на основе ОВС подменяется посегментным, что приводит к возможным нескоординированным действиям администраторов сегментов и, по существу, к «размыванию» ответственности за администрирование АИС ОТ в целом.

Таким образом, существующая нормативная база и сертифицированные средства защиты в полной мере не удовлетворяют условиям и требованиям создания системы защиты информации в АИС ОТ. Применительно к крупномасштабным территориально распределенным АС с различными условиями эксплуатации проблема создания системы защиты становится еще более сложной.

### **3 Особенности обеспечения защиты автоматизированных информационных систем на облачных технологиях с использованием методов искусственного интеллекта**

По-видимому, пришло время для пересмотра парадигмы защиты информации применительно к АИС ОТ. Современные технические средства (SDN-сети и др.)



предоставляют возможности для создания новых механизмов защиты информации с помощью динамической системы контроля информационных потоков [6]. Представляется, что в больших территориально распределенных АС, построенных на основе облачных вычислений (как правило, на начальном этапе не использующихся для обработки информации, содержащей сведения, составляющие государственную тайну), центр тяжести при построении системы защиты информации должен смещаться от существующего ограничительно-запретительного подхода к новому, основанному на мониторинге действий пользователей, состава и состояния программно-технических средств [7]. При этом средства мониторинга с учетом того, что критерии потенциально опасных событий трудно формализуемы, должны разрабатываться с использованием возможностей технологий ИИ [8, 9].

Рассмотрим некоторые применения методов ИИ в системе защиты информации.

*Антивирусная защита.* Наряду с традиционными методами защиты информации, предусмотренными нормативно-методическими документами, необходимой составной частью системы защиты информации является антивирусная защита. Как правило, средства антивирусной защиты базируются на методах сигнатурного поиска участков используемого кода, совпадающих с каким-либо из имеющихся образцов вирусов. Эффективность такой защиты полностью определяется полнотой соответствующей базы данных и своевременностью ее пополнения и не обеспечивает защиту от новых образцов вирусов и уязвимостей «нулевого дня» [10]. В ходе противостояния атакующей и защищаемой сторон появились самомодифицирующиеся вирусы, вирусы с зашифрованным кодом, которые не выявляются сигнатурным методом. Соответственно, в наиболее развитых антивирусных средствах стали применяться так называемые проактивные методы, которые выявляют возможные вирусные атаки по косвенным признакам, возможным сценариям внедрения и актуализации вирусного кода. С точки зрения теории ИИ эти методы близки к экспертным системам, а их эффективность существенным образом зависит от квалификации привлекаемых экспертов, своевременности пополнения соответствующей базы знаний и в целом от функционирования всей инфраструктуры, обеспечивающей доступность и своевременную актуализацию такой базы знаний.

Все сказанное относится и к *системе предупреждения и обнаружения компьютерных атак*, которая также строится на основе сигнатурного и проактивного методов. При этом компьютерная атака отличается активным участием нарушителя на всех этапах ее реализации и, следовательно, большей гибкостью сценариев атак в зависимости от складывающейся обстановки.

Еще одна возможная область применения методов ИИ — *мониторинг действий пользователей АС* — имеет существенные отличия. Действительно, если система обнаружения и предупреждения компьютерных атак и антивирусная защита базируются на обобщенном знании экспертного сообщества, аккумулирующемся в соответствующих базах знаний, то сценарий допустимых действий

зарегистрированного пользователя, который в общем виде должен быть положен в основу политики безопасности, напрямую зависит от функционального назначения АС и очень трудно формализуется. Опыт создания систем защиты информации показывает, что очень часто, по мнению заказчика, наибольшую опасность представляют действия инсайдеров (зарегистрированных пользователей), формально не выходящие за рамки предоставленных полномочий, но выполняемые в иной последовательности, с необычной частотой и др.

Составной частью подсистемы мониторинга действий пользователя может стать интеллектуальная подсистема контентного анализа информационных потоков [11], позволяющая в ряде случаев выявлять или предупреждать несанкционированные действия инсайдеров. При разработке такой системы мониторинга на первый план выходит свойство самообучаемости и качественно проведенная работа по ее настройке, например на этапе опытной эксплуатации с участием представителей заказчика, владеющих его бизнес-процессами.

Относительно новое направление защиты связано с угрозой *утечки защищаемой информации по скрытым логическим каналам передачи*, образуемым путем модуляции каких-либо легально передаваемых в канал связи сигналов, например служебной информации связных протоколов. случаем такого канала является скрытый канал, основанный на метках [12]. Представляется, что для выявления скрытых логических каналов передачи могли бы быть полезны методы ИИ, выявляющие аномалии в канале связи после определенного периода обучения.

Еще одно применение методов ИИ в системе защиты информации может быть связано с созданием *инструментария, облегчающего администрирование отдельных подсистем защиты*. В масштабных территориально распределенных АС задача построения непротиворечивой матрицы доступа становится нетривиальной, особенно с учетом необходимости ее согласования с распределением криптографических ключей шифрования, работой удостоверяющего центра, обеспечивающего использование электронной подписи, и т. п. Создание такого инструментария кажется весьма актуальным, так как сложность администрирования больших систем провоцирует администратора безопасности на использование единых ключей шифрования, необоснованное расширение полномочий пользователей, несвоевременное изменение этих полномочий и др.

При использовании технологий ИИ большую проблему представляет так называемый эффект «экспоненциального проклятия», связанный с большим объемом вычислений, которые должны выполняться в режиме реального времени. Разрешение этой проблемы, возможно, достигается за счет использования спецвычислителей на основе ассоциативной памяти, в которой система адресации опирается непосредственно на хранимые данные, а ячейки памяти способны выполнять логические операции. В этом направлении достигнуто определенное продвижение в последние годы. Так, исследователи из Королевского технологического института в Мельбурне (Royal Melbourne Institute of Technology, RMIT, Австралия) разработали новый вид мемристоров, на базе которых были созданы тонкопленочные устройства сверхскоростной аналоговой памяти, ячейки

которой могут принимать очень большое количество значений [13]. Мемристоры являются достаточно малогабаритными и сравнительно недорогими для создания на их базе новых вычислительных платформ, функционирующих подобно мозгу, которые будут обладать свойством самообучения и возможностью использования компьютерного аналога человеческой интуиции.

Таким образом, необходимость учета большого количества разнообразных факторов, влияющих на состав и содержание возможных угроз информационной безопасности, существенные различия в условиях эксплуатации отдельных сегментов АС, невозможность унификации организационно-технических мер защиты в этих сегментах и др. требуют качественного изменения подходов к проектированию АИС ОТ. Одно из таких изменений состоит в необходимости совершенствования существующей нормативной базы в области информационной безопасности с учетом перечисленных особенностей ОТ.

#### **4 Некоторые вопросы нормативного обеспечения защиты информации в автоматизированных информационных системах на облачных технологиях**

Этой работой в настоящее время занимается целый ряд международных и национальных организаций по стандартизации в области ИТ. При этом, как и в ряде других применений, в области информационной безопасности широкое распространение получил подход, при котором обобщаются, адаптируются и узакониваются стандарты, де-факто выработанные с учетом лучших практик разработчиков. Определенное влияние на состав и содержание разрабатываемых формальных стандартов с учетом потребностей конечных потребителей (заказчиков и разработчиков облачных систем) оказывает Совет заказчиков по облачным стандартам (Cloud Standards Customer Council, CSCC). В этот совет вошли уже более 400 крупнейших мировых компаний из разных отраслей. Среди многообразия стандартов, связанных с созданием и функционированием АИС ОТ, можно выделить две большие группы, определяющие бизнес- и технический подходы.

Остановимся подробнее на технических подходах. European Telecommunications Standards Institute (ETSI) выделяет несколько категорий технических стандартов — стандарты безопасности (security), совместимости (interoperability), переноса данных (data portability) и обратимости (reversibility). Для удобства ориентирования потребителей и координации облачных стандартов ETSI составил карту облачных стандартов (cloud standards map), описывающую действия заказчика и провайдера облачных услуг по фазам реализации проекта.

В рамках настоящей статьи представляет интерес рассмотреть вопросы стандартизации в области информационной безопасности АИС ОТ. В Европейском Союзе этой работой занимается Агентство Европейского Союза по сетевой и информационной безопасности (ENISA, European Union Agency for Network and Information Security). В сферу регулирования ENISA входят такие аспекты

облачной безопасности, как угрозы безопасности критической информационной инфраструктуры, механизмы защиты доверенных сервис-провайдеров (TSPs, Trust Service Providers), организация деятельности в случае киберкризисов, государственно-частное партнерство в области кибербезопасности, порядок расследования инцидентов, безопасность государственных облаков, распространение лучших практик разработчиков и т. д. По всем этим вопросам выработаны соответствующие стандарты.

Для принятия решений об использовании облачных сервисов в интересах госструктур предназначено руководство ENISA «Безопасность и жизнеспособность в государственных облаках: принятие взвешенных решений» [14]. Основная задача этого документа — оказание методической помощи государственным органам в принятии обоснованных решений на основе оценки рисков в области безопасности данных, непрерывности получения услуг и исполнения существующих законодательно нормативных требований.

Авторы руководства считают, что частные и коллективные облака наилучшим образом соответствуют потребностям государственных органов, которым необходимо достичь максимально высокого уровня управления данными. Однако в настоящее время его использование должно ограничиваться приложениями, не требующими конфиденциальности информации и/или не являющимися критически важными.

Заслуживает внимания технический отчет «Облака — Соглашения о качестве услуг для облачных сервисов» [15], опубликованный Европейским институтом телекоммуникационных стандартов (ETSI). Поскольку переход на использование облачных услуг потенциально несет серьезные риски для оперативной деятельности и управления, то отсутствие ясности относительно деталей предлагаемых услуг представляет проблему. Документ задуман как «практическое пособие, помогающее руководителям, принимающим в организациях решения по бизнес- и ИТ-вопросам, анализировать и учитывать соглашения о качестве обслуживания, предлагаемые различными поставщиками облачных услуг». В нем приводятся проблемы, с которыми сталкиваются потенциальные потребители облачных услуг. Основной упор делается на услуги, связанные с предоставлением физических хранилищ, вычислительных и сетевых ресурсов, хотя отчасти положения отчета применимы и к другим моделям предоставления облачных услуг.

Большую подготовительную работу проводит Альянс облачной безопасности (CSA, Cloud Security Alliance), который объединяет компании для совместной выработки лучших практик в области облачной безопасности.

Необходимо отметить, что хотя стандарты совместимости (interoperability), переноса данных (data portability) и обратимости (reversibility) напрямую не содержат рекомендаций по информационной безопасности, они, тем не менее, должны учитываться разработчиком системы защиты ОВС, так как они предполагают значительное расширение функциональных возможностей системы, в том числе несущих новые угрозы безопасности.

Ряд стандартов по облачным вычислениям разработала Международная организация по стандартизации — International Organization for Standardization (ISO). Некоторые из них, касающиеся вопросов обеспечения информационной безопасности, рассмотрим ниже.

Основным, специально разработанным для применения в ОВС, является стандарт ISO/IEC TS 27017 «Информационные технологии — Руководство по мерам информационной безопасности для использования сервисами облачных вычислений, основанное на стандарте ISO/IEC 27002» [16]. Он содержит рекомендации по обеспечению информационной безопасности при облачных вычислениях. Стандарт опирается на пересмотренную версию ISO/IEC 27002 [17] и содержит рекомендации по реализации многих описанных в этом документе мер информационной безопасности с учетом особенностей организации облачных вычислений. Разработка отдельного стандарта, посвященного системе менеджмента информационной безопасности в облаке, не планируется, поскольку считается, что достаточно существующего стандарта ISO/IEC 27001 [18]. Соответственно не предполагается отдельной сертификации решений по информационной безопасности у поставщиков облачных вычислений. Стандарт вышел в паре с другим стандартом — ISO/IEC 27018 «Свод практик по мерам защиты персональных данных при оказании публичных облачных услуг» [19], в котором рассматриваются вопросы защиты персональных данных при использовании облачных вычислений. Стандарт ISO/IEC 27018 предназначен для поставщиков услуг «публичного облака», которые ведут обработку персональных данных (и могут быть операторами персональных данных). Он содержит рекомендации по различным вопросам обеспечения безопасности персональных данных в публичном облаке. Стандарт дополняет рекомендации стандарта ISO/IEC 27002 в части целей и мер контроля и управления, связанных с защитой персональных данных в облачной среде.

С учетом широкого распространения ОТ для создания центров обработки данных, используемых в качестве публичных хранилищ пользовательской информации, заслуживает упоминания также стандарт ISO/IEC 27040 «Информационные технологии — Безопасность хранения данных» [20]. Стандарт содержит подробные технические рекомендации по снижению рисков за счет планирования, разработки и реализации системы безопасности при хранении данных. Стандарт применим при обеспечении безопасности устройств и носителей информации и относящейся к ним управленческой деятельности; при обеспечении безопасности приложений и сервисов. Этот стандарт имеет косвенное отношение к облачным вычислениям, так как вопросы хранения данных в облаках в других стандартах практически не рассматриваются.

Еще одним крупным участником работы по стандартизации является Национальный институт стандартов и технологий США (National Institute of Standards and Technology, NIST), разработавший стандарт NIST SP 800–144 «Руководство по обеспечению безопасности и защиты персональных данных при использовании публичных облачных вычислений» [21]. Руководство содержит обзор проблем

безопасности и защиты персональных данных при использовании публичных облаков и рекомендации организациям при аутсорсинге данных, приложений и инфраструктуры в среду публичного облака. В аннотации отмечается: «Данный документ дает представление об угрозах, технологических рисках и мерах предосторожности, связанных со средой публичных облачных вычислений. Это должно помочь организациям принимать обоснованные решения относительно использования этой технологии». Последнее утверждение представляется особенно актуальным, так как ответственность за безопасность и защиту персональных данных в публичном облаке не может быть делегирована поставщику облачных услуг и остается обязанностью оператора персональных данных и/или владельца иной информации, подлежащей защите.

В рамках федеральной программы управления рисками и авторизацией (Authorization Management Program, FedRAMP), предназначенной для отбора поставщиков услуг облачных вычислений для государственных органов, правительство США установило порядка 170 мер по обеспечению безопасности, которые нашли отражение в стандарте NIST SP 800–53 «Рекомендуемые меры безопасности для федеральных информационных систем и организаций» [22] для систем, инциденты в которых способны оказать небольшое или умеренное воздействие на деятельность и активы государственных органов. Чтобы получить разрешение на оказание облачных услуг федеральным органам государственной власти, поставщики обязаны реализовать у себя эти меры безопасности.

Порядок реализации мер безопасности детализирован также в ряде документов: План обеспечения безопасности системы (System Security Plan); Шаблон плана оценки безопасности (Security Assessment Plan); Шаблон отчета об оценке безопасности (Security Assessment Report), регламентирующих использование услуг поставщика облачных вычислений только после представления им «доказательств того, что его меры безопасности проверены и одобрены аккредитованной при программе организацией».

Рассмотренные международные нормативные документы, определяющие обеспечение безопасности информации при использовании ОТ, с большей или меньшей степенью детализации определяют угрозы информационной безопасности, цели и задачи защиты информации в АИС ОТ. Перечень таких документов может быть дополнен некоторым количеством аналогичных документов национальных органов по стандартизации. Однако принципиально это не меняет общей картины — конкретные технические требования и критерии полноты и достаточности комплекса применяемых программно-технических средств и мер в существующих документах не содержатся. Тем более в доступных нормативных документах не обнаружено каких-либо упоминаний о применении методов ИИ в целях защиты информации.

## **5 Заключение**

1. Широкое применение технологии облачных вычислений в АСЗИ порождает новые угрозы информационной безопасности и требует существен-

ного изменения подходов и принципов обеспечения защиты информации.

2. Использование методов ИИ позволяет повысить эффективность некоторых компонентов системы защиты в АИС ОТ. С целью преодоления эффекта «экспоненциального проклятия», характерного для технологий ИИ, целесообразно исследовать возможность применения спецвычислителей на основе «ассоциативной памяти» и мемристоров.
3. Существующая нормативно-методическая база по информационной безопасности, ориентированная на применение ОТ, содержит лишь самые общие рекомендации по составу и содержанию средств и методов защиты и нуждается в конкретизации. В работе по ее совершенствованию целесообразно учесть возможности применения в системе защиты информации методов ИИ.

### Литература

1. DoD 5200.28-STD. Department of Defense Trusted Computer System Evaluation Criteria. Orange Book, 1983.
2. Средства вычислительной техники. Защита от несанкционированного доступа к информации. Показатели защищенности от несанкционированного доступа к информации. — М.: ФСТЭК России, 1998.
3. Автоматизированные системы. Защита от несанкционированного доступа к информации. Классификация автоматизированных систем и требования по защите информации. — М.: ФСТЭК России, 1998.
4. Грушо А. А., Грушо Н. А., Забежайло М. И., Тимонина Е. Е. Интеллектуальный анализ данных в обеспечении информационной безопасности облачных вычислений // Суперкомпьютерные технологии: Мат-лы 4-й Всеросс. научн.-технич. конф. — Ростов-на-Дону: ЮФУ, 2016. Т. 2. С. 149–153.
5. Грушо А. А., Грушо Н. А., Тимонина Е. Е., Шоргин С. Я. Возможности построения безопасной архитектуры для динамически изменяющейся информационной системы // Системы и средства информатики, 2015. Т. 25. № 3. С. 78–93.
6. Грушо А. А., Забежайло М. И., Зацаринный А. А. Контроль и управление информационными потоками в облачной среде // Информатика и её применения, 2015. Т. 9. Вып. 4. С. 95–101.
7. Грушо А. А., Грушо Н. А., Тимонина Е. Е., Шоргин С. Я. Безопасные архитектуры распределенных систем // Системы и средства информатики, 2014. Т. 24. № 3. С. 18–31.
8. Грушо А. А., Забежайло М. И., Зацаринный А. А., Писковский В. О., Борохов С. В. О возможностях приложений интеллектуального анализа данных в задачах обеспечения информационной безопасности облачных сред // Научно-техническая информация. Сер. 2: Информационные процессы и системы, 2015. № 11. С. 1–11.
9. Grusho A., Grusho N., Timonina E. Detection of anomalies in non-numerical data // 8th Congress (International) on Ultra Modern Telecommunications and Control Systems and Workshops Proceedings, 2016 (в печати).
10. Грушо А. А., Смирнов Д. В. Защита бизнес-логики от атак нулевого дня // Системы и средства информатики, 2016. Т. 26. № 3. С. 60–73.

11. *Grusho A., Grusho N., Timonina E.* Content analysis in information flows // AIP Conference Proceedings, 2016. Vol. 1738. P. 220002-1–220002-4.
12. *Грушо А. А., Грушо Н. А., Тимонина Е. Е.* Анализ меток в скрытых каналах // Информатика и её применения, 2014. Т. 8. Вып. 4. С. 12–16.
13. Созданы мемристоры нового типа, способные эффективно имитировать нейроны головного мозга // DailyTechInfo, 31.05.2015. <http://www.dailytechinfo.org/infotech/7051-sozdany-memristory-novogo-tipa-sposobnye-effektivno-imitirovat-neyrony-golovnogo-mozga.html>.
14. Security & Resilience in Governmental Clouds: Making an Informed Decision. — European Network and Information Security Agency (ENISA), Jan. 2011.
15. Cloud; SLAs for Cloud services. Technical Report ETSI TR 103 125.
16. ISO/IEC TS 27017. Information technology — Security techniques — Information security management — Guidelines on information security controls for the use of cloud computing services based on ISO/IEC 27002.
17. ISO/IEC 27002:2005. Information technology — Security techniques — Code of practice for information security management.
18. ISO 27001:2005. Information technology — Security techniques — Information security management systems — Requirements.
19. ISO/IEC 27018. Code of practice for data protection controls for public cloud computing services.
20. ISO/IEC 27040. Information technology — Security techniques — Storage security.
21. NIST SP 800–144. Guidelines on Security and Privacy in Public Cloud Computing.
22. NIST SP 800-53 R3. Recommended Security Controls for Federal Information Systems and Organizations.

*Поступила в редакцию 14.09.16*

---

---

## ON SYSTEM-TECHNICAL AND REGULATORY-METHODOLOGICAL PROBLEMS OF DATA SECURITY IN CLOUD AUTOMATED INFORMATION SYSTEMS USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE TECHNOLOGIES

*V. E. Gavrilo and A. A. Zatsarinny*

Institute of Informatics Problems, Federal Research Center “Computer Science and Control” of the Russian Academy of Sciences, 44-2 Vavilov Str., Moscow 119333, Russian Federation

**Abstract:** The article focuses on information security in cloud automated information systems (AIS) and the possibility of using artificial intelligence in data protection systems. Major problems of data protection in cloud computer systems are analyzed. General components of a data protection system are considered. Presently, artificial intelligence is used in data protection systems to some extent. The authors propose to extend the area of application of artificial intelligence in order to protect data. The article contains an analysis of the current regulatory base regarding information security in the cloud computer systems.



**Keywords:** automated systems; information security; cloud computer systems; artificial intelligence; standards (norms); data security threats

**DOI:** 10.14357/08696527160404

## Acknowledgments

The work was supported by the Russian Foundation for Basic Research (project 15-29-07981 ofi-m).

## References

1. Department of Defense Trusted Computer System Evaluation Criteria. 1983. DoD 5200.28-STD. Orange Book.
2. FSTEC Russia. 1998. Sredstva vychislitel'noy tekhniki. Zashchita ot nesanktsionirovannogo dostupa k informatsii. Pokazateli zashchishchennosti ot nesanktsionirovannogo dostupa k informatsii [Computer technics means. Protection from unauthorized access to information. Security settings regarding unauthorized access to information].
3. FSTEC Russia. 1998. Avtomatizirovannye sistemy. Zashchita ot nesanktsionirovannogo dostupa k informatsii. Klassifikatsiya avtomatizirovannykh sistem i trebovaniya po zashchite informatsii [Automated systems. Protection from unauthorized access to information. Classification of automated systems and requirements for data protection].
4. Grusho, A. A., N. A. Grusho, M. I. Zabezhaylo, and E. E. Timonina. 2016. Intellektual'nyy analiz dannykh v obespechenii informatsionnoy bezopasnosti oblachnykh vychisleniy [Intellectual data analysis in data protection of cloud calculations]. *Superkomp'yuternye Tekhnologii: Mat-ly 4-y Vseross. nauchn.-tekhnich. konf.* [Supercomputer Technologies: 4th All-Russian Scientific and Technical Conference Proceedings]. Rostov-on-Don. 2:149–153.
5. Grusho, A. A., N. A. Grusho, E. E. Timonina, and S. Ya. Shorgin. 2015. Vozmozhnosti postroeniya bezopasnoy arkhitektury dlya dinamicheski izmenyayushchey informatsionnoy sistemy [Regarding capabilities of secured architecture creation for dynamic changing information system]. *Sistemy i Sredstva Informatiki — Systems and Means of Informatics* 25(3):78–93.
6. Grusho, A. A., M. I. Zabezhaylo, and A. A. Zatsarinny. 2015. Kontrol' i upravlenie informatsionnymi potokami v oblachnoy srede [Control and management of information streams in cloud environment]. *Informatika i ee Primeneniya — Inform. Appl.* 9(4):95–101.
7. Grusho, A. A., N. A. Grusho, E. E. Timonina, and S. Ya. Shorgin. 2014. Bezopasnye arkhitektury raspredelennykh sistem [Secured architecture of distributed systems]. *Sistemy i Sredstva Informatiki — Systems and Means of Informatics* 24(3):18–31.
8. Grusho, A. A., M. I. Zabezhaylo, A. A. Zatsarinny, V. O. Piskovsky, and S. V. Borokhov. 2015. O vozmozhnyakh prilozheniy intellektual'nogo analiza dannykh v zadachakh obespecheniya informatsionnoy bezopasnosti oblachnykh sred [Regarding opportunities of intellectual data analysis applications in problems of data security provision in cloud environment]. *Nauchno-tekhnicheskaya informatsiya. Ser. 2: Informatsionnyye protsessy i sistemy* [Science and technical information. Part 2: Information processes and systems] 11:1–11.

9. Grusho, A., N. Grusho, and E. Timonina. 2016 (in press). Detection of anomalies in non-numerical data. *8th Congress (International) on Ultra Modern Telecommunications and Control Systems and Workshops Proceedings*.
10. Grusho, A. A., and D. V. Smirnov. 2016. Zashchita biznes-logiki ot atak nulevogo dnya [Business-logic protection from zero-day attacks]. *Sistemy i Sredstva Informatiki — Systems and Means of Informatics* 26(3):60–73.
11. Grusho, A., N. Grusho, and E. Timonina. 2016. Content analysis in information flows. *AIP Conference Proceedings*. 1738:220002-1–220002-4.
12. Grusho, A. A., N. A. Grusho, and E. E. Timonina. 2014. Analiz metok v skrytykh kanalakh [An analysis of labels in hidden channels]. *Informatika i ee Primeneniya — Inform. Appl.* 8(4):12–16.
13. Sozdany memristory novogo tipa, sposobnye effektivno imitirovat' neyrony golovnogogo mozga [New type memristors have been created, which are capable to effectively imitate the brain neurons]. Available at: <http://www.dailytechinfo.org/infotech/7051-sozdany-memristory-novogo-tipa-sposobnye-effektivno-imitirovat-neyrony-golovnogogo-mozga.html> (accessed May 31, 2016).
14. European Network and Information Security Agency (ENISA). Jan. 2011. Security & Resilience in Governmental Clouds: Making an Informed Decision.
15. Cloud; SLAs for Cloud services. Technical Report ETSI TR 103 125.
16. ISO/IEC TS 27017. Information technology — Security techniques — Information security management — Guidelines on information security controls for the use of cloud computing services based on ISO/IEC 27002.
17. ISO/IEC 27002:2005. Information technology — Security techniques — Code of practice for information security management.
18. ISO 27001:2005. Information technology — Security techniques — Information security management systems — Requirements.
19. ISO/IEC 27018. Code of practice for data protection controls for public cloud computing services.
20. ISO/IEC 27040. Information technology — Security techniques — Storage security.
21. NIST SP 800–144. Guidelines on Security and Privacy in Public Cloud Computing.
22. NIST SP 800-53 R3. Recommended Security Controls for Federal Information Systems and Organizations.

*Received September 14, 2016*

## Contributors

**Gavrilov Victor E.** (b. 1950) — senior scientist, Institute of Informatics Problems, Federal Research Center “Computer Science and Control” of the Russian Academy of Sciences, 44-2 Vavilov Str., Moscow 119333, Russian Federation, Moscow 119333, Russian Federation; [vegavrilov@yandex.ru](mailto:vegavrilov@yandex.ru)

**Zatsarinny Alexander A.** (b. 1951) — Doctor of Science in technology, professor, Deputy Director, Federal Research Center “Computer Sciences and Control” of the Russian Academy of Sciences, 44-2 Vavilov Str., Moscow 119333, Russian Federation; [AZatsarinny@ipiran.ru](mailto:AZatsarinny@ipiran.ru)

## МЕТОДОЛОГИЯ СОЗДАНИЯ ВЕБ-СЕРВИСНОГО ИНФОРМАЦИОННОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В СИСТЕМЕ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ СИТУАЦИОННЫХ ЦЕНТРОВ

*К. И. Волович<sup>1</sup>, С. А. Денисов<sup>2</sup>, В. А. Кондрашев<sup>3</sup>, А. П. Сучков<sup>4</sup>*

**Аннотация:** Рассматриваются вопросы организации информационного взаимодействия между компонентами распределенной системы ситуационных центров (СЦ). Предлагается архитектура системы взаимодействия на основе SOA (service-oriented architecture) с использованием веб-технологии в качестве базового инструмента обращения к сервисам, а также расширение возможностей построения бизнес-процессов за счет применения технологии EDA (event-driven architecture) и организации взаимодействия компонентов системы с использованием корпоративной шины ESB (enterprise service bus).

**Ключевые слова:** ситуационный центр; сервис; SOA; EDA; ESB; веб-сервис

**DOI:** 10.14357/08696527160405

Система распределенных СЦ (СРСЦ) рассматривается в статье как распределенная информационно-аналитическая система (ИАС), в рамках которой реализуются процедуры стратегического планирования и управления, осуществляется взаимодействие локальных региональных и ведомственных ИАС, обеспечивающих самостоятельный сбор и обработку информации как в собственных интересах, так и в интересах центральных органов исполнительной власти [1]. Организация информационного взаимодействия осуществляется в среде взаимодействия всех составляющих компонентов СРСЦ.

Система распределенных ситуационных центров, создаваемая на базе функционирующих и проектируемых ИАС участников Системы, представляет собой многоуровневую, территориально распределенную и интегрированную в соответствии с единым регламентом взаимодействия структуру, основными участниками которой являются СЦ различной принадлежности.

<sup>1</sup>Институт проблем информатики Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук, KVolovich@frccsc.ru

<sup>2</sup>Институт проблем информатики Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук, SDenisov@frccsc.ru

<sup>3</sup>Институт проблем информатики Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук, VKondrashev@frccsc.ru

<sup>4</sup>Институт проблем информатики Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук, ASuchkov@frccsc.ru

Участниками СРСЦ являются юридические лица (федеральные органы исполнительной власти, органы государственной власти субъектов Российской Федерации, иные государственные и негосударственные органы и организации), заключившее соглашение с оператором Системы по организации информационного взаимодействия с целью реализации задач Системы:

- федеральный уровень — объекты высшего руководства страны (СЦ Президента, СЦ Правительства, СЦ Администрации, СЦ Совета Безопасности, СЦ Полномочных представителей Президента РФ);
- ведомственный уровень — объекты министерств и ведомств (СЦ Минобороны, СЦ ФСО, СЦ МЧС, СЦ ФСБ, СЦ внутренних войск МВД, СЦ Минэкономразвития, СЦ Минпромторга, СЦ Роскомнадзора, СЦ Роскомприроды и др.);
- региональный уровень — СЦ глав субъектов РФ, а также СЦ глав отдельных муниципальных образований РФ;
- корпоративный уровень — СЦ государственных корпораций (ОАК, ОСК, Ростехнологии, Роснано и др.);
- бизнес-уровень — СЦ крупных коммерческих организаций (Газпром, РЖД, Роснефть, Ростелеком, Мегафон и др.).

Каждый участник Системы может выступать в качестве поставщика и потребителя информации.

Состав бизнес-процессов информационного взаимодействия в центральном узле СРСЦ реализует следующие технические решения:

- ввод файлов и/или форм данных, сформированных СЦ — источниками данных, с машинных носителей;
- сбор данных, подготовленных СЦ — источниками данных;
- контроль представления данных, сформированных СЦ — источниками данных;
- входной контроль файлов и/или форм, полученных из СЦ — источников данных;
- форматно-логический контроль файлов и/или форм и данных, полученных от СЦ — источников данных, в части обрабатываемых СРСЦ данных;
- приведение, при необходимости, данных к форматам, используемым СРСЦ;
- оперативное уведомление персонала о нарушениях предусмотренного протоколами регламента представления данных СЦ — источниками данных, а также оперативное уведомление об обнаружении ошибок в ходе предусмотренных протоколами входного и форматно-логического контроля файлов и/или форм и данных;

- хранение в оперативном доступе принятых из СЦ — источников данных файлов и/или форм и данных до момента завершения их обработки СРСЦ (завершения их размещения на хранение в СРСЦ);
- предотвращение повторной передачи в СРСЦ системой — источником данных об одних и тех же информационных объектах за один и тот же отчетный период времени;
- формирование оперативного уведомления для СРСЦ о наличии готовых для передачи файлов и/или форм и данных;
- их передача или предоставление СРСЦ в соответствии с протоколом;
- протоколирование событий сбора файлов и/или форм и данных от СЦ — источников данных, а также протоколирование действий персонала СРСЦ и выдачи ему СРСЦ сведений (уведомлений, справок и т. п.), ведение журнала этих событий и действий;
- предоставление для просмотра администраторам СРСЦ доступа к данным протоколирования (к журналу событий и действий);
- протоколирование событий информационной безопасности (ИБ) для СРСЦ ведение журнала(ов) событий ИБ, предоставление для просмотра администраторам безопасности СРСЦ доступа к данным протоколирования (к журналу(ам) событий ИБ);
- распознавание и обработка нештатных ситуаций;
- ведение локальных справочников простой (линейной) структуры.

В ходе информационного взаимодействия обеспечиваются следующие функции:

- функции маршрутизации и сообщений;
- функции управления пользователями;
- функции управления локальными справочниками;
- выполнение сопутствующих технологических операций, необходимых для осуществления процесса обмена данными между адаптерами-источниками и СРСЦ.

Для выбора архитектуры и базовых технологий построения СРСЦ в рамках данной работы следует исходить из того, что СРСЦ обладает следующими свойствами:

- СРСЦ производит обработку первичных разнородных входных данных в автоматическом режиме;
- в ходе обработки первичных данных генерируются события, обрабатываемые компонентами СРСЦ;

- в составе СРСЦ имеются компоненты, обрабатывающие и преобразующие события в элементы обстановки (информационные объекты, описывающие состояния какой-либо сущности);
- в составе СРСЦ имеются компоненты визуализации элементов обстановки в удобном для человека виде;
- реализуемые в ходе функционирования информационной системы СРСЦ бизнес-процессы предусматривают выработку решений (как автоматизированную, так и с участием экспертов СРСЦ).

Таким образом, в системе обработки и обмена информацией участвуют компоненты, использующие как интерфейс типа «машина–машина», так и интерфейс типа «человек–машина».

Учитывая сформулированные выше свойства СРСЦ, при создании СРСЦ целесообразно основываться на конгломерате парадигм следующих архитектур:

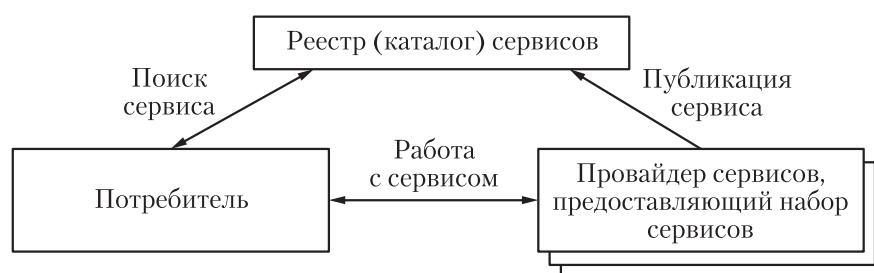
- SOA — сервисно-ориентированная архитектура [2, 3];
- EDA — событийно управляемая архитектура [4];
- ESB — корпоративная сервисная шина [5].

Современный популярный подход к построению сложных информационно-телекоммуникационных систем, основанный на архитектуре SOA, предполагает использование принципа выделения элементарных сервисов в информационной системе и построения бизнес-процессов на основе обмена данными и предоставления услуг в рамках выделенных сервисов, что для многоведомственной информационно-аналитической надсистемы распределенных СЦ является очень привлекательным. В рамках указанного подхода возможно построение сложных распределенных систем обработки информации, эластичных к изменению бизнес-процессов подсистем, появлению новых задач, модификации существующих процессов.

SOA предполагает, что в СРСЦ проектируется группа независимых (слабосвязанных) информационных сервисов, которые выполняют функции обработки информации в конгломерате информационных систем. Для взаимодействия с сервисами четко определяется интерфейс и протоколы взаимодействия; таким образом, любой субъект информационного взаимодействия может получить доступ к сервису путем выполнения правил описанного и опубликованного интерфейса.

SOA не привязывается к определенной технологии взаимодействия и может использовать любой механизм обращения к сервисам, например REST, DCOM, веб-сервисы.

Основу SOA составляют сервисы. Под сервисом можно понимать некую самостоятельную функцию, которая может быть использована потребителем. Такой функцией может быть как отдельная функция, так и совокупность функций, формирующая некий процесс. На рисунке представлена общая концепция размещения и использования сервисов в информационных системах на базе SOA.



Общая концепция реализации и использования сервиса в СРСЦ

В рамках концепции SOA сервис СРСЦ характеризуется следующими свойствами:

- возможность многократного применения;
- услуга может быть определена одним или несколькими технологически независимыми интерфейсами;
- выделенные услуги слабо связаны между собой, и каждая из них может быть вызвана посредством коммуникационных протоколов, обеспечивающих возможность взаимодействия услуг между собой.

В целом для построения системы информационного взаимодействия СРСЦ архитектура SOA может быть принята как базовая, реализующая сервисный подход применительно к данной системе информационного взаимодействия СРСЦ.

Использование SOA позволяет обеспечить следующие возможности:

- интегрировать в систему автономные (не связанные с другими) компоненты, позволяющие реализовывать ту или иную элементарную (атомарную) функцию системы;
- создавать механизмы, связывающие атомарные компоненты в единый бизнес-процесс;
- предоставлять компонентам единый интерфейс обмена данными между собой, предусматривающий как обмен данными между приложениями, так и между приложением и человеком.

В дополнение к возможностям архитектуры SOA, реализованным с использованием веб-сервисов, при создании системы информационного взаимодействия СРСЦ целесообразно использовать архитектуру EDA.

SOA и EDA являются взаимно дополняющими подходами и позволяют использовать сервис SOA не только в режиме «запрос–ответ», но и в отложенном режиме с промежуточным хранением данных. Такая архитектура делает систему

слабосвязанной по времени, что в свою очередь позволяет реализовать (с использованием порталных и веб-технологий) широкий спектр бизнес-процессов, ранее невозможных в данной архитектуре из-за временных задержек в ходе исполнения бизнес-процессов.

Можно считать, что EDA является определенным этапом развития архитектуры SOA и предоставляет новые возможности при использовании сервисов в рамках организации бизнес-процессов обработки входных данных, отображения обстановки и процедуры принятия решений.

Реализация архитектур SOA/EDA предполагает активное взаимодействие сервисов между собой и с внешними объектами.

Применительно к системе информационного взаимодействия СРСЦ необходимо акцентировать внимание на характере взаимодействия: информационный обмен и бизнес-процессы системы используют как автоматизированный обмен данными между приложениями, так и взаимодействие пользователя с приложениями.

Исходя из этого требования, целесообразно использовать технологию взаимодействия, изначально ориентированную на предоставление интерфейсов «машина–машина» и «человек–машина».

В настоящее время такой технологией является технология веб-сервисов. Данная технология позволяет создавать порталные веб-системы, предоставляющие широкие возможности по обмену данными между человеком и информационной системой, и веб-сервисы — приложения, использующие тот же протокол, что и портал, но не имеющие графического интерфейса и позволяющие приложениям обмениваться данными.

Таким образом, в рамках SOA/EDA можно реализовать атомарные сервисы, базирующиеся на веб-технологиях, позволяющие решать базовые задачи бизнес-процессов информационной системы СРСЦ.

Современным подходом к организации такого взаимодействия остается использование корпоративной сервисной шины ESB.

ESB устанавливает единые правила публикации сервисов, управления и информационного взаимодействия между приложениями различных систем, входящих в состав интегрированной системы.

Сервисная шина предоставляет инфраструктуру для обмена сообщениями между компонентами системы информационного взаимодействия СРСЦ:

- адресация, маршрутизация, служба гарантированной доставки сообщений, транзакционность, аудит, мониторинг и управление;
- наличие адаптеров к внешним системам, позволяющее интегрировать информационный обмен системы информационного взаимодействия СРСЦ с внешними по отношению к ней системами;
- масштабирование: как вертикальное — за счет добавления новых веб-сервисов, так и горизонтальное — за счет наращивания вычислительных мощностей.



Важной особенностью ESB является обеспечение принципа слабой связанности сервисов, положенного в основу архитектур SOA/EDA и базирующейся на ней архитектуры системы информационного взаимодействия СРСЦ.

В качестве базовых средств для описания и реализации бизнес-процесса в рамках SOA/EDA целесообразно использовать такие парадигмы корпоративной сервисной шины ESB, как брокер и оркестровка.

Механизмы брокера (оркестровок) позволяют создавать на базе атомарных сервисов прикладные бизнес-процессы решения задач, управлять выполнением бизнес-процессов и обеспечивать обмен данными между всеми участниками бизнес-процесса.

Для организации объединения атомарных сервисов в цепочки (графы), реализующие бизнес-процессы, в терминах SOA создается композитное приложение.

Композитное (составное) приложение для СРСЦ — программное решение конкретной прикладной проблемы, которое связывает прикладную логику процесса с источниками данных и информационных услуг, хранящихся на гетерогенном множестве базовых информационных систем. Такое композитное приложение ассоциировано с процессами деятельности СРСЦ и может объединять различные этапы ее процессов (в том числе процессов подсистем), представляя их пользователю через единый интерфейс. Для реализации взаимодействия в рамках композитного приложения СРСЦ целесообразно также применять технологии брокеров из состава корпоративной сервисной шины ESB.

Использование такого подхода при построении архитектуры системы информационного взаимодействия СРСЦ позволяет:

- создать систему композитных приложений, основанных на технологии веб-сервисов, обеспечивающих решение прикладных задач СРСЦ;
- организовать интеграцию приложений, бизнес-процессов с автоматизацией бизнес-процессов;
- использовать программные адаптеры для доступа к смежным системам, базирующимся на протоколах, отличных от веб;
- унифицировать технологию разработки новых приложений, реализующих новые бизнес-процессы в рамках существующей информационной среды, повысить скорость разработки прикладных приложений и снизить затраты на эти цели.

Благодаря унификации среды функционирования и взаимодействия снижается потребность в кодировании новых программ; повторное использование сервисов сокращает затраты времени на разработку; рационализация унаследованных процессов помогает уменьшить общее число процессов, требующих эксклюзивных методов управления; благодаря использованию простых протоколов значительно сокращаются трудозатраты на поддержку приложений.

При построении и внедрении архитектуры системы информационного взаимодействия СРСЦ на основе SOA создается единая инфраструктура описания

сервисов (репозиторий сервисов), разрешенных протоколов доступа и обмена сообщениями, форматов сообщений. Собственные сервисы строятся на основе веб-технологии, также предусматриваются сервисы на основе иных технологий, обеспечивающих связи с другими информационными системами (шлюзы).

## **Литература**

1. Концепция создания системы распределенных ситуационных центров, работающих по единому регламенту взаимодействия. Утверждена распоряжением Президента Российской Федерации от 3 октября 2013 года № Пр-2308.
2. *Erl T.* Service-oriented architecture (SOA): Concepts, technology, and design. — Boston, MA, USA: Prentice Hall, 2009. 792 p.
3. *Erl T., Gee C., Kress J., Maier B., Normann H., Raj P., Shuster L., Trops B., Utschig-Utschig C., Wik P., Winterberg T.* Next generation SOA: A concise introduction to service technology & service-orientation. — Boston, MA, USA: Prentice Hall, 2014. 185 p.
4. *Martinez F., Phillips L., Yochem A., Taylor H.* Event-driven architecture: How SOA enables the real-time enterprise. — New York, NY, USA: Addison-Wesley Professional, 2009. 272 p.
5. *Sarkar P.* Data as a service: A framework for providing reusable enterprise data services. — Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, 2015. 325 p.

*Поступила в редакцию 25.08.16*

---

---

## **METHODOLOGY OF CREATING WEB-SERVICE INTERACTIONS IN THE SYSTEM OF DISTRIBUTED SITUATIONAL CENTERS**

*K. I. Volovich, S. A. Denisov, V. A. Kondrashev, and A. P. Suchkov*

Institute of Informatics Problems, Federal Research Center “Computer Sciences and Control” of the Russian Academy of Sciences, 44-2 Vavilov Str., Moscow 119333, Russian Federation

**Abstract:** The article considers the questions of information interaction between components of a system of distributed situational centers. The authors propose an architecture of the system’s interaction based on SOA (service-oriented architecture) using the web technology as the underlying instrument for service invocation, as well as the expansion and development of business processes through the application of the EDA (event-driven architecture) technology and the organization of interaction of the system’s components using the ESB (enterprise service bus).

**Keywords:** center; service; SOA; EDA; ESB; web service

**DOI:** 10.14357/08696527160405

## References

1. Kontseptsiya sozdaniya sistemy raspredelennykh situatsionnykh tsentrov, rabotayushchikh po edinomu reglamentu vzaimodeystviya [The concept of creating a system of distributed situational centers working on the same rules of interaction]. 2013. Approved by the Executive Order of the President of the Russian Federation from October 3, 2013. No. PR-2308.
2. Erl, T. 2009. *Service-oriented architecture (SOA): Concepts, technology, and design*. Boston, MA: Prentice Hall. 792 p.
3. Erl, T., C. Gee, J. Kress, B. Maier, H. Normann, P. Raj, L. Shuster, B. Trops, C. Utschig-Utschig, P. Wik, and T. Winterberg. 2014. *Next generation SOA: A concise introduction to service technology & service-orientation*. Boston, MA: Prentice Hall. 185 p.
4. Martinez, F., L. Phillips, A. Yochem, and H. Taylor. 2009. *Event-driven architecture: How SOA enables the real-time enterprise*. New York, NY: Addison-Wesley Professional. 272 p.
5. Sarkar, P. 2015. *Data as a service: A framework for providing reusable enterprise data services*. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons Inc. 325 p.

*Received August 25, 2016*

## Contributors

**Volovich Konstantin I.** (b. 1970) — senior scientist, Institute of Informatics Problems, Federal Research Center “Computer Science and Control” of the Russian Academy of Sciences, 44-2 Vavilov Str., Moscow 119333, Russian Federation; KVolovich@frccsc.ru

**Denisov Sergej A.** (b. 1985) — senior programmer, Institute of Informatics Problems, Federal Research Center “Computer Science and Control” of the Russian Academy of Sciences, 44-2 Vavilov Str., Moscow 119333, Russian Federation; SDenisov@frccsc.ru

**Kondrashev Vadim A.** (b. 1963) — senior scientist, Institute of Informatics Problems, Federal Research Center “Computer Science and Control” of the Russian Academy of Sciences, 44-2 Vavilov Str., Moscow 119333, Russian Federation; VKondrashev@frccsc.ru

**Suchkov Alexander P.** (b. 1954) — Doctor of Science in technology, leading scientist, Institute of Informatics Problems, Federal Research Center “Computer Science and Control” of the Russian Academy of Sciences, 44-2 Vavilov Str., Moscow 119333, Russian Federation; ASuchkov@frccsc.ru

## ПРИМЕНЕНИЕ АРХИТЕКТУРЫ CUDA ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ СЕТОЧНЫХ АЛГОРИТМОВ ДЛЯ МЕТОДА СКОЛЬЗЯЩЕГО РАЗДЕЛЕНИЯ СМЕСЕЙ\*

А. К. Горшенин<sup>1</sup>, В. Ю. Кузьмин<sup>2</sup>

**Аннотация:** Предлагается концепция реализации сеточных алгоритмов поиска оценок максимального правдоподобия в смешанных вероятностных моделях с использованием программных решений для выполнения вычислений на графических процессорах с привлечением технологии NVIDIA CUDA. Описана иерархическая структура классов, предложен подход к первоначальному оцениванию и дальнейшей модификации параметрической сетки, на тестовых рядах проведено исследование скорости сходимости разработанных методов. Ключевые характеристики метода, включая изменение ошибки аппроксимации в метрике  $l^1$  и уменьшение числа компонент в процессе итерационных шагов, продемонстрированы с помощью графиков. Также обсуждается вопрос интеграции разработанных программных модулей в специализированную онлайн-систему обработки реальных данных MSM Tools.

**Ключевые слова:** CUDA; GPU; сеточные методы; смешанные вероятностные модели; метод скользящего разделения смесей; онлайн-комплекс

**DOI:** 10.14357/08696527160406

### 1 Введение

Стремительный рост популярности решений на базе платформ, ориентированных на задействование в процессе проведения вычислений специализированных графических видеокарт (GPU, от *graphics processing unit*), наблюдается в широком спектре актуальных исследовательских областей. Например, можно выделить их использование в медицине для реконструкции изображений [1], применение в задачах геостатистического имитационного моделирования для изучения запасов нефти и газа [2], внедрение в рамках фармакокинетического анализа данных [3]. Далее рассмотрим более подробно ряд работ, имеющих отношение к применению смешанных вероятностных моделей (например, на основе конечных смесей нормальных распределений).

\*Работа выполнена при поддержке РФФИ (проекты 15-37-20851 мол.а.вед и 14-07-00041).

<sup>1</sup>Институт проблем информатики Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук, agorshenin@frccsc.ru

<sup>2</sup>ООО «Вай2Гео», shadesilent@yandex.ru

В работе [4] рассматривается использование решений на базе архитектуры NVIDIA CUDA (*Compute Unified Device Architecture*) в системах распознавания речи для вычисления значений функции правдоподобия. Значения находятся как скалярные произведения, реализация которых на графических процессорах достаточно эффективна, поэтому авторы наблюдают прирост производительности в 35%. Исследования в данной области продолжались и далее (см., например, доклад [5] и статью [6]).

Авторы работы [7] представили реализацию классического EM (expectation-maximization) алгоритма [8] с использованием решений CUDA в рамках идеологии SIMT (одна команда, множество нитей, *single instruction, multiple thread*), которая позволила ускорить работу метода на несколько порядков по сравнению с программным кодом на языке C, для которого использовалась одна нить и вычисления были основаны на работе с центральным процессором (ЦП, CPU, *central processing unit*).

В работе [9] представлено подробное описание программного решения — библиотека BEAGLE для проведения статистических филогенетических исследований, в том числе с использованием поиска значений функции правдоподобия на базе вычислений на графических процессорах с поддержкой NVIDIA CUDA.

Одним из весьма перспективных путей использования GPU для повышения вычислительной эффективности является их внедрение при реализации так называемых сеточных методов поиска оценок максимального правдоподобия в вероятностных моделях (подробнее см., например, книгу [10]). В работе [11] была рассмотрена концепция реализации сеточных методов подобного рода с помощью программных решений для графических видеокарт с целью преодоления вычислительных сложностей, характерных для работы с ними. Сеточные методы обладают хорошими аналитическими свойствами с точки зрения сходимости, позволяют реализовывать достаточно быстрые алгоритмы отыскания параметров, обладают широкими возможностями в области анализа информационных потоков [12]. Однако критически важная задача построения эффективной сетки для таких алгоритмов на практике весьма сложна, поэтому неудачный выбор набора узлов нельзя компенсировать вычислительными преимуществами метода. Далее кратко рассмотрим возможную схему реализации сеточных методов с вычислением на графических процессорах (рис. 1).

На первом шаге данные (выборка, временной ряд) готовятся к обработке: производится их нормализация, выбор диапазонов значений, прореживание (при необходимости). Данный процесс не требует задействования графических процессоров, однако подготовленные таким образом значения анализируемого ряда помещаются в память GPU. На втором шаге запускается одна из модификаций EM-алгоритма (например, классическая версия с умеренной точностью вычислений) с целью определения диапазонов для параметров, которые затем используются при построении сетки и в качестве базовой оценки числа компонент в смеси. На следующем этапе выбирается сетка (без использования графического процессора), которая также передается в качестве параметров в память GPU. Счи-

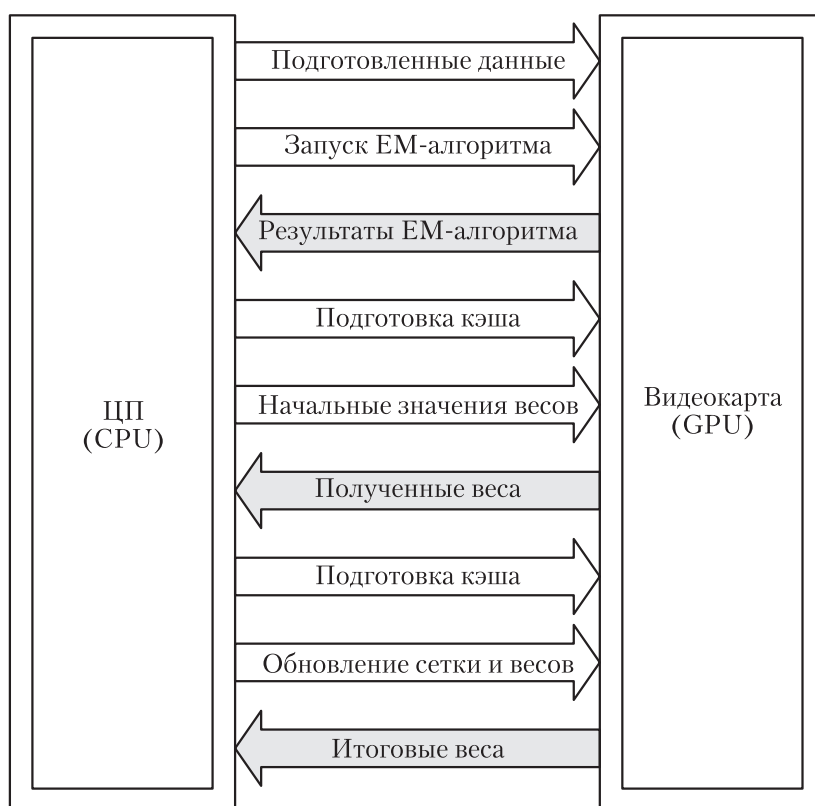


Рис. 1 Диаграмма потоков данных между ЦП и видеокартой

тается, что предварительно были загружены в разделяемую память графического процессора начальные веса узлов сетки (и, возможно, кэш-таблица для значений специализированных функций, например гамма-функции). Как только данные будут переданы, сеточный метод может быть запущен на GPU. После проведения вычислений результаты возвращаются ЦП для проверки условий останова. Если эти условия не выполнены, то процесс построения сетки (поиска неизвестных параметров) повторяется заново. Этот алгоритм минимизирует перенос данных между центральным и графическим процессорами, так как обновляются только узлы сетки, но не данные и кэш-таблицы.

В настоящей работе будет рассмотрена одна из возможных программных реализаций описанной выше процедуры. Кроме того, обсуждаются вопросы интеграции полученных программных модулей в комплексы обработки реальных данных, а именно — встраивание разработанных решений в структуру онлайн-системы для распределенных вычислений, о которой говорится, напри-

мер, в работах [13, 14]. Отметим, что реализации сеточных методов поиска оценок максимального правдоподобия в вероятностных моделях с привлечением технологий NVIDIA CUDA в каком-либо виде в рамках библиографического поиска в базе Web of Science обнаружены не были.

## 2 Программная реализация сеточного метода с помощью CUDA

В качестве языка разработки был использован C# в рамках среды Microsoft Visual Studio 2013. Реализация вычислений на графических процессорах существенно ориентирована на возможности набора расширений NVIDIA CUDA Toolkit.

### 2.1 Иерархическая структура классов

Основным рабочим классом программы является окно **Window**. Дополнительно программа включает в себя служебные классы последовательности **Sequence**, а также инструментарий для чтения (класс **Reader**) и записи (**Writer**) данных до и после обработки. Предусмотрена и возможность дальнейшего развития функционала программы: например, от класса абстрактного окна можно унаследовать класс окна для работы с конкретным семейством распределений, а от него — класс для работы с этим семейством распределений и специфической реализацией EM-алгоритма. Классы для чтения и записи созданы в рамках аналогичной парадигмы.

Возможны следующие форматы работы с данными:

- таблицы в базе данных **mysql**;
- локальные **json**-объекты;
- **json**-объекты, доступные по протоколу **http**;
- файлы формата **CSV** (comma-separated values).

Класс **Sequence** обеспечивает хранение введенных данных и является интерфейсом между классами чтения/записи и классом окна **Window**. При создании класса **Window** в него передается часть ряда из **Sequence**, весь дальнейший анализ данных происходит в рамках этого класса. Базовым классом является **AbstractWindow**, не привязанный к конкретному виду смеси распределений либо реализации алгоритма. Он содержит функции для работы с выборкой, структуры для хранения и обработки компонент смеси, а также ряд служебных функций, таких как быстрый поиск компоненты с минимальным весом среди всех, нормализация весов, сохранение промежуточных результатов обработки данных для возможности проверки гипотез о числе компонент или структуре сетки и т. д.

От **AbstractWindow** наследуются классы, предназначенные для работы с различными семействами распределений (нормальные, гамма- и т. д.). В них реализованы функции для первичной обработки ряда: вычисление выборочных

характеристик и функции правдоподобия, задание альтернативных метрик для критерия останова. Кроме того, в них формализованы структуры для хранения компонент смеси.

Третьим уровнем наследования являются классы для работы с конкретной реализацией метода скользящего разделения смесей (см., например, [10]). Они реализуют функциональные возможности для построения начальной смеси распределений и выполнения итерационных шагов алгоритма. В этих же классах реализовано форматирование данных перед их выводом. От этого класса наследуется класс для работы с CUDA, переопределяющий часть функций с целью построения кэш-таблиц.

В следующих разделах рассмотрим реализацию сеточного алгоритма с равномерной случайной сеткой для разделения конечных смесей нормальных распределений.

## 2.2 Построение параметрической сетки и критерии останова

Для построения параметрической сетки вычисляются выборочные математическое ожидание  $E$  и среднеквадратическое отклонение  $\sigma$  для окна, представляющего собой подвыборку некоторой длины из анализируемого ряда (подробнее см. книгу [10]). В параметрическом пространстве выбирается прямоугольник  $[c_1 \cdot E, c_2 \cdot E] \times [c_3 \cdot \sigma, c_4 \cdot \sigma]$ , который используется для построения сетки с узлами, равномерно распределенными по каждому измерению. Константы  $c_1, \dots, c_4$ , определяющие размер прямоугольника, могут быть изменены для лучшего учета структуры данных. При тестировании для случая близко расположенных компонент использовались следующие значения:  $c_1 = 0,5$ ;  $c_2 = 5,5$ ;  $c_3 = 0,3$  и  $c_4 = 2,8$ . На построенной сетке случайным образом задаются веса узлов, после чего проводится процедура нормализации сетки — сумма весов всех узлов приводится к единице путем нормировки.

Для критериев останова и сбора статистики о работе алгоритма используются две основные величины — метрика  $l^1$  и функция правдоподобия.

Величина  $D_1$ , основанная на метрике  $l^1$  [15], применяется для подсчета расстояния между двумя сетками с одинаковым числом узлов:

$$D_1 = \min \left( \sum_{i,j} (|p_i - p_j| + |E_i - E_j| + |\sigma_i - \sigma_j|) \right),$$

$$i = 1, \dots, n; \quad j = 1, \dots, n, \quad (1)$$

где суммирование ведется по узлам сеток;  $p_i$  и  $p_j$  — веса соответствующих узлов;  $E_i, E_j, \sigma_i$  и  $\sigma_j$  — параметры узлов в случае нормальных распределений (математические ожидания и среднеквадратические отклонения соответственно). Данная величина используется для проверки изменения сетки после очередного итерационного шага.



Логарифм функции правдоподобия для  $k$ -компонентной смеси независимых распределений имеет следующий вид:

$$\sum_{j=1}^n \log \left( \sum_{i=1}^k p_i \psi_i(x_j; t_i) \right), \quad (2)$$

где  $x_1, \dots, x_n$  — выборка значений наблюдаемой случайной величины;  $p_1, \dots, p_k$  — веса компонент смеси;  $t_1, \dots, t_k$  — параметры компонент смеси;  $\psi_i$  — плотность соответствующего семейства распределения.

В случае конечных смесей нормальных распределений выражение (2) принимает следующий вид:

$$\psi_i(x; t_i) = \frac{1}{\sigma_i \sqrt{2\pi}} e^{-(x-a_i)^2/(2\sigma_i^2)}.$$

Известно, что сеточный метод максимального правдоподобия, реализованный с помощью алгоритма условного градиента, сходится к точке глобального максимума «сеточной» функции правдоподобия (см., например, работу [16]). Это означает, что логарифм функции правдоподобия может быть использован как для анализа качества построенного решения на сетке, так и в качестве дополнительного критерия останова — в результате работы алгоритма логарифм функции правдоподобия должен существенно вырасти. Кроме того, подобная метрика может использоваться для оценки оптимальности уменьшения числа компонент либо для изменения параметров узлов сетки.

### 2.3 Шаги вычислительного алгоритма

После построения окна для CUDA-методов проводится заполнение кэш-таблиц в памяти видеоадаптера. В них входит матрица вспомогательных параметров размера  $M \times N$ , где  $M$  — число узлов сетки;  $N$  — число наблюдений. Стоит отметить, что наибольшей вычислительной сложностью обладает именно эта часть, поскольку для подсчета каждого из вспомогательных параметров необходимо определить значение функции плотности нормального распределения в определенной точке. При этом вспомогательные параметры не зависят от весов узлов сетки и должны быть пересчитаны только при изменении сетки.

После этого происходит итерационный процесс определения весов узлов сетки, представляющих собой вероятности соответствующих компонент смеси. Значения параметров фиксированных компонент не изменяются в процессе итерации, алгоритм работает только с весами. Повторная нормализация сетки после каждого шага не требуется, что значительно ускоряет алгоритм.

Итеративный процесс производится определенное число раз (данное значение является параметром метода), после этого сравниваются между собой значения

логарифма функции правдоподобия для результирующей и сохраненной сеток. Цикл итераций считается успешным, если значение функции правдоподобия увеличилось. В противном случае сохраненная на предыдущем шаге параметрическая сетка является результирующей.

Проверяются критерии останова, после чего вычисляется расстояние  $D_1$  (1) между рассчитанной и сохраненной до этого сетками. Если  $D_1$  достаточно мало (конкретная величина задается в качестве параметра метода), то считается, что сетка стабилизировалась на данной конфигурации значимых компонент. Если их число превосходит заранее заданный уровень  $K$ , вес узла с наименьшим весом приравнивается к нулю, происходит перенормировка сетки, проверяется факт увеличения значения функции правдоподобия. При успешном обнулении компоненты итерационный цикл запускается заново. В случае уменьшения функции правдоподобия при обнулении любой из компонент алгоритм также останавливается. Если на определенном шаге сетка стабилизировалась и число компонент не превосходит заранее выбранное значение  $K$  (параметр метода), это также говорит о получении решения. Таким образом, результатом работы является сетка, для которой значение функции правдоподобия максимально. Отметим, что техника выбора решения по анализу функции правдоподобия является достаточно распространенной в рамках работы метода скользящего разделения смесей (см., например, статью [17], в которой сравниваются результаты работы нескольких модификаций на примере EM-алгоритма).

При удалении компонент проверяется изменение функции правдоподобия. Если удаление любой компоненты приводит к уменьшению ее значения, то смесь не изменяется. На стабилизировавшейся сетке локальный максимум считается найденным — и алгоритм завершает работу.

#### 2.4 Модификация параметрической сетки

Существует погрешность сеточного метода, напрямую зависящая от начального выбора сетки. Даже при наличии значительных вычислительных мощностей на фиксированной сетке не всегда возможно получение корректного результата (так как ряд компонент может быть расположен вне диапазона построенной сетки).

Один из способов решения этой проблемы основан на построении сетки с помощью применения некоторой версии EM-алгоритма. В этом случае сеточный алгоритм будет использован для уточнения результатов работы и неизвестных весов, а узлы сетки строятся вокруг найденных компонент смеси.

Функция правдоподобия дает возможность оценивать качество аппроксимирующей смеси, поэтому еще одним способом решения этой проблемы является некоторая специальная модификация параметрической сетки. При ее стабилизации либо при невозрастании функции правдоподобия после очередного итерационного цикла можно произвести некоторую вариацию параметров узлов сетки при сохранении их весов и пересчитать функцию правдоподобия. В случае ее увели-

чения производится запуск нового итерационного цикла на модифицированной сетке.

Последнее решение вызывает ряд проблем, связанных с перестройкой кэш-таблиц, и требует изменения алгоритма их построения, но в общем случае уточнение оценки таким образом может являться существенным преимуществом.

## 2.5 Тестирование скорости сходимости

В рамках рассматриваемой реализации были созданы программные решения для ряда модификаций EM-алгоритма для конечных смесей нормальных распределений с использованием CUDA. Разработанная система наследования позволяет сравнивать результаты, полученные с применением данной архитектуры, с классическим подходом на основе использования исключительно возможностей ЦП. Основным фактором, на который необходимо обратить внимание (в условиях идентичности аппроксимирующих смесей, полученных разными методами), является скорость работы с платформой CUDA. При этом необходимо учитывать ряд специфических факторов — например, в рамках используемой архитектуры самой медленной частью программы является процесс передачи данных из оперативной памяти в память видеоадаптера и обратно. Влияние этого эффекта может быть частично уменьшено за счет использования кэш-таблиц, однако полностью устранить его невозможно.

Для сеточных методов сложность алгоритма можно представить как  $O(mn^{3/2})$ , где  $m$  — число наблюдений (размер) окна;  $n$  — число узлов в сетке. Поскольку итерационные шаги EM-алгоритма могут быть успешно распараллелены (при условии достаточного объема памяти видеоадаптера), при росте сложности алгоритма до определенного момента увеличивается и преимущество по сравнению со стандартной архитектурой. Эмпирически было установлено, что на тестовых выборках для эффективного применения решений на базе CUDA достаточно выбрать значения параметров  $m$  и  $n$ , удовлетворяющие условиям  $m > 100$  и  $n > 25$  (т. е. размер параметрической сетки должен быть не менее  $5 \times 5$ ).

Для сравнения с результатами работы классического EM-алгоритма были выбраны следующие настройки метода: размер скользящего окна — 120 элементов; сдвиг окна производился на 1 элемент; максимальное число компонент (исходя из знания структуры тестовой выборки) было выбрано равным 4. Быстродействие проверялось на ноутбуке со следующими характеристиками: процессор Intel Core i7-4800MQ, 16GB RAM, видеокарта GeForce GTX 850M (с числом ядер NVIDIA CUDA, равным 640). В таблице на с. 68 приведено время обработки данных на одном окне.

При анализе 500 000 наблюдений на сетке размером  $11 \times 11$  с окном в 200 наблюдений данная реализация оказалась быстрее аналога без параллелизации в 1,5 раза. При увеличении числа узлов наблюдается еще более значительный рост производительности метода — скорость вычисления для сетки размером  $23 \times 23$  на окне в 25 000 наблюдений на CUDA возросла на порядок.

Время обработки данных на одном окне

Размер сетки	Точность	
	$10^{-4}$	$10^{-8}$
$5 \times 5$	0,58 с	0,63 с
$11 \times 11$	4,83 с	4,86 с
$15 \times 15$	13,67 с	13,69 с
$23 \times 23$	67,86 с	71,60 с

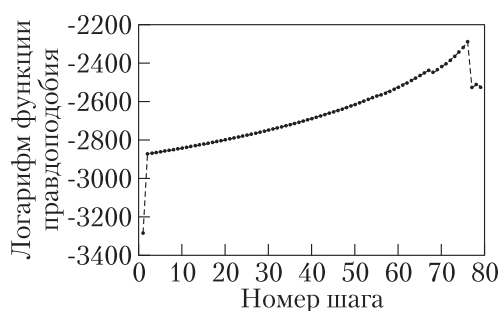
Таким образом, даже не привлекая наиболее высокопроизводительные решения от NVIDIA, можно с высокой точностью обрабатывать, например, минутные данные в режиме реального времени (или в близком к нему). Такое ускорение может оказаться весьма полезным для финансовых высокочастотных данных, так как анализ текущей ситуации с точки зрения прогнозирования и принятия решений должен осуществляться максимально быстро (см., например, статью [18]).

## 2.6 Графическое представление результатов

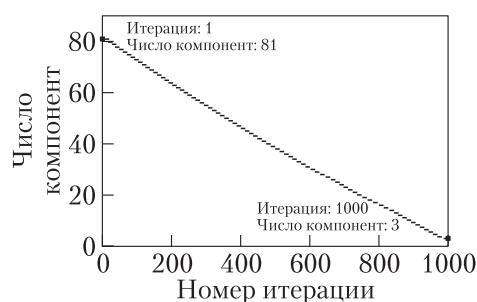
В рамках создания описываемых решений не ставилась задача разработки собственного пользовательского интерфейса, а также модуля графического вывода, поэтому в этом подразделе продемонстрированы результаты, содержательная часть которых была получена с помощью разработанного программного модуля, а визуальная составляющая создана в среде MATLAB. В качестве тестового режима использована сетка размера  $9 \times 9$ .

На рис. 2 представлен график изменения значений логарифма функции правдоподобия на каждом шаге, состоящем из множества итераций. Здесь каждое увеличение значения на графике соответствует ситуации с отбрасыванием одной компоненты в смеси. До определенного момента (точка, соответствующая шагу номер 76 на графике по оси абсцисс) функция правдоподобия возрастает, поэтому итерационные шаги с отбрасыванием компонент необходимо продолжать, однако затем достигается максимум, который и объявляется результатом работы алгоритма.

На рис. 3 демонстрируется изменение числа компонент в рамках итераций. Каждый разрыв кусочно-постоянной функции, изображенной на рис. 3, соот-



**Рис. 2** Изменение значений логарифма функции правдоподобия при изменении параметрической сетки



**Рис. 3** Изменение числа компонент в смеси в процессе работы алгоритма

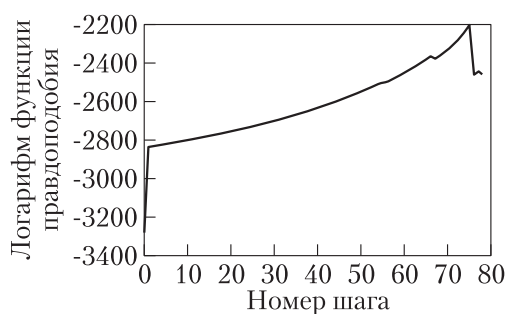
ветствует удалению одной компоненты, а их число совпадает со значениями по оси абсцисс на рис. 2. Данный график позволяет проанализировать, какое число компонент остается в аппроксимирующей смеси, построенной на основе выбора максимального значения функции правдоподобия. В рамках рассматриваемого примера число компонент уменьшилось с 81 до 3.

### 3 Интеграция с онлайн-сервисом MSM Tools

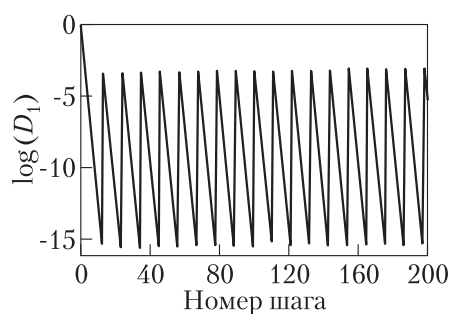
Встраивание разработанных решений в структуру онлайн-системы для распределенных вычислений [13] может оказаться весьма полезным для исследователей, использующих графические карты от других производителей (либо не предназначенные для осуществления специализированных вычислений), в то время как в онлайн-системе возможно задействовать решения, основанные на самых современных архитектурах (например, NVIDIA Pascal), при этом не предъявляя каких-либо дополнительных требований к оборудованию и навыкам пользователя.

Такая интеграция была произведена в тестовом режиме. В данном разделе продемонстрированы примеры графического вывода в онлайн-сервисе MSM Tools (доступен в бета-режиме по адресу <http://msm-analysis.com>). Так, рис. 4 является полным аналогом рис. 2, но создан в онлайн-системе MSM Tools.

Рисунок 5 демонстрирует изменение величины  $D_1$  (с произведенным логарифмическим преобразованием значений) в процессе итерационных шагов. При этом «скачки» вверх соответствуют ситуации отбрасывания одной из компонент и соответствующей перестройки сетки. Убывание происходит до определенного заданного порога (параметр метода), после достижения которого и проверяется необходимость изменения числа компонент в смеси по значениям функции правдоподобия. Отметим, что данный график также создан в онлайн-системе MSM Tools.



**Рис. 4** Изменение значений логарифма функции правдоподобия при изменении параметрической сетки



**Рис. 5** Изменение логарифма величины  $D_1$  в процессе итерационных шагов

## 4 Заключение

Созданный программный модуль был зарегистрирован в Федеральной службе по интеллектуальной собственности (Горшенин А. К., Королев В. Ю., Кузьмин В. Ю. Программный модуль разделения конечных смесей нормальных распределений с фиксированными компонентами с использованием архитектуры CUDA. № 2016614287 от 20.04.2016). Дальнейшие исследования будут направлены на осуществление полноценной интеграции с сервисом **MSM Tools**, развитие и отработку вычислительных алгоритмов, эффективно реализующих метод скользящего разделения смесей на базе архитектуры **CUDA**, сравнение скорости и точности работы различных модификаций, а также практическое применение созданных решений к анализу реальных данных различной природы.

*Авторы выражают признательность доктору физико-математических наук, профессору Виктору Юрьевичу Королеву за полезные обсуждения в рамках проведения совместных исследований.*

## Литература

1. Chou C. Y., Chuo Y. Y., Hung Y. K., Wang W. C. A fast forward projection using multithreads for multirays on GPUs in medical image reconstruction // *Med. Phys.*, 2011. Vol. 38. P. 4052–4065.
2. Tahmasebi P., Sahimi M., Mariethoz G., Hezarkhani A. A fast accelerating geostatistical simulations using graphics processing units (GPU) // *Comput. Geosci.*, 2012. Vol. 46. P. 51–59.
3. Ng C. M. Novel hybrid GPU-CPU implementation of parallelized Monte Carlo parametric expectation maximization estimation method for population pharmacokinetic data analysis // *AAPS J.*, 2013. Vol. 15. No. 4. P. 1212–1221.
4. Cardinal P., Dumouchel P., Boulianne G., Comeau M. GPU accelerated acoustic likelihood computations // 9th Annual Conference of the International Speech Communication Association Proceedings, 2008. P. 964–967.
5. Dixon P. R., Oonishi T., Furui S. Fast acoustic computations using graphics processors // IEEE Conference (International) on Acoustics, Speech and Signal Processing Proceedings, 2009. P. 4321–4324.
6. Vanek J., Trmal J., Psutka J. V., Psutka J. Optimized acoustic likelihoods computation for NVIDIA and ATI/AMD graphics processors // *IEEE Trans. Audio Speech Language Processing*, 2012. Vol. 20. No. 6. P. 1818–1828.
7. Kumar N. S. L. P., Satoor S., Buck I. Fast parallel expectation maximization for Gaussian mixture models on GPUs using CUDA // 11th IEEE Conference (International) on High Performance Computing and Communications Proceedings, 2009. P. 103–109.
8. Dempster A., Laird N., Rubin D. Maximum likelihood estimation from incompleting data // *J. Roy. Stat. Soc. B*, 1977. Vol. 39. No. 1. P. 1–38.
9. Ayres D. L., Darling A., Zwickl D. J., Beerli P., Holder M. T., Lewis P. O., Huelsenbeck J. P., Ronquist F., Swofford D. L., Cummings M. P., Rambaut A., Suchard M. A. BEAGLE: An application programming interface and high-performance

- computing library for statistical phylogenetics // *Systematic Biol.*, 2012. Vol. 61. No. 1. P. 170–173.
10. *Королев В. Ю.* Вероятностно-статистические методы декомпозиции волатильности хаотических процессов. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 2011. 512 с.
  11. *Kuzmin V. Yu., Gorshenin A. K., Ostroumov D. S., Uglitskaya M. G.* Application of GPU and parallel programming on grid methods // *AIP Conference Proceedings*, 2015. Vol. 1648. Article 250006. 4 p.
  12. *Gorshenin A., Korolev V., Kuzmin V., Zeifman A.* Coordinate-wise versions of the grid method for the analysis of intensities of non-stationary information flows by moving separation of mixtures of gamma-distribution // *27th European Conference on Modelling and Simulation Proceedings*. — Dudweiler, Germany: Digitaldruck Pirrot GmbH, 2013. P. 565–568.
  13. *Горшенин А. К.* Концепция онлайн-комплекса для стохастического моделирования реальных процессов // *Информатика и её применения*, 2016. Т. 10. Вып. 1. С. 72–81.
  14. *Gorshenin A., Kuzmin V.* On an interface of the online system for a stochastic analysis of the varied information flows // *AIP Conference Proceedings*, 2016. Vol. 1738. Article 220009. 4 p.
  15. *Колмогоров А. Н., Фомин С. В.* Элементы теории функций и функционального анализа. — М.: Наука, 1976. 544 с.
  16. *Королев В. Ю., Назаров А. Л.* Разделение смесей вероятностных распределений при помощи сеточных методов моментов и максимального правдоподобия // *Автоматика и телемеханика*, 2010. № 3. С. 98–116.
  17. *Королев В. Ю., Горшенин А. К., Гулев С. К., Беляев К. П.* Статистическое моделирование турбулентных потоков тепла между океаном и атмосферой с помощью метода скользящего разделения конечных нормальных смесей // *Информатика и её применения*, 2015. Т. 9. Вып. 4. С. 3–13.
  18. *Korolev V. Yu., Chertok A. V., Korchagin A. Yu., Zeifman A. I.* Modeling high-frequency order flow imbalance by functional limit theorems for two-sided risk processes // *Appl. Math. Comput.*, 2015. Vol. 253. P. 224–241.

*Поступила в редакцию 14.09.16*

---

## APPLICATION OF THE CUDA ARCHITECTURE FOR IMPLEMENTATION OF GRID-BASED ALGORITHMS FOR THE METHOD OF MOVING SEPARATION OF MIXTURES

*A. K. Gorshenin<sup>1</sup> and V. Yu. Kuzmin<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Institute of Informatics Problems, Federal Research Center “Computer Science and Control” of the Russian Academy of Sciences, 44-2 Vavilov Str., Moscow 119333, Russian Federation

<sup>2</sup>Wi2Geo LLC, Moscow, Russian Federation

**Abstract:** The paper presents the implementation of the grid methods for finding maximum likelihood estimators in the mixed probability models based on the

software solutions for the computations on GPUs using the NVIDIA CUDA technology. The hierarchy of programming classes is described, an approach to the initial estimation and further modification of the parametric grids is proposed, and the convergence speed and other characteristics of the developed methods are examined by the test data sets. The key characteristics of the method including the change of approximation error by the  $l^1$  metric and reducing the number of components under the iterative steps are demonstrated by the graphs. The integration of the implemented software modules with the specialized online service for real data processing MSM Tools is also discussed.

**Keywords:** CUDA; GPU; grid methods; mixed probability models; moving separation of mixtures; online software

**DOI:** 10.14357/08696527160406

## Acknowledgments

The research was supported by the Russian Foundation for Basic Research (projects 15-37-20851 mol\_a\_ved and 14-07-00041).

## References

1. Chou, C. Y., Y. Y. Chuo, Y. K. Hung, and W. C. Wang. 2011. A fast forward projection using multithreads for multirays on GPUs in medical image reconstruction. *Med. Phys.* 38:4052–4065.
2. Tahmasebi, P., M. Sahimi, G. Mariethoz, and A. Hezarkhani. 2012. A fast accelerating geostatistical simulations using graphics processing units. *Comput. Geosci.* 46:51–59.
3. Ng, C. M. 2013. Novel hybrid GPU-CPU implementation of parallelized Monte Carlo parametric expectation maximization estimation method for population pharmacokinetic data analysis. *AAPS J.* 15(4):1212–1221.
4. Cardinal, P., P. Dumouchel, G. Boulianne, and M. Comeau. 2008. GPU accelerated acoustic likelihood computations. *9th Annual Conference of the International Speech Communication Association Proceedings*. Brisbane, Australia. 964–967.
5. Dixon, P. R., T. Oonishi, and S. Furui. 2009. Fast acoustic computations using graphics processors. *IEEE Conference (International) on Acoustics, Speech and Signal Processing Proceedings*. Taipei, Taiwan. 4321–4324.
6. Vanek, J., J. Trmal, J. V. Psutka, and J. Psutka. 2012. Optimized acoustic likelihoods computation for NVIDIA and ATI/AMD graphics processors. *IEEE Trans. Audio Speech Language Processing* 20(6):1818–1828.
7. Kumar, N. S. L. P., S. Satoor, and I. Buck. 2009. Fast parallel expectation maximization for Gaussian mixture models on GPUs using CUDA. *11th IEEE Conference (International) on High Performance Computing and Communications Proceedings*. Seoul, Korea. 103–109.
8. Dempster, A., N. Laird, and D. Rubin. 1977. Maximum likelihood estimation from incompleting data. *J. Roy. Stat. Soc. B* 39(1):1–38.
9. Ayres, D. L., A. Darling, D. J. Zwickl, P. Beerli, M. T. Holder, P. O. Lewis, J. P. Huelsenbeck, F. Ronquist, D. L. Swofford, M. P. Cummings, A. Rambaut,



- and M. A. Suchard. 2012. BEAGLE: An application programming interface and high-performance computing library for statistical phylogenetics. *Systematic Biol.* 61(1):170–173.
10. Korolev, V. Yu. 2011. *Veroyatnostno-statisticheskie metody dekompozitsii volatil'nosti khaoticheskikh protsessov* [Probabilistic and statistical methods of decomposition of volatility of chaotic processes]. Moscow: Moscow University Publishing House. 512 p.
  11. Kuzmin, V. Yu., A. K. Gorshenin, D. S. Ostroumov, and M. G. Uglitskaya. 2015. Application of GPU and parallel programming on grid methods. *AIP Conference Proceedings* 1648:250006. 4 p.
  12. Gorshenin, A., V. Korolev, V. Kuzmin, and A. Zeifman. 2013. Coordinate-wise versions of the grid method for the analysis of intensities of non-stationary information flows by moving separation of mixtures of gamma-distribution. *27th European Conference on Modelling and Simulation Proceedings*. Dudweiler, Germany. 565–568.
  13. Gorshenin, A. K. 2016. Kontseptsiya onlayn-kompleksa dlya stokhasticheskogo modelirovaniya real'nykh protsessov [Concept of online service for stochastic modelling of real processes]. *Informatika i ee Primeneniya — Inform. Appl.* 10(1):72–81.
  14. Gorshenin, A., and V. Kuzmin. 2016. On an interface of the online system for a stochastic analysis of the varied information flows. *AIP Conference Proceedings* 1738: 220009. 4 p.
  15. Kolmogorov, A. N., and S. V. Fomin. 1976. *Elementy teorii funktsiy i funktsional'noy analiza* [Elements of the theory of functions and functional analysis]. Moscow: Nauka. 544 p.
  16. Korolev, V. Yu., and A. L. Nazarov. 2010. Razdelenie smesey veroyatnostnykh raspredeleniy pri pomoshchi setochnykh metodov momentov i maksimal'nogo pravdopodobiya [Separating mixtures of probability distributions with the grid method of moments and the grid maximal likelihood method]. *Avtomatika i Telemekhanika* [Automation and Remote Control] 3:98–116.
  17. Korolev, V. Yu., A. K. Gorshenin, S. K. Gulev, and K. P. Belyaev. 2015. Statisticheskoe modelirovanie turbulentnykh potokov tepla mezhdru okeanom i atmosferoy s pomoshch'yu metoda skol'zyashchego razdeleniya konechnykh normal'nykh smesey [Statistical modeling of air-sea turbulent heat fluxes by the method of moving separation of finite normal mixtures]. *Informatika i ee Primeneniya — Inform. Appl.* 9(4):3–13.
  18. Korolev, V. Yu., A. V. Chertok, A. Y. Korchagin, and A. I. Zeifman. 2015. Modeling high-frequency order flow imbalance by functional limit theorems for two-sided risk processes. *Appl. Math. Comput.* 253:224–241.

*Received September 14, 2016*

## Contributors

**Gorshenin Andrey K.** (b. 1986) — Candidate of Science (PhD) in physics and mathematics, leading scientist, Institute of Informatics Problems, Federal Research Center “Computer Science and Control” of the Russian Academy of Sciences, 44-2 Vavilov Str., Moscow 119333, Russian Federation; associate professor, Moscow Technological University (MIREA), 78 Vernadskogo Ave., Moscow 119454, Russian Federation; agorshenin@frccsc.ru

**Kuzmin Victor Yu.** (b. 1986) — Head of Development, Wi2Geo LLC, 3-1 Mira Ave., Moscow 129090, Russian Federation; shadesilent@yandex.ru

## МАКСИМИЗАЦИЯ ДОХОДА СИСТЕМЫ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ТИПА $G/M/1$ НА МНОЖЕСТВЕ ПОРОГОВЫХ СТРАТЕГИЙ С ДВУМЯ ТОЧКАМИ ПЕРЕКЛЮЧЕНИЯ\*

Я. М. Агаларов<sup>1</sup>, М. Я. Агаларов<sup>2</sup>, В. С. Шоргин<sup>3</sup>

**Аннотация:** Рассматривается задача максимизации среднего дохода системы массового обслуживания (СМО) типа  $G/M/1$  в единицу времени на множестве стационарных пороговых стратегий ограничения доступа с двумя «точками переключения». Целевая функция зависит от стоимости времени задержки заявки, штрафа за отклонение заявки, платы за обслуживание заявки, стоимости простоя прибора обслуживания, стоимости технического обслуживания системы. Сформулированы условия существования конечного решения задачи на подмножестве пороговых стратегий при фиксированном значении расстояния между верхним и нижним порогами и получены необходимые и достаточные условия оптимальности пороговой стратегии на этом подмножестве. Разработан метод поиска оптимальной стратегии и алгоритм расчета параметров оптимальной стратегии и соответствующего значения целевой функции.

**Ключевые слова:** система массового обслуживания; пороговая стратегия; оптимизация

DOI: 10.14357/08696527160407

### 1 Введение

В настоящее время опубликовано множество статей, в которых с помощью математических моделей проведена оценка эффективности различных модификаций пороговых стратегий, предназначенных для предотвращения перегрузок каналов связи в телекоммуникационных системах передачи пакетов. Наиболее упоминаемыми в этих работах являются модификации Tail-Drop («отбрасывания хвоста») [1–3], RED (Random Early Detection) [1, 4], FRED (Flow Random Early Drop) [5], WRED (Weighted RED) [6], Blue [6], SFB (Stochastic Fair Blue) [7], CBT (Class-Based Threshold) [8], CHOKe (CHOOSE and Keep for responsible flows, CHOOSE and Kill for unresponsive flows) [9] и др. Суть пороговых стра-

\* Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект 15-07-03406).

<sup>1</sup> Институт проблем информатики Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук, agglar@yandex.ru

<sup>2</sup> ПАО Промсвязьбанк, murad-agalarov@yandex.ru

<sup>3</sup> Институт проблем информатики Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук, vshorgin@ipiran.ru

тегий заключается в том, что для параметра текущей загруженности системы назначается одно или несколько пороговых значений (контрольных точек переключения) и, когда загруженность достигает какого-либо порогового значения, в системе меняются определенным образом правила сброса поступающих пакетов с целью предотвращения перегрузки системы и обеспечения выполнения требований к качеству обслуживания (QoS — quality of service). Использование нескольких пороговых значений вызвано необходимостью учета нескольких уровней требований к качеству обслуживания различных типов заявок и попыткой выхода из состояния перегрузки с минимальными потерями качества обслуживания. Например, стратегия Tail-Drop имеет один порог и отбрасывание пакетов происходит без учета их типа по достижении длинной очереди этого порога; один из ее основных недостатков — вызывает эффект глобальной синхронизации, что приводит к неэффективному использованию полосы пропускания и увеличению задержек пакетов. В стратегии RED задается два порога — нижний и верхний; если средняя длина очереди (вычисляемая по заданной формуле) в текущий момент меньше нижнего порога, то поступивший пакет принимается в буфер; если средняя длина очереди в текущий момент равна верхнему порогу, то поступивший пакет отбрасывается, иначе пакет принимается в буфер с заданной вероятностью (вычисляемой по заданной формуле). Хотя RED значительно снижает эффект глобальной синхронизации, она имеет несколько недостатков: полагается только на длину общей очереди, не учитывает наличие разных уровней QoS. Необходимость обеспечения нескольких уровней качества обслуживания привела к разработке пороговых стратегий с более сложной структурой, таких как FRED, WRED, Blue, SFB и др.

Множество исследований показывает, что простые стратегии (например, RED) имеют ограниченную применимость при распределенном взаимодействии коммутационных узлов (маршрутизаторов), в то же время сложные стратегии эффективны только при аккуратном выборе параметров стратегии, что является задачей немалой сложности. Очевидно, эффект от использования пороговой стратегии зависит от предъявляемых требований к качеству обслуживания, параметров стратегии (значения порогов, формулы расчета вероятности отбрасывания пакетов, формулы расчета средней длины очереди и т. д.), внешних параметров (входного потока пакетов, производительности каналов связи и т. д.). Задача оптимизации пороговой стратегии труднорешаемая, и лишь для самых простых моделей каналов связи предложены приемлемые для практических расчетов аналитические или алгоритмические решения. Некоторые результаты по данной теме, полученные отечественными исследователями, опубликованы в работах [10–14].

Ниже проводится исследование задачи оптимизации управления очередью канала связи на множестве пороговых стратегий с двумя точками переключения, представленной в виде задачи максимизации дохода СМО типа  $G/M/1$  с управляемой очередью, и приводятся метод и алгоритм оптимизации пороговых значений.

## 2 Постановка задачи

Рассматривается СМО типа  $G/M/1$  с накопителем неограниченной емкости и одним прибором обслуживания, на которую поступает рекуррентный поток заявок с функцией распределения вероятностей  $A(t)$ . Время обслуживания заявки прибором не зависит от приоритета и распределено по экспоненциальному закону с параметром  $\mu > 0$ . Доступ в накопитель системы осуществляется с помощью пороговой стратегии (порогового алгоритма). Процесс приема заявок согласно пороговой стратегии доступа происходит следующим образом: с момента начала работы поступающие заявки принимаются в накопитель системы без ограничения доступа пока  $k \leq h_1 - 1$  ( $k$  — число заявок в системе), а с момента, когда  $k = h_1$ , пока  $k \leq h_2 - 1$ , поступившая заявка принимается в накопитель с вероятностью  $\alpha$  и отклоняется (теряется) с вероятностью  $(1 - \alpha)$ . При  $k = h_2$  заявки в систему не принимаются (теряются). В дальнейшем пару  $(h_1, h_2)$  обозначим через  $H$  и назовем пороговой стратегией; множество таких стратегий обозначим через  $\Omega$ .

Если заявка допущена в накопитель, она занимает любое свободное место в накопителе и обслуживается на приборе в порядке поступления. Заявка покидает систему только при завершении обслуживания, освободив одновременно прибор и накопитель, а на освободившийся прибор поступает очередная заявка из накопителя (если такая есть).

Система получает доход, который определяется следующими составляющими:

$C_0 \geq 0$  — плата, получаемая системой, если поступившая заявка будет обслужена системой (принята в накопитель);

$C_1 \geq 0$  — величина штрафа, который платит система, если поступившая заявка отклонена;

$C_2 \geq 0$  — стоимость единицы времени ожидания заявки в системе;

$C_3 \geq 0$  — стоимость единицы времени простоя прибора;

$C_4 \geq 0$  — стоимость единицы времени технического обслуживания системы.

Всюду ниже под доходом системы будем понимать суммарный доход с учетом всех вышеуказанных составляющих.

Отметим, что процесс обслуживания заявок в данной системе описывается цепью Маркова (см., например, [15, 16]), где переходы цепи определяются моментами поступления заявок, а состояние цепи — числом заявок, находящихся в системе в момент поступления. Отметим также, что при заданной стратегии  $H$  указанная цепь Маркова имеет один положительный возвратный класс состояний  $\{0, h_2\}$ .

Введем следующие обозначения:

$\bar{v}$  — первый момент функции распределения  $A(t)$ ,  $0 < \bar{v} < \infty$ ;

$Q^H$  — предельное среднее значение дохода системы в единицу времени;

$\{\pi_i^H, 0 \leq i \leq h_2\}$  — стационарное распределение вероятностей цепи при стратегии  $H$  ( $\pi_i^H$  — стационарная вероятность того, что цепь находится в состоянии  $i$ );

$g^H$  — предельное среднее значение суммарного дохода системы, усредненного по числу поступивших заявок;

$q_i^H$  — средний доход, получаемый системой в состоянии  $i$  при стратегии  $H$ .

Предельное среднее значение суммарного дохода системы, усредненного по числу поступивших заявок при стратегии  $H$ , равно пределу:

$$g^H = \lim_{T \rightarrow \infty} \sum_{n=1}^{N_{\text{вх}}(T)} \frac{d_n^H}{N_{\text{вх}}(T)},$$

где  $d_n^H$  — доход, полученный системой при стратегии  $H$  за  $n$ -ю поступившую заявку;  $N_{\text{вх}}(T)$  — число поступивших за отрезок времени  $[0, T]$  заявок.

Предельное среднее значение дохода системы в единицу времени при стратегии  $H$  равно пределу:

$$\begin{aligned} Q^H &= \lim_{T \rightarrow \infty} \sum_{n=1}^{N_{\text{вх}}(T)} \frac{d_n^H}{T} = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{N_{\text{вх}}(T)}{T} \sum_{n=1}^{N_{\text{вх}}(T)} \frac{d_n^H}{N_{\text{вх}}(T)} = \\ &= \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{N_{\text{вх}}(T)}{T} \lim_{T \rightarrow \infty} \sum_{n=1}^{N_{\text{вх}}(T)} \frac{d_n^H}{N_{\text{вх}}(T)} = \frac{g^H}{\bar{v}}. \end{aligned}$$

Из определения вложенной цепи Маркова следует:

$$g^H = \sum_{i=0}^{h_2} \pi_i^H q_i^H.$$

Ставится задача максимизации функции  $Q^H$  на множестве стратегий  $\Omega$ , которая эквивалентна задаче: найти оптимальную стратегию  $H^* \in \Omega$  такую, что

$$\max_{H \in \Omega} g^H = g^{H^*}. \quad (1)$$

В дальнейшем для упрощения задачи рассматриваем только стратегии вида  $H = (h_1, h_2) \in \Omega$ , где  $h_2 = h_1 + a$ ,  $h_1 \geq 1$ ,  $a = \text{const}$ , и множество пороговых стратегий  $H$ , удовлетворяющих этому условию, обозначим через  $\Omega^a \subseteq \Omega$ . Как видно, стратегия  $H \in \Omega^a$  однозначно задается одним из порогов  $h_1$  или  $h_2$ . Пусть  $H_1 = (h'_1, h'_1 + a)$ ,  $H_2 = (h''_1, h''_1 + a)$ ,  $H = (h_1, h_1 + a)$ ,  $k$  — целое положительное число. Введем следующие действия над значениями порогов:  $H = k$ , если  $H = (k, k + a)$ ;  $H_1 > H_2$ , если  $h'_1 > h''_1$ ;  $H_1 = H_2$ , если  $h'_1 = h''_1$ ;  $H + k = (h_1 + k, h_1 + k + a)$ ,  $H_1 + H_2 = (h'_1 + h''_1, h'_1 + h''_1 + a)$ .

### 3 Метод решения

Выпишем выражения для стационарных вероятностей  $\pi_i^H$ ,  $H = (h_1, h_2) \in \Omega^H$ . Для вероятностей переходов  $p_{i,j}^H$  вложенной цепи Маркова справедливы формулы [15, 16]:

$$p_{i,j}^H = \begin{cases} r_{i+1-j}, & 0 \leq i \leq h_1 - 1, 1 \leq j \leq i + 1; \\ \alpha r_{i+1-j} + (1 - \alpha)r_{i-j}, & h_1 \leq i \leq h_2 - 1, 1 \leq j \leq i + 1; \\ r_{h_2-j}, & i = h_2, 1 \leq j \leq h_2; \\ 1 - \sum_{m=0}^i r_m, & i \leq h_1 - 1, j = 0; \\ 1 - \alpha \sum_{m=0}^i r_m - (1 - \alpha) \sum_{m=0}^{i-1} r_m, & h_1 \leq i \leq h_2 - 1, j = 0; \\ 1 - \sum_{m=0}^{h_2-1} r_m, & i = h_2, j = 0; \\ 0 & \text{в остальных случаях,} \end{cases} \quad (2)$$

где

$$r_m = \int_0^{\infty} \frac{(\mu t)^m}{m!} e^{-\mu t} dA(t) \text{ при } m \geq 0.$$

Для рассматриваемой цепи Маркова при стратегии  $H$  стационарное распределение вероятностей является единственным решением системы уравнений [15, 16]:

$$\left. \begin{aligned} \pi_0^H &= \sum_{i=0}^{h_2-1} \pi_i^H p_{i,0}^H + \pi_{h_2}^H p_{h_2,0}^H; \\ \pi_j^H &= \sum_{i=j-1}^{h_2-1} \pi_i^H p_{i,j}^H + \pi_{h_2}^H p_{h_2,j}^H, \quad 1 \leq j \leq h_2 - 1; \\ \pi_{h_2}^H &= \pi_{h_2-1}^H p_{h_2-1,h_2}^H + \pi_{h_2}^H p_{h_2,h_2}^H; \\ \sum_{i=0}^{h_2} \pi_i^H &= 1, \quad \pi_i^H > 0, \quad 0 \leq i \leq h_2. \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

Отсюда, подставив (2), получим:

$$\left. \begin{aligned}
 \pi_0^H &= \sum_{i=0}^{h_1-1} \pi_i^H \sum_{m=i+1}^{\infty} r_m + \sum_{i=h_1}^{h_2-1} \pi_i^H \left[ \alpha \sum_{m=i+1}^{\infty} r_m + (1-\alpha) \sum_{m=i}^{\infty} r_m \right] + \\
 &\quad + \pi_{h_2}^H \sum_{m=h_2}^{\infty} r_m; \\
 \pi_j^H &= \begin{cases} \sum_{i=j-1}^{h_1-1} \pi_i^H r_{i+1-j} + \sum_{i=h_1}^{h_2-1} \pi_i^H [\alpha r_{i+1-j} + (1-\alpha)r_{i-j}] + \\ \quad + \pi_{h_2}^H r_{h_2-j}, & 1 \leq j \leq h_1; \\ \alpha \sum_{i=j-1}^{h_2-1} \pi_i^H r_{i+1-j} + (1-\alpha) \sum_{i=j}^{h_2-1} \pi_i^H r_{i-j} + \\ \quad + \pi_{h_2}^H r_{h_2-j}, & h_1 < j \leq h_2 - 1; \end{cases} \\
 \pi_{h_2}^H &= \alpha \pi_{h_2-1}^H r_0 + \pi_{h_2}^H r_0; \quad \sum_{i=0}^{h_2} \pi_i^H = 1, \quad \pi_i^H > 0, \quad 0 \leq i \leq h_2.
 \end{aligned} \right\} (4)$$

Всюду по умолчанию полагаем равными нулю величины с отрицательными индексами и суммы с нижней границей суммирования больше, чем верхняя. Исключив в каждом уравнении в (4) (кроме первого) переменную  $\pi_k^H$  с наименьшим значением индекса  $k$ , уравнения (3) приводим к виду:

$$\begin{aligned}
 \pi_{j-1}^H &= \begin{cases} \frac{\pi_j^H (1-r_1) - \sum_{i=j+1}^{h_1-1} \pi_i^H r_{i+1-j}}{\frac{r_0}{\sum_{i=h_1}^{h_2-1} \pi_i^H [\alpha r_{i+1-j} + (1-\alpha)r_{i-j}] - \pi_{h_2}^H r_{h_2-j}}}, & 1 \leq j \leq h_1 - 1; \\ \frac{\pi_j^H [1 - \alpha r_1 - (1-\alpha)r_0]}{\frac{\alpha r_0}{\sum_{i=j+1}^{h_2-1} \pi_i^H [\alpha r_{i+1-j} + (1-\alpha)r_{i-j}] - \pi_{h_2}^H r_{h_2-j}}}, & h_1 < j \leq h_2 - 1; \end{cases} \\
 \pi_{h_1-1}^H &= \frac{\pi_{h_1}^H [1 - \alpha r_1 - (1-\alpha)r_0]}{r_0} - \\
 &\quad - \frac{\sum_{i=h_1+1}^{h_2-1} \pi_i^H [\alpha r_{i+1-h_1} + (1-\alpha)r_{i-h_1}] - \pi_{h_2}^H r_{h_2-h_1}}{r_0}; \\
 \pi_{h_2-1}^H &= \frac{1-r_0}{\alpha r_0} \pi_{h_2}^H.
 \end{aligned}$$

Отсюда и из последнего уравнения системы (4), подставив в уравнения  $\pi_j^H = R_j^H \pi_{h_2}^H$  и исключив последовательно в порядке убывания индекса  $j$  из соответствующих уравнений переменную  $R_j^H$ , получим рекуррентные формулы для вычисления стационарных вероятностей состояний  $\pi_j^H, 0 \leq j \leq h_2$ :

$$\begin{aligned}
 R_{h_2}^H &= 1; \quad R_{h_2-1}^H = \frac{1-r_0}{\alpha r_0}; \\
 R_{j-1}^H &= \frac{R_j^H [1 - \alpha r_1 - (1-\alpha)r_0]}{\alpha r_0} - \\
 &\quad - \frac{\sum_{i=j+1}^{h_2-1} R_i^H [\alpha r_{i+1-j} + (1-\alpha)r_{i-j}] - R_{h_2}^H r_{h_2-j}}{\alpha r_0}, \quad h_1 + 1 \leq j \leq h_2 - 1; \\
 R_{h_1-1}^H &= \frac{R_{h_1}^H [1 - \alpha r_1 - (1-\alpha)r_0]}{r_0} - \\
 &\quad - \frac{\sum_{i=h_1+1}^{h_2-1} R_i^H [\alpha r_{i+1-h_1} + (-\alpha)r_{i-h_1}] - R_{h_2}^H r_{h_2-h_1}}{r_0}; \\
 R_{j-1}^H &= \frac{R_j^H (1-r_1) - \sum_{i=j+1}^{h_1-1} R_i^H r_{i+1-j}}{r_0} - \\
 &\quad - \frac{\sum_{i=h_1}^{h_2-1} R_i^H [\alpha r_{i+1-j} + (1-\alpha)r_{i-j}] - R_{h_2}^H r_{h_2-j}}{r_0}, \quad 1 \leq j \leq h_1 - 1.
 \end{aligned}$$

Для стационарных вероятностей получаем формулы:

$$\pi_j^H = \frac{R_j^H}{\sum_{i=0}^{h_2} R_i^H}, \quad 0 \leq j \leq h_2.$$

Приведем несколько вспомогательных лемм (доказательства лемм даны в приложении к статье [17]). Пусть  $H = (h_1, h_2)$ .

**Лемма 1.** *Среднее значение дохода, получаемого системой при стратегии  $H$  в состоянии  $i$ , равно:*

$$q_i^H = \begin{cases} d_i + C_0, & 0 \leq i \leq h_1 - 1; \\ \alpha(d_i + C_0) + (1-\alpha)(d_{i-1} - C_1), & h_1 \leq i \leq h_2 - 1; \\ d_{h_2-1} - C_1, & i = h_2, \end{cases}$$



где

$$d_i = \frac{C_2}{\mu} \left[ \frac{1}{2} \sum_{m=1}^{i+1} (m-1)mr_m - i \sum_{m=1}^{i+1} mr_m - \frac{1}{2} i(i+1) \sum_{m=i+2}^{\infty} r_m \right] - \\ - \frac{C_3}{\mu} \sum_{m=i+2}^{\infty} (m-i-1)r_m - C_4\bar{v}, \quad 0 \leq i \leq h_2 - 1.$$

**Лемма 2.** *Справедливы следующие равенства:*

$$d_{k+1} = d_k + \frac{C_3}{\mu} \sum_{m=k+2}^{\infty} r_m - \frac{C_2}{\mu} \sum_{m=1}^{k+1} mr_m - \frac{C_2(k+1)}{\mu} \sum_{m=k+2}^{\infty} r_m, \quad k \geq 0; \\ \pi_{i+1}^{H+1} = (1 - \pi_0^{H+1}) \pi_i^H, \quad 0 \leq i \leq h_2.$$

Введем обозначения  $\bar{W}(H)$ ,  $B(H)$  и  $G(H)$ :

$$\bar{W}(H) = \bar{v} - \frac{1}{\mu} \left\{ \sum_{i=0}^{h_1-1} \pi_i^H \sum_{m=i+2}^{\infty} (m-i-1)r_m + \right. \\ \left. + \sum_{i=h_1}^{h_2-1} \pi_i^H \left[ \alpha \sum_{m=i+2}^{\infty} (m-i-1)r_m + (1-\alpha) \sum_{m=i+1}^{\infty} (m-i)r_m \right] + \right. \\ \left. + \pi_{h_2}^H \sum_{m=h_2+1}^{\infty} (m-h_2)r_m \right\}; \quad (5)$$

$$B(H) = \sum_{i=0}^{h_1-1} \pi_i^H \sum_{m=i+2}^{\infty} r_m + \sum_{i=h_1}^{h_2-1} \pi_i^H \left[ \alpha \sum_{m=i+2}^{\infty} r_m + (1-\alpha) \sum_{m=i+1}^{\infty} r_m \right] + \\ + \pi_{h_2}^H \sum_{m=h_2+1}^{\infty} r_m;$$

$$G(H) = \frac{C_3 r_0}{\mu} - C_2 r_0 \frac{\bar{W}(H)}{B(H)} + q_0^{H+1}. \quad (6)$$

Обратим внимание, что величина  $(\bar{v} - \bar{W}(H))$  в (5) является средним временем простоя прибора (см. п. 4 в [17]).

**Лемма 3.** *Справедливо соотношение:*

$$g^H - g^{H+1} = \pi_0^{H+1} [g^H - G(H)] . \quad (7)$$

**Лемма 4.** *Функция  $G(H)$  возрастает по  $H$ .*

Пусть  $H^*$  — решение задачи (1) (если оно существует). Докажем следующую теорему.

**Теорема.** *Справедливы следующие утверждения:*

- (1) *если  $\inf_{H>0} G(H) < \sup_{H>0} g^H$ , то при любых значениях параметров  $C_i \geq 0$ ,  $i = 0, 1, 3, 4$ ,  $C_2 > 0$  существует стратегия  $H^* < \infty$ ; иначе, если  $g^1 < G(1)$ , то  $H^* = \infty$ ;*
- (2) *если  $g^1 \geq G(1)$ , то  $H^* = 1$ ;*
- (3) *если  $C_2 = 0$  и  $g^1 < G(1)$ , то  $H^* = \infty$ ;*
- (4) *условия  $g^{H-1} < g^H$  и  $g^{H+1} \geq g^H$  являются необходимыми и достаточными для  $H = H^*$ ,  $1 < H^* < \infty$ .*

**Доказательство.** Рассмотрим поведение функции  $g^H$  при последовательном увеличении значения  $H > 0$ . Как следует из (7), неравенства  $g^H \leq g^{H+1}$  и  $g^H \leq G(H)$  эквивалентны. Отсюда следует, что если при значении  $H > 0$  выполняется неравенство  $g^H < G(H)$ , то при значении  $H + 1$  выполняется неравенство  $g^{H+1} > g^H$ , и наоборот: если при значении  $H > 0$  выполняется неравенство  $g^H > G(H)$ , то при значении  $H + 1$  выполняется неравенство  $g^{H+1} \leq g^H$ , а при  $g^H = G(H)$  выполняется равенство  $g^{H+1} = g^H$ .

Рассмотрим сначала случай  $C_2 > 0$ . Пусть  $H_1 = (h'_1, h'_2)$  — произвольная стратегия,  $1 \leq H_1 < \infty$ . Рассмотрим два альтернативных случая:

- (1)  $g^{H_1} \geq G(H_1)$ ;
- (2)  $g^{H_1} < G(H_1)$ .

Пусть  $g^{H_1} \geq G(H_1)$ . Тогда если  $g^{H_1} > G(H_1)$ , то согласно (7) (так как  $0 < \pi_0^{H+1} < 1$ ) выполняется  $g^{H_1+1} > G(H_1)$ , а так как  $G(H)$  не возрастает по  $H > 0$  (согласно лемме 4), выполняется  $g^{H_1+1} > G(H_1 + 1)$ . Следовательно,  $g^H > G(H)$ ,  $H \geq H_1$  и, согласно рассуждениям в начале доказательства, последовательность  $\{g^H : H = H_1, H_1 + 1, \dots\}$  является убывающей, т. е.  $g^H < g^{H_1}$ ,  $H > H_1$ , откуда следует, что существует  $H^* = (h_1^*, h_2^*) \leq H_1$ . Если  $g^{H_1} = G(H_1)$ , то из (7) и леммы 4 следует либо  $g^H = G(H) = g^{H_1}$ ,  $H > H_1$ , либо существует  $\infty > H_2 = (h''_1, h''_2) > H_1$  такое, что  $g^H = G(H) = g^{H_1}$ ,  $H_1 < H \leq H_2$ ,  $g^{H_2} > G(H_2)$ . Тогда в первом случае  $H^* \leq H_1$ , во втором случае, как уже доказано, существует  $H^* \leq H_2$  и, так как  $g^H = g^{H_1}$ ,  $H_1 \leq H \leq H_2$ , то  $H^* \leq H_1$ , т. е. при  $g^{H_1} \geq G(H_1)$  утверждение 1 в формулировке

теоремы справедливо. При этом если  $H_1 = 1$ , то  $H^* = 1$  т.е. выполняется утверждение 2 в формулировке теоремы. Заметим также, что при  $H^* > 1$  выполняется утверждение 4 теоремы.

Пусть  $g^{H_1} < G(H_1)$ . Тогда согласно (7) из  $g^{H_1} < G(H_1)$  следует  $g^{H_1+1} > g^{H_1}$  и  $g^{H_1+1} < G(H_1)$  (так как  $0 < \pi_0^{k+1} < 1$ ). Так как  $G(H)$  не возрастает по  $H > 0$ , то либо  $g^{H_1+1} < G(H_1 + 1)$ , либо  $g^{H_1+1} \geq G(H_1 + 1)$ . Следовательно, если  $\inf_{H>0} G(H) < \sup_{H>0} g^H$ , то существует  $\infty > H_2 > H_1$  такое, что  $g^{H_2} \geq G(H_2)$ ,  $g^H < G(H)$ ,  $H_1 \leq H \leq H_2 - 1$ . В этом случае  $H^* = H_2$  (это следует из того, что  $H^* \leq H_2$  и  $g^H < G(H)$ ,  $H_1 \leq H \leq H_2 - 1$ ), т.е. утверждение 1 теоремы справедливо. Заметим также, что при  $H^* > 1$  выполняется и утверждение 4 теоремы. Если  $\inf_{H>0} G(H) \geq \sup_{H>0} g^H$ , то  $g^H < G(H)$ ,  $H \geq H_1$  и в этом случае  $H^* = \infty$ .

Рассмотрим теперь случай  $C_2 = 0$ . Из (6) следует  $G(H) = const$ ,  $H > 0$ . Рассуждая, как в случае  $C_2 > 0$ , легко доказать, что последовательность  $\{g^{H_i} : H_i = H_i + 1, i = 1, \dots, H_1 = (1, a + 1)\}$  удовлетворяет неравенствам  $g^{H_1} \geq g^{H_2} \geq \dots \geq g^{H_n} \geq \dots \geq const$  при условии  $g^{H_1} \geq const$  и неравенствам  $g^{H_1} < g^{H_2} < \dots < g^{H_n} < \dots < const$  при условии  $g^{H_1} < const$ . Как видим,  $H^* = 1$  при  $g^{H_1} \geq const$  и  $H^* = \infty$  при  $g^{H_1} < const$ . Следовательно, утверждение 3 теоремы верно.

Из теоремы вытекает следующий алгоритм поиска стратегии  $H^* = (h_1^*, h_1^* + a)$ .

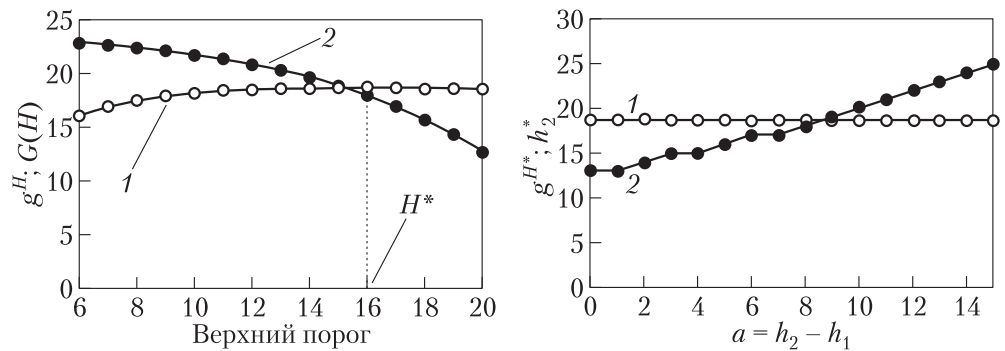
1. Вычислить  $c = g^1$  и  $b = G(1)$ .
2. Если  $C_2 = 0$  и  $b > c$ , то положить  $h_1^* = \infty$  и перейти к п. 14.
3. Если  $c \geq b$ , то положить  $h_1^* = 1$  и перейти к п. 14.
4. Положить  $h_1 = 1$ .
5. Выбрать значение приращения  $\Delta \geq 1$  ( $\Delta$  — целое число).
6. Положить  $h_1 = h_1 + \Delta$ .
7. Вычислить  $c = g^H$ ,  $b = G(H)$ ,  $H = (h_1, h_1 + a)$ .
8. Если  $b > c$ , то перейти к п. 6, иначе положить  $h_1' = h_1 - \Delta$ ,  $h_1'' = h_1$ .
9. Вычислить  $h_1 = [(h_1' + h_1'')/2]$  где  $[\cdot]$  — целая часть числа в квадратных скобках.
10. Положить  $H = (h_1, h_1 + a)$ , вычислить  $a = g^H$ ,  $b = G(H)$ .
11. Если  $b > c$ , то положить  $h_1' = h_1$ , иначе положить  $h_1'' = h_1$ .
12. Если  $h_1'' - h_1' > 1$ , то перейти к п. 9.
13. Если  $b > c$ , то положить  $h_1^* = h_1''$ , иначе положить  $h_1^* = h_1'$ .
14. Конец алгоритма.

Трудоемкость алгоритма составляет  $\sim ([h_1^*/\Delta] + \log_2 \Delta)$  вычислений функций  $g^H$  и  $G(H)$ .

#### 4 Пример

В качестве примера рассмотрим СМО  $H_n/M/1$  с функцией распределения входного потока  $A(t) = f_1(1 - e^{-\lambda_1 t}) + f_2(1 - e^{-\lambda_2 t})$ ,  $f_i > 0$ ,  $\lambda_i > 0$ ,  $i = 1, 2$ ,  $f_1 + f_2 = 1$ .

На рис. 1 с помощью графиков функций  $g^H$  и  $G(H)$  проиллюстрировано отношение эквивалентности условий  $g^{H+1} > g^H$  и  $g^H < G(H)$ , являющееся следствием соотношения (7). Графики вычислены при значениях параметров  $C_0 = 20$ ;  $C_1 = 0$ ;  $C_2 = 0,1$ ;  $C_3 = C_4 = 0,01$ ;  $\mu = 1$ ;  $n = 2$ ;  $f_1 = 0,3$ ;  $f_2 = 0,7$ ;  $v_1 = 2$ ;  $v_2 = 1$ ;  $a = h_2 - h_1 = 5$ . Оптимальный порог на рис. 1 обозначен через  $H^*$ .



**Рис. 1** Поведение функций  $g^H$  (1) и  $G(H)$  (2) при изменении значения верхнего порога

**Рис. 2** Зависимость оптимального значения дохода  $g^{H^*}$  (1) и оптимального значения верхнего порога  $h_2^*$  (2) от  $a = h_2 - h_1$

На рис. 2 при указанных выше значениях параметров  $C_0, C_1, C_2, C_3, C_4, \mu, n$  и  $A(t)$  приведены зависимости оптимального верхнего порога  $h_2^*$  и оптимального дохода  $g^{H^*}$  от значения  $a = h_2 - h_1$ . Как показали расчеты, длина отрезка состояний системы  $[h_1, h_2]$ , введенного для раннего предупреждения перегрузки (и исключения эффекта глобальной синхронизации) при оптимальном выборе верхнего порога почти не влияет на величину дохода системы, при этом зависимость оптимального верхнего порога от длины этого отрезка близка к линейной.

#### 5 Заключение

В результате исследования рассматриваемой задачи максимизации получены:

- математическая постановка задачи максимизации дохода, задаваемого в виде стоимостной целевой функции, зависящей от времени задержки заявок,

интенсивности потока отклоняемых заявок, платы за обслуживание заявки, простоя прибора обслуживания, платы за техническое обслуживание системы;

- необходимые и достаточные условия существования глобального оптимума целевой функции;
- метод решения задачи максимизации;
- алгоритм поиска решения задачи на множестве стратегий типа  $\Omega^a$  (трудоемкость  $\sim \vartheta h_1^*(a + h_1^*), \vartheta = const$ ).

Результаты данной работы могут быть использованы для поиска оптимальных пороговых стратегий управления потоками в системах, моделируемых с помощью СМО типа  $G/M/1$  ( $G/M/1/r$ ).

## Литература

1. *Floyd S., Jacobson V.* Random early detection gateways for congestion avoidance // IEEE ACM Trans. Network., 1993. Vol. 1. P. 397–413.
2. *Kabra M., Saha S., Lin B.* Fast buffer memory with deterministic packet departures // 14th IEEE Symposium on High-Performance Interconnects Proceedings. — Stanford, CA, USA, 2006. P. 67–72.
3. *Zheng B., Atiquzzaman M.* A framework to determine the optimal weight parameter of RED in next-generation Internet routers // Int. J. Commun. Syst., 2008. Vol. 21. P. 987–1008.
4. *Reddy T. B., Ahammed A., Banu R.* Performance comparison of active queue management techniques // Int. J. Computer Sci. Network Security, 2009. Vol. 9. No. 2. P. 405–408.
5. *Lin D., Morris R.* Dynamics of random early detection // ACM SIGCOMM '97 Conference on Applications, Technologies, Architectures, and Protocols for Computer Communication Proceedings. — ACM, 1997. P. 127–137.
6. *Feng W.-C., Shin K. G., Kandlur D. D., Saha D.* The BLUE active queue management algorithms // IEEE ACM Trans. Network., 2002. Vol. 10. Iss. 4. P. 513–528.
7. *Feng W.-C., Kandlur D. D., Saha D., Shin K. G.* Stochastic Fair Blue: A queue management algorithm for enforcing fairness // INFOCOM 2001: 20th Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies Proceedings. — Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2001. Vol. 3. P. 1520–1529.
8. *Parris M., Jeffay K., Smith F. D.* Lightweight active router queue management for multimedia networking // Multimedia computing and networking / Eds. D. D. Kandlur, K. Jeffay, T. Roscoe. — Proc. SPIE ser. — San Jose, CA, USA: SPIE, 1999. Vol. 3654. P. 162–174. doi: 10.1117/12.333807.
9. *Pan R., Prabhakar B., Psounis K.* CHOCkE: A stateless active queue management scheme for approximating fair bandwidth allocation // INFOCOM 2000: 19th Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies Proceedings. — Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2000. Vol. 2. P. 942–951.
10. *Жерновский Ю. В.* Решение задач оптимального синтеза для некоторых марковских моделей обслуживания // Информационные процессы, 2010. Т. 10. № 3. С. 257–274.

11. Коновалов М. Г. Об одной задаче оптимального управления нагрузкой на сервер // Информатика и её применения, 2013. Т. 7. Вып. 4. С. 34–43.
12. Агаларов Я. М. Пороговая стратегия ограничения доступа к ресурсам в системе массового обслуживания  $M/D/1$  с функцией штрафов за несвоевременное обслуживание заявок // Информатика и её применения, 2015. Т. 9. Вып. 3. С. 55–64.
13. Гришунина Ю. Б. Оптимальное управление очередью в системе  $M/G/1/\infty$  с возможностью ограничения приема заявок // Автоматика и телемеханика, 2015. № 3. С. 79–93.
14. Агаларов Я. М., Агаларов М. Я., Шоргин В. С. Об оптимальном пороговом значении длины очереди в одной задаче максимизации дохода системы массового обслуживания типа  $M/G/1$  // Информатика и её применения, 2016. Т. 10. Вып. 2. С. 70–79.
15. Карлин С. Основы теории случайных процессов / Пер. с англ. — М.: Мир, 1971. 537 с. (*Karlin S. A first course in stochastic processes.* — New York – London: Academic Press, 1968. 502 p.)
16. Бочаров П. П., Печинкин А. В. Теория массового обслуживания. — М.: РУДН, 1995. 529 с.
17. Агаларов Я. М., Агаларов М. Я., Шоргин В. С. Приложение к статье «Максимизация дохода СМО типа  $G/M/1$  на множестве пороговых стратегий с двумя точками переключения». [http://www.ipiran.ru/publications/Pril\\_Agalarov.docx](http://www.ipiran.ru/publications/Pril_Agalarov.docx).

*Поступила в редакцию 29.04.16*

---

---

## PROFIT MAXIMIZATION IN $G/M/1$ QUEUING SYSTEM ON A SET OF THRESHOLD STRATEGIES WITH TWO SWITCH POINTS

*Ya. M. Agalarov<sup>1</sup>, M. Ya. Agalarov<sup>2</sup>, and V. S. Shorgin<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Institute of Informatics Problems, Federal Research Center “Computer Science and Control” of the Russian Academy of Sciences, 44-2 Vavilov Str., Moscow 119333, Russian Federation

<sup>2</sup>PromsvyazBank OJSC, 10 Smirnovskaya Str., Moscow 109052, Russian Federation

**Abstract:** The problem of maximizing the average profit per time in  $G/M/1$  queuing system is considered on a set of stationary access restriction threshold strategies with one “switch point.” The objective function depends on the following measures: service fee, hardware maintenance fee, cost of service delay, fine for unhandled requests, and fine for system idle. The authors have formulated the necessary conditions of existence of finite problem solution on a subset of threshold strategies with fixed distance between the upper and lower thresholds and have got necessary and sufficient conditions for optimality of threshold strategy on this subset. The authors have also developed a method of finding the optimal strategy and algorithm for calculating the parameters of the optimal strategy and the corresponding value of the objective function.

**Keywords:** queuing system; threshold strategy; optimization

**DOI:** 10.14357/08696527160407

## Acknowledgments

The work was supported by the Russian Foundation for Basic Research (project 15-07-03406).

## References

1. Floyd, S., and V. Jacobson. 1993. Random early detection gateways for congestion avoidance. *IEEE ACM Trans. Network.* 1:397–413.
2. Kabra, M., S. Saha, and B. Lin. 2006. Fast buffer memory with deterministic packet departures. *14th IEEE Symposium on High-Performance Interconnects Proceedings*. Stanford, CA. 67–72.
3. Zheng, B., and M. Atiquzzaman. 2008. A framework to determine the optimal weight parameter of RED in next-generation Internet routers. *Int. J. Commun. Syst.* 21:987–1008.
4. Reddy, T. B., A. Ahammed, and R. Banu. 2009. Performance comparison of active queue management techniques. *Int. J. Computer Sci. Network Security* 9(2):405–408.
5. Lin, D., and R. Morris. 1997. Dynamics of random early detection. *ACM SIGCOMM'97 Conference on Applications, Technologies, Architectures, and Protocols for Computer Communication Proceedings*. ACM. 127–137.
6. Feng, W.-C., K. G. Shin, D. D. Kandlur, and D. Saha. 2002. The BLUE active queue management algorithms. *IEEE ACM Trans. Network.* 10(4):513–528.
7. Feng, W.-C., D. D. Kandlur, D. Saha, and K. G. Shin. 2001. Stochastic Fair Blue: A queue management algorithm for enforcing fairness. *INFOCOM 2001. 20th Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies*. IEEE. 3:1520–1529.
8. Parris, M., K. Jeffay, and F. D. Smith. 1999. Lightweight active router-queue management for multimedia networking. *Multimedia computing and networking*. Eds. D. D. Kandlur, K. Jeffay, and T. Roscoe. Proc. SPIE ser. San Jose, CA: SPIE. 3654:162–174. doi: 10.1117/12.333807.
9. Pan, R., B. Prabhakar, and K. Psounis. 2000. CHOKe: A stateless active queue management scheme for approximating fair bandwidth allocation. *INFOCOM 2000: 19th Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies Proceedings*. Piscataway, NJ: IEEE. 2:942–951.
10. Zhernovyy, Ju. V. 2010. Reshenie zadach optimal'nogo sinteza dlya nekotorykh markovskikh modeley obsluzhivaniya [Solution of optimum synthesis problem for some Markov models of service]. *Informatsionnye Processy [Information Processes]* 10(3):257–274.
11. Konovalov, M. G. 2013. Ob odnoy zadache optimal'nogo upravleniya nagruzkoy na server [About one task of overload control]. *Informatika i ee Primeneniya — Inform. Appl.* 7(4):34–43.

12. Agalarov, Ya. M. 2015. Porogovaya strategiya ogranicheniya dostupa k resursam v sisteme massovogo obsluzhivaniya  $M/D/1$  s funktsiyey shtrafov za nesvoevremennoe obsluzhivanie zayavok [The threshold strategy for restricting access in the  $M/D/1$  queueing system with penalty function for late service]. *Informatika i ee Primeneniya — Inform. Appl.* 9(3):55–64.
13. Grishunina, Yu. B. 2015. Optimal'noe upravlenie ochered'yu v sisteme  $M/G/1/\infty$  s vozmozhnost'yu ogranicheniya priema zayavok [Optimal control of queue in the  $M/G/1/\infty$  system with possibility of customer admission restriction]. *Avtomatika i Telemekhanika* [Automation and Remote Control] 3:79–93.
14. Agalarov, Ya. M., M. Ya. Agalarov, and V. S. Shorgin. 2016. Ob optimal'nom porogovom znachenii dliny ocheredi v odnoy zadache maksimizatsii dokhoda sistemy massovogo obsluzhivaniya tipa  $M/G/1$  [About the optimal threshold of queue length in particular problem of profit maximization in  $M/G/1$  queueing system]. *Informatika i ee Primeneniya — Inform. Appl.* 10(2):70–79.
15. Karlin, S. 1968. *A first course in stochastic processes*. New York–London: Academic Press. 502 p.
16. Bocharov, P. P., and A. V. Pechinkin. 1995. *Teoriya massovogo obsluzhivaniya* [Queueing theory]. Moscow: RUDN. 529 p.
17. Agalarov, Ya. M., M. Ya. Agalarov, and V. S. Shorgin. Appendix to the paper “Profit maximization in  $G/M/1$  queueing system on the set of threshold strategies with two switch points.” Available at: [http://www.ipiran.ru/publications/Pril\\_Agalarov.docx](http://www.ipiran.ru/publications/Pril_Agalarov.docx) (accessed August 29, 2016).

Received April 29, 2016

## Contributors

**Agalarov Yaver M.** (b. 1952) — Candidate of Science (PhD) in technology, associate professor; leading scientist, Institute of Informatics Problems, Federal Research Center “Computer Science and Control” of the Russian Academy of Sciences, 44-2 Vavilov Str., Moscow 119333, Russian Federation; [agglar@yandex.ru](mailto:agglar@yandex.ru)

**Agalarov Murad Ya.** (b. 1987) — Head of System Analysis Department, PromsvyazBank OJSC, 10 Smirnovskaya Str., Moscow 109052, Russian Federation; [murad-agalarov@yandex.ru](mailto:murad-agalarov@yandex.ru)

**Shorgin Vsevolod S.** (b. 1978) — Candidate of Science (PhD) in technology, senior scientist, Institute of Informatics Problems, Federal Research Center “Computer Science and Control” of Russian Academy of Sciences, 44-2 Vavilov Str., Moscow 119333, Russian Federation; [VShorgin@ipiran.ru](mailto:VShorgin@ipiran.ru)



## МЕТОД ВЗВЕШЕННЫХ ДИСКРИМИНАНТНЫХ СИСТЕМ ДЛЯ КЛАССИФИКАЦИИ ОБЪЕКТОВ С ПРОПУЩЕННЫМИ ДАННЫМИ\*

*Т. В. Захарова<sup>1</sup>, С. Е. Кинжитаева<sup>2</sup>*

**Аннотация:** Разработан метод классификации объектов с пропущенными или частично известными данными. Задачи, связанные с обработкой неполных данных, часто встречаются, например, в медицине. Данные пациентов могут содержать пропуски или отсутствовать. Новым методом была проведена классификация пациентов с различной степенью тяжести шизофрении. Шизофрения относится к генетическим заболеваниям, поэтому важной является задача исследования генетической предрасположенности человека к данной болезни. Для этого проводится анализ ассоциаций между полиморфизмом генов. Отличительной чертой предоставленных медицинских данных была их незаполненность более чем на 70%. При применении нового метода классификации была существенно снижена размерность дискриминантных признаков и получена высокая достоверность прогнозирования развития заболевания.

**Ключевые слова:** дискриминантный анализ; пропущенные данные; классификационные функции; генетические заболевания

**DOI:** 10.14357/08696527160408

### 1 Введение

Широкий круг задач, возникающих на практике и связанных с классификацией, можно решить методами дискриминантного анализа, типичные области применения которых — экономика, геология, медицина, управление производством, контроль качества. Методы математической статистики используются в решении актуальных задач в медицинских исследованиях, в решении экономических проблем. В данной статье рассматривается проблема классификации данных и прогнозирования развития генетических заболеваний. Выявление предрасположенности к генетическим заболеваниям относится к одной из сложных и весомых задач в медицине. Проведенное исследование было основано на методах дискриминантного анализа, который позволяет решать многие приклад-

\* Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект 15-07-02652).

<sup>1</sup> Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, факультет вычислительной математики и кибернетики; Институт проблем информатики Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук, lsa@cs.msu.ru

<sup>2</sup> Московский физико-технический институт (государственный университет), saniya150195@gmail.com

ные статистические задачи, связанные с распознаванием, и в том числе выявлять заболевание на начальной стадии [1, 2].

Как это часто бывает в медицинских исследованиях, особенностью анализируемых данных являлось наличие у всех пациентов различного рода пропущенных данных. Медицинские данные были предоставлены Федеральным государственным бюджетным научным учреждением «Научный центр психического здоровья» (ФГБНУ НЦПЗ). Более 70% данных было пропущено, поэтому традиционные методы обработки пропущенных данных, такие как метод исключения некомплектных объектов, различные методы с заполнением, были непригодны.

В данной работе решалась задача выявления признаков, по которым у пациентов можно предположить наличие генетического заболевания на ранних стадиях, и прогнозирования развития генетического заболевания. ФГБНУ НЦПЗ предоставил данные пациентов с диагностированным генетическим заболеванием — шизофренией. Требовалось сравнить три группы наблюдаемых людей: 1-я группа — больные с разными вариантами параноидной шизофрении (диагнозы F20.00, F20.01, F20.02, F20.03 и F20.04); 2-я группа — больные на начальной стадии заболевания и с периодом наблюдения менее года (диагноз F20.09); 3-я группа — здоровые люди.

Предлагаемый метод классификации состоял в следующем. Фиксируется дискриминантный признак, по нему определяется группа пациентов, у которых этот признак заполнен. Для такой группы выбирается общий набор дискриминантных признаков, по которым строятся классификационные функции. Для краткости изложения назовем дискриминантной системой: определяющий дискриминантный признак, соответствующую ему группу пациентов, общие дискриминантные признаки группы и классификационные функции. Ранее понятие дискриминантная система уже было введено в работе [3]. Число наборов дискриминантных систем зависит от заполненности данных: чем больше потерянных данных, тем больше число различных наборов. Новый пациент со своим набором признаков классифицируется каждой дискриминантной системой и относится к той группе, для которой было получено максимальное число совпадений классификации. Такая многоступенчатая классификация компенсирует, в некотором смысле, малый объем выборки и максимально использует информацию о каждом пациенте. Ранее похожие задачи решались в работах [3–5]. Формализуем настоящую постановку задачи.

## 2 Постановка задачи

Пусть задано пространство признаков  $X$  размерностью  $p > 1$ , элементами этого пространства являются векторы  $X = \{X_1, \dots, X_i, \dots, X_p\}$ , где  $X_i$  — значения  $i$ -го признака конкретного пациента. Исходная таблица наблюдений состоит из  $N$  строк, где каждому вектору  $X$  поставлена в соответствие некоторая группа с номером  $k$ ,  $k = 1, 2, \dots, n$ , причем любой из  $n$  групп принадлежит не менее одного объекта.

Задача классификации состоит в отнесении некоторого индивидуума  $X$  к одной из  $n$  групп на основе измерения  $p$  параметров  $X_1, X_2, \dots, X_p$ .

Линейная функция

$$d^k = a_0^k + a_1^k X_1^k + a_2^k X_2^k + \dots + a_j^k X_j^k + \dots + a_p^k X_p^k$$

при  $k = \overline{1, n}$  называется дискриминантной функцией с неизвестными коэффициентами  $a_j^k$ , которая иногда также именуется классифицирующей функцией,  $p$  — число дискриминантных переменных, причем  $0 < p < N - 2$ .

Необходимо рассчитать  $n$  линейных дискриминантных функций, после чего с использованием коэффициентов  $a_j^k$  и постоянной  $a_0^k$  можно провести классификацию любого произвольного наблюдения. Для этого необходимо подставить значения переменных вектора  $X$  в дискриминантные функции для каждой  $k$ -й группы и рассчитать значения оценок отклика,  $k = 1, 2, \dots, n$ . Вектор  $X$  классифицируется как принадлежащий тому классу  $k$ , для которого величина  $d^k$  имеет максимальное значение.

Для расчета коэффициентов дискриминантных функций нужен статистический критерий, оценивающий различия между группами. Классификация переменных будет осуществляться тем лучше, чем меньше рассеяние точек относительно центроида внутри группы и чем больше расстояние между центроидами групп. Один из методов поиска наилучшей дискриминации данных заключается в нахождении таких дискриминантных функций  $d^k$ , которые были бы основаны на максимуме отношения межгрупповой вариации к внутригрупповой.

Введем некоторые обозначения. Символом  $\overline{X_i^k}$  обозначим среднее значение признака  $i$ , рассчитанного для представителей группы  $k$ , символом  $\overline{\overline{X_i}}$  — среднее значение признака  $i$  по всем пациентам сразу из всех групп. Через  $X_i^{k,l}$  обозначим  $i$ -й признак у  $l$ -го пациента в группе  $k$ .

Используя введенные осреднения, определим квадратные матрицы  $W$  и  $T$ :

$$W = (w_{ij})_{i=1, j=1}^{p,p}, \quad w_{ij} = \sum_{k=1}^n \sum_{l=1}^N \left( X_i^{k,l} - \overline{X_i^k} \right) \left( X_j^{k,l} - \overline{X_j^k} \right);$$

$$T = (t_{ij})_{i=1, j=1}^{p,p}, \quad t_{ij} = \sum_{k=1}^n \sum_{l=1}^N \left( X_i^{k,l} - \overline{\overline{X_i}} \right) \left( X_j^{k,l} - \overline{\overline{X_j}} \right).$$

Матрица  $W$  называется внутригрупповой выборочной вариационной матрицей признаков  $i$  и  $j$ . Матрица  $T$  называется матрицей рассеяния объединенных данных, следует отметить, что она является квадратной симметричной матрицей. Если разделить каждый элемент матрицы  $T$  на  $(N - 1)$ , получается ковариационная матрица  $C$ , где  $N$  — общее число объектов всех классов. Для получения корреляционной матрицы  $R$  следует каждый элемент матрицы  $T$

разделить на квадратный корень произведения соответствующих диагональных элементов  $t_{ij}/\sqrt{t_{ii}t_{jj}}$ . Если элементы матрицы  $W$  разделить на  $(N - n)$ , то получится внутригрупповая ковариационная матрица  $S$ , где  $N$  — общее число объектов всех классов. Матрицы  $W$  и  $T$  содержат всю основную информацию о зависимости внутри групп и между группами.

Для графического изображения расположения групп будет использоваться канонический дискриминантный анализ. Он является более сложным в математическом отношении, так как ищутся независимые или ортогональные функции, вклады которых в разделение совокупностей не будут перекрываться. Такие функции принято называть каноническими дискриминантными функциями, они также являются линейной комбинацией дискриминантных переменных, но удовлетворяют определенным условиям и имеют следующее математическое представление:

$$f_i^k = u_0 + u_1 X_{1i}^k + u_2 X_{2i}^k + \dots + u_n X_{ni}^k,$$

где  $f_i^k$  — значение канонической дискриминантной функции для  $i$ -го объекта в группе  $k$ ;  $X_{ji}^k$  — значение признака  $X_j$  для  $i$ -го объекта в группе  $k$ ;  $u_j$  — коэффициенты, обеспечивающие выполнение требуемых условий.

Так как дискриминантные функции находятся по выборочным данным, они нуждаются в проверке статистической значимости. Для этого может быть использована статистика Уилкса (или лямбда Уилкса), которая вычисляется как отношение детерминантов матрицы внутригрупповой ковариации  $W$  и полной ковариационной матрицы  $T$ :

$$U = \frac{\det(W)}{\det(T)}.$$

Лямбда Уилкса используется для обозначения статистической значимости мощности дискриминации в текущей модели. Значение статистики Уилкса лежит в интервале  $[0, 1]$ . Ее равенство нулю означает полную дискриминацию, а равенство единице означает отсутствие всякой дискриминации в данной модели.

Наиболее общим принципом применения дискриминантного анализа является включение в исследование по возможности большего числа переменных с целью определения тех из них, которые наилучшим образом разделяют выборки между собой. При решении рассматриваемой задачи дискриминации пациентов, больных шизофренией, и здоровых людей использовался принцип пошагового включения.

### 3 Решение задачи

#### 3.1 Первичная обработка данных

Все исходные данные были представлены в виде таблицы. Изначально данные состояли из наблюдений над 3600 пациентами по 220 признакам. Объем

выборки был очень большим, но сама выборка являлась малоинформативной, так как объем пропущенных данных был слишком велик. В исходных данных присутствовало 76% незаполненных значений. Практически у каждого пациента отсутствовал ряд наблюдений, которые не подлежали восстановлению. В этих условиях провести правильную классификацию по полной совокупности признаков не удалось, что видно из рис. 1.

Часть рассматриваемых признаков была удалена сразу ввиду того, что значения признаков были одинаковыми во всех группах и поэтому не несли никакой информации о дискриминации. В основном эти признаки являлись бинарными. Еще одна часть признаков служила качественной характеристикой, поэтому эти признаки были переведены в числовую форму с помощью одного из способов кодирования под названием *dummy-кодирование*. *Dummy-кодирование* заключается в следующем.

Предположим, что некий признак  $X^j$  может принимать  $w$  значений:  $a_1, \dots, a_w$ . Тогда для каждого объекта  $X_i$  признак  $X_i^j$  заменяется на  $w$  бинарных признаков в виде:

$$Z_i^{a_l} = I [X_i^j = a_l], \quad k \in \{1, \dots, w\}, \quad (1)$$

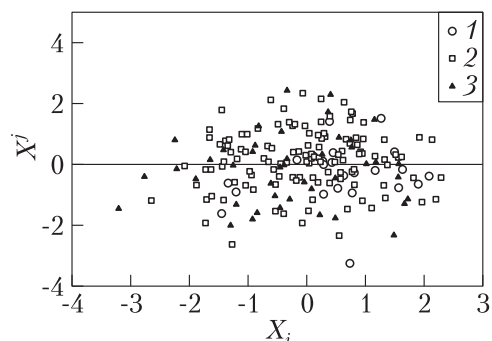
где  $I[A]$  — индикатор события  $A$ , т. е.

$$I[A] = \begin{cases} 1, & \text{если } A \text{ истинно;} \\ 0, & \text{если } A \text{ ложно.} \end{cases} \quad (2)$$

Но в силу того, что объекты не всегда имели наблюдения по какому-либо признаку, при кодировании добавлялся еще один бинарный признак, отвечающий за присутствие-отсутствие наблюдения по данному признаку. Таким образом, при кодировании признака исходной матрицы данных получаем вместо одного качественного  $w + 1$  бинарных признаков.

### 3.2 Алгоритм классификации

С медицинской точки зрения предоставленные признаки можно было подразделить на некие подгруппы по типу содержащейся в них информации. Например,



**Рис. 1** Классификация начальных данных по всей совокупности признаков: 1 — больные; 2 — больные, период наблюдения < 1 года; 3 — здоровые

были группы признаков, отвечающих за результаты психологических тестов, таких как ММПИ (*англ.* Minnesota Multiphasic Personality Inventory), PANSS (*англ.* Positive and Negative Syndrome Scale), EPI (*англ.* Eysenck Personality Inventory), были группы признаков, отвечающих за электромагнитные сигналы на различных участках мозга, также была группа переменных, отвечающих за различные значения многочисленных генов. Следует отметить, что и уровень заполнения этих признаков зависел от подгруппы, к которой принадлежал признак.

Для выбора комбинаций дискриминантных признаков проводился такой алгоритм отсеивания: выбирался некоторый признак и удалялись пациенты, не имеющие наблюдений по данному признаку, затем для сформированной группы пациентов удалялись признаки, которые были заполнены менее чем на 30%. Затем выбирался наименее заполненный признак и опять удалялись пациенты, не имеющие наблюдений по данному признаку. Если в группе оставалось менее 20 пациентов, то выбирался новый признак. Иначе отбор продолжался и удалялись признаки, уровень заполнения которых стал меньше 30% во вновь образованной группе пациентов. В итоге был получен набор признаков, значение которых было зарегистрировано у группы пациентов. Если в этой группе оставалось более 20 пациентов, то создание комбинаций признаков можно было считать успешным, иначе результат не учитывался и происходил переход к другому признаку.

**Таблица 1** Число переменных и размерность дискриминантных систем

Номер дискриминантной системы	Число объектов			Число признаков в модели
	Группа 1	Группа 2	Группа 3	
1	25	12	29	23
2	77	20	68	17
3	26	10	14	28
4	35	16	14	23

В ходе применения данного алгоритма отсеивания было выделено около десятка различных комбинаций признаков и получено столько же дискриминантных систем. Но не все дискриминантные системы отличались хорошей классификацией, в некоторых случаях определенные комбинации признаков показывали плохой результат. Такие дискриминантные системы имели статистику Уилкса, близкую к единице, поэтому они были исключены из контрольного набора дискриминантных систем. Можно отметить, что в каждой из оставшихся дискриминантных систем число признаков и размерность выборки отличались друг от друга (табл. 1).

Далее для каждой отобранной дискриминантной системы определялся весовой коэффициент  $t_i$ , где  $i = \overline{1, k}$  и  $k$  — число дискриминантных систем. Весовой коэффициент  $i$ -й дискриминантной системы вычислялся по правилу:

$$t_i = \frac{\lambda_i^{-1}}{\sum_{j=1}^k \lambda_j^{-1}},$$

где  $\lambda_i$  — лямбда-статистика Уилкса  $i$ -й дискриминантной системы.

Как уже отмечалось, лямбда Уилкса характеризует статистическую значимость мощности дискриминантной модели, поэтому целесообразно задать больший весовой коэффициент системе с лучшей дискриминацией.

Для классификации нового объекта каждая дискриминантная система выдает свой прогноз. Объект будет отнесен к той группе, для которой сумма весовых коэффициентов дискриминантных систем, относящих объект к одной и той же группе, будет максимальной.

Например, при классификации пациента в одну из трех групп решается следующая задача. Каждая дискриминантная система делает прогноз о распределении пациента в какую-либо группу. Занумеруем дискриминантные системы от 1 до  $k$ . Предположим, что в первую группу пациента распределили первые  $k_1$  систем, во вторую группу пациента распределили следующие  $k_2$  систем, в третью группу пациента распределили  $k_3$  систем. Далее рассчитываются суммы  $p_i$ :

$$\begin{aligned} p_1 &= t_1 + \dots + t_{k_1}; \\ p_2 &= t_{k_1+1} + \dots + t_{k_1+k_2}; \\ p_3 &= t_{k_1+k_2+1} + \dots + t_k, \end{aligned}$$

где  $t_i$  — веса дискриминантных систем. Затем определяется максимальное из чисел  $p_1, p_2, p_3$ . Индекс максимальной суммы соответствует номеру группы, в которую будет классифицирован объект.

### 3.3 Верификация предложенного метода

При обработке исходных данных описанным выше методом было получено пространство из 160 признаков и проведен отдельный анализ для каждой из четырех полученных дискриминантных систем. Дополнительно была проведена проверка гипотезы о нормальном распределении признаков дискриминантных систем. Число признаков, удовлетворяющих гипотезе о нормальном распределении, было около 70 (табл. 2). Признаками, распределения которых отличались от нормальных, являлись перекодированные из качественных, их было около 90. Но часты случаи, когда анализируемые переменные не являются выборкой из многомерного нормального распределения, тем не менее к ним успешно применяются методы дискриминантного анализа [6, 7].

Далее были вычислены веса всех четырех дискриминантных систем, которые описаны в табл. 3. Из табл. 4, содержащей классификационную матрицу, видно, что объем анализируемых данных увеличился и доля корректно классифицированных данных вполне высока в сравнении с начальным анализом, где

**Таблица 2** Признаки, имеющие нормальное распределение

Признак	H	Признак	H	Признак	H	Признак	H
Возраст	N	PANS-P	N	PANS-N	N	PANS-OP	N
EPI-E	N	EPI-N	N	EPI-L	N	MMPI-L	N
MMPI-F	N	MMPI-K	N	Mania	N	Pd	N
Hs	N	Mf	N	Si	N	Sc	N
D	N	Pa	N	At	N	n1-n7	N
Hу	N	Pt	N	p1-p7	N	g1-g16	N
F7	N	F4	N	T3	N	CZ	N
C4	N	F3	N	F8	N	C3	N
T4	N	PZ	N	F7-am	N	F4-am	N
F8-am	N	P3	N	P4	N	F3-am	N
T3-am	N	Czam	N	T4am	N	Pzam	N
P4am	N	C3am	N	C4am	N	P3am	N
AMP T3	N	AMP CZ	N	AMP T4	N	AMP PZ	N
AMP P4	N	AMP C3	N	AMP C4	N	AMP P3	N
LP F7	N	LPF4	N	LP T3	N	LP CZ	N
LP C4	N	LP F3	N	LPF8	N	LPC3	N
LP T4	N	LP PZ	N	AMP F7	N	AMP F4	N
AMP F8	N	LP P3	N	LP P4	N	AMP F3	N

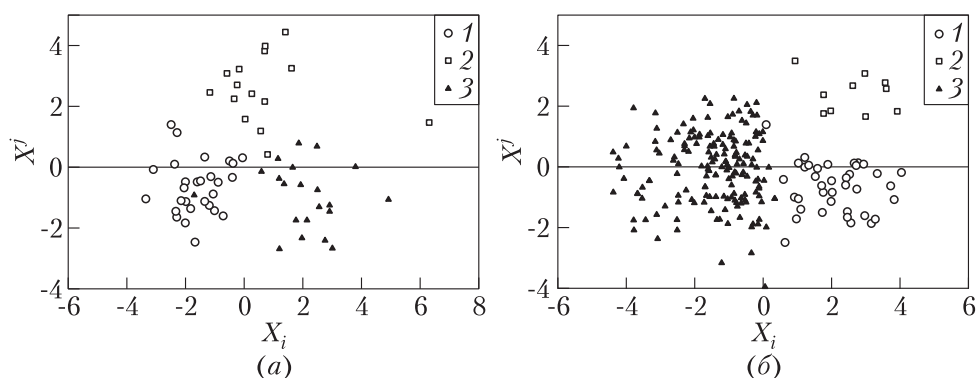
**Таблица 3** Дискриминантные системы, вошедшие в анализ

№	Комбинации параметров	Значение $\lambda$ -статистики	Вес
1	$X_1, X_2, X_8, X_9, X_{73} - X_{82}, X_{116} - X_{122}$	0,05	0,52
2	$X_1 - X_{16}, X_{47} - X_{52}, X_{65} - X_{72}$	0,24	0,11
3	$X_1, X_2, X_{12} - X_{18}, X_{23} - X_{28}, X_{33} - X_{36}$	0,12	0,22
4	$X_{20} - X_{32}, X_{47} - X_{64}$	0,18	0,15

**Таблица 4** Классификационная матрица после применения модифицированного метода

Группа	Доля, %	Группа		
		1	2	3
1	77,08333	259	54	23
2	85,23985	32	231	8
3	90,03165	26	37	569
Итого	85,47215	317	322	600





**Рис. 2** Классификация данных 1-й (а) и 2-й (б) дискриминантными системами: 1 — больные; 2 — больные, период наблюдения < 1 года; 3 — здоровые

доля корректно классифицированных данных составляла менее 30%. На рис. 2 приведен пример классификации двумя построенными дискриминантными системами.

#### 4 Выводы

Геном человека (т. е. ДНК) — это совокупность наследственного материала, заключенного в клетке человека. На всем протяжении генома расположены участки, называемые полиморфными, в которых один нуклеотид может быть заменен на другой. Полиморфные участки сравнивают в популяции здоровых людей и в популяции пациентов с заболеванием. Основными трудностями для использования классического метода дискриминации является недостаточность и неполнота данных, малый объем выборки. Примененный новый метод взвешенных дискриминантных систем позволил улучшить качество классификации генеральной совокупности данных и тем самым установить некоторые совокупности медицинских измерений, которые впоследствии смогут помочь при постановке и выявлении конкретного диагноза.

#### Литература

1. Реброва О. Ю. Статистический анализ медицинских данных. Применение пакета прикладных программ STATISTICA. — М.: Медиа Сфера, 2002. 312 с.
2. Халафян А. А. Современные статистические методы медицинских исследований. — М.: Эдиториал УРСС, 2008. 395 с.
3. Захарова Т. В., Абрамова Е. М. О методе прогнозирования и классификации для цензурированных данных // Информатика и её применения, 2013. Т. 7. Вып. 4. С. 105–111. doi: 10.14357/19922264130411.

4. *Захарова Т. В., Золоева М. В.* Прогнозирование состояния пациентов // Обозрение прикладной и промышленной математики, 2007. Т. 14. Вып. 2. С. 298–299.
5. *Драницына М. А., Захарова Т. В.* Классификация состояний пациентов с целью прогнозирования результатов их лечения // Обозрение прикладной и промышленной математики, 2009. Т. 16. Вып. 5. С. 840–841.
6. *Truett J., Cornfield J., Kannell W.* A multivariate analysis of the risk of coronary heart disease in Framingham // *J. Chron. Dis.*, 1967. Vol. 20. P. 511–524.
7. *Афифи Ф., Эйзен С.* Статистический анализ. Подход с использованием ЭВМ. — М.: Мир, 1982. 488 с. (*Afifi A. A., Azen S. P.* Statistical analysis. A computer oriented approach. — 2nd ed. — New York–San Francisco–London: A Subsidiary of Harcourt Brace Jovanovich Publs., 1979. 442 p.)

*Поступила в редакцию 15.09.16*

---

---

## METHOD OF WEIGHTED DISCRIMINANT SYSTEMS FOR THE CLASSIFICATION OF OBJECTS WITH MISSING DATA

*T. V. Zakharova<sup>1,2</sup> and S. E. Kinzhitaeva<sup>3</sup>*

<sup>1</sup>Department of Mathematical Statistics, Faculty of Computational Mathematics and Cybernetics, M. V. Lomonosov Moscow State University, 1-52 Leninskiye Gory, GSP-1, Moscow 119991, Russian Federation

<sup>2</sup>Institute of Informatics Problems, Federal Research Center “Computer Sciences and Control” of the Russian Academy of Sciences, 44-2 Vavilov Str., Moscow 119333, Russian Federation

<sup>3</sup>Moscow Institute of Physics and Technology (State University), 9 Institutskiy Per., Dolgoprudny, Moscow Region 141700, Russian Federation

**Abstract:** The authors describe a method of classification of objects with missing or partially known data. The tasks related to the processing of incomplete data are common in medicine. Patient data can contain gaps or missing. Information classification of patients with varying degrees of schizophrenia was carried out using the new method. Schizophrenia is a genetic disease; so, important is the task of studying the genetic predisposition of a person to the disease. Analysis of associations between polymorphisms of genes was performed. A distinctive feature of the provision of medical data is its emptiness by more than 70%. The dimension of discriminant signs was significantly reduced and high reliability of forecasting has been received.

**Keywords:** discriminant analysis; censored data; classification functions; genetic diseases

**DOI:** 10.14357/08696527160408

## Acknowledgments

The work was supported by the Russian Foundation for Basic Research (project 15-07-02652).

## References

1. Rebrova, O. Ju. 2002. *Statisticheskiiy analiz meditsinskikh dannykh. Primenenie paketa prikladnykh programm STATISTICA* [Statistical analysis of medical data. STATISTICA applied program package application]. Moscow: Media Sphere. 312 p.
2. Halafjan, A. A. 2008. *Sovremennyye statisticheskiye metody meditsinskikh issledovaniy* [Present statistical methods of medical research]. Moscow: Jeditorial URSS. 395 p.
3. Zakharova, T. V., and E. M. Abramova. 2013. O metode prognozirovaniya i klassifikatsii dlya tsenzurovannykh dannykh [About prognostication and classification method of the censored data]. *Informatika i ee Primeneniya — Inform. Appl.* 7(4):105–111. doi: 10.14357/19922264130411.
4. Zakharova, T. V., and M. V. Zoloeva. 2007. Prognozirovaniye sostoyaniya patsientov [Forecast of the patients' conditions]. *Obozrenie Prikladnoi i Promyshlennoy Matematiki* [Review of Applied and Industrial Mathematics] 14:298–299.
5. Dranitsyna, M. A., and T. V. Zakharova. 2009. Klassifikatsiya sostoyaniy patsientov s tsel'yu prognozirovaniya rezultatov lecheniya [Classification of patients' conditions in order to forecast outcomes of the treatment]. *Obozrenie Prikladnoi i Promyshlennoy Matematiki* [Review of Applied and Industrial Mathematics] 16:840–841.
6. Truett, J., J. Cornfield, and W. Kannel. 1967. A multivariate analysis of the risk of coronary heart disease in Framingham. *J. Chron. Dis.* 20(7):511–524.
7. Afifi, A. A., and S. P. Azen. 1979. *Statistical analysis. A computer oriented approach*. 2nd ed. New York – San Francisco – London: A Subsidiary of Harcourt Brace Jovanovich Publs. 442 p.

Received September 15, 2016

## Contributors

**Zakharova Tatiana V.** (b. 1962) — Candidate of Science (PhD) in physics and mathematics; assistant professor, Department of Mathematical Statistics, Faculty of Computational Mathematics and Cybernetics, M. V. Lomonosov Moscow State University, 1-52 Leninskiye Gory, GSP-1, Moscow 119991, Russian Federation; senior scientist, Institute of Informatics Problems, Federal Research Center “Computer Science and Control” of the Russian Academy of Sciences, 44-2 Vavilov Str., Moscow 119333, Russian Federation; lsa@cs.msu.ru

**Kinzhitayeva Saniya E.** (b. 1995) — student, Moscow Institute of Physics and Technology (State University), 9 Institutskiy Per., Dolgoprudny, Moscow Region 141700, Russian Federation; saniya150195@gmail.com

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ВИЗУАЛЬНЫХ РАССУЖДЕНИЙ В ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ГИБРИДНЫХ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМАХ\*

*А. В. Колесников<sup>1</sup>, С. В. Листопад<sup>2</sup>, С. Б. Румовская<sup>3</sup>, В. И. Данишевский<sup>4</sup>*

**Аннотация:** Гибридные интеллектуальные системы (ГиИС) успешно применяются для решения задач с высокой сложностью моделирования благодаря сочетанию нескольких методов имитации интеллектуальной деятельности человека и компенсации недостатков одних методов достоинствами других. В большинстве ГиИС взаимодействие элементов основано на символично-логических моделях знаний, что ограничивает их возможности по сравнению с коллективами экспертов, оперирующих символично-логическими и визуально-образными знаниями. Моделирование коллективных визуально-образных рассуждений предлагается реализовать в новом классе интеллектуальных систем — ГиИС с гетерогенным визуальным полем. Для реализации таких рассуждений разработана формализованная модель визуальных языков, основанная на понятии семиотической системы по Д. А. Поспелову, и предложены принципы их объединения в гетерогенном визуальном поле.

**Ключевые слова:** гибридная интеллектуальная система; гетерогенное визуальное поле; визуальный язык; семиотическая система

**DOI:** 10.14357/08696527160409

### 1 Введение

Гибридные интеллектуальные системы анонсированы Л. Медскером (L. Medsker) в 1994–1995 гг. Знания в области синергетического и гибридного искусственного интеллекта изучены, обобщены и опубликованы в работах А. Н. Борисова, А. В. Гаврилова, В. Ф. Пономарева, А. В. Колесникова, Д. А. Поспелова, В. Н. Вагина, А. П. Еремеева, Г. В. Рыбиной, В. Б. Тарасова, Н. Г. Ярушкиной, С. Гунэтилэйка (S. Goonatilake), С. Кхеббала (S. Khebbal). Существенный недостаток ГиИС на текущем этапе их развития — моделирование преимущественно логического мышления, обеспечивающего возможность

\*Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект 16-07-00271а).

<sup>1</sup>Балтийский федеральный университет им. И. Канта, Калининградский филиал Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук, avkolesnikov@yandex.ru

<sup>2</sup>Калининградский филиал Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук, ser-list-post@yandex.ru

<sup>3</sup>Калининградский филиал Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук, sorphiyabr@gmail.com

<sup>4</sup>Балтийский федеральный университет им. И. Канта, danishevskii.v.i@mail.ru

рассуждать в рамках абстрактных цепочек символов, с которыми связаны некоторые семантические и прагматические представления.

В 2009–2012 гг. И. Б. Фоминых предложил формализм ГиИС как комбинации темпоральных логических моделей и инженерии образов, рассмотрев нейроэкспертные системы с синергетическим взаимодействием образных и символично-логических механизмов принятия решения, еще раз подтвердив, что сочетание естественного и визуального языков в логико-математических и визуально-пространственных, правосторонних рассуждениях релевантно феномену человеческого мышления.

## 2 Полиязыковой коллективный интеллект

Управление как взаимодействие субъекта и объекта может осуществляться только с использованием некоторого механизма обеспечения такого взаимодействия — языка. Он формирует изученный в науке инструментарий как повседневной, так и профессиональной деятельности человека в системе управления. Будучи одновременно средством мыслительного эксперимента и моделью внешнего мира, язык профессиональной деятельности (ЯПД) — объект исследования в ходе гибридизации.

Традиционно ЯПД рассматривались как символичные системы: уровневая модель языка (Э. Бенвенист, С. Лэм, Г. Глисон, И. П. Распопов), полевая модель языка (В. Г. Адмони, А. В. Бондарко, Г. С. Щур), многослойная модель языка (Д. Л. Спивак), ассоциативно-вербальная сеть (Ю. Н. Караулов), динамическая модель языка (З. Д. Попова, И. А. Стернин), концептосфера (З. Д. Попова, И. А. Стернин) и др. [1].

С позиции семиотики язык рассматривается как знаковая система в трех измерениях: синтаксическом (отношения знаков друг к другу), семантическом (отношения знаков к их объектам) и прагматическом (отношения знаков к их интерпретаторам). Классическими в этой области считаются работы следующих исследователей: Ч. С. Пирса, Ч. У. Морриса, Ф. де Соссюра, Л. Ельмслева, Р. О. Якобсона, Я. Юкскюля, Э. Кассирера, К. Бюлера, Р. Барта, Т. А. Себеока, У. Эко, Ю. М. Лотмана [2]. Основные функции ЯПД в этом случае: формализация правил построения высказываний, представление знаний для выполнения рассуждений и обеспечение коммуникации носителей языка.

Традиционно к языковым знакам относят значимые единицы языка — морфемы, слова, предложения естественного языка. Однако в настоящее время в ЯПД все шире используется визуализация информации, эксперты-советники и лицо, принимающее решения (ЛПР), стали «визуальными мыслителями», в информатике активно эксплуатируются термины «визуальное управление», «визуальное мышление», «визуализация данных», «визуальная фасилитация», «скрайбинг», «когнитивная графика», «визуальное программирование» и др. [1]. Визуальное представление улучшает понимание данных, информации и знаний специалистами, что, в свою очередь, повышает эффективность процесса принятия решений

в целом [3]. Феномен человеческого визуального восприятия заключается в том, что он способен воспринимать образ целиком, а не набор отдельных, независимых объектов [3]. Это явление было изучено теоретиками Гештальта М. Вертхеймером (М. Wertheimer), В. Кехлером (W. Köhler) и К. Коффка (K. Koffka), определившими врожденные умственные законы восприятия объектов.

На практике используются более сотни визуальных языков, что обусловлено существенными различиями в природе, особенностях и свойствах знаний о различных предметных областях. В этой связи актуально построение формализованных моделей визуальных языков для моделирования рассуждений экспертов на их основе. Рассмотрим подробнее это понятие и возможность применения таких языков при построении ГиИС.

### **3 Понятие визуального языка**

За последние несколько десятилетий визуальным языкам и системам, рассуждающим на их основе, посвящено много работ. Особенности визуальных языков и возможности их формализованного представления рассматривались такими специалистами, как Д. В. Кудрявцев, Т. А. Гаврилова, С. С. Курбатов, Г. К. Хахалин, О. Г. Берестнева, Д. Сиббет, У. Боумен, Н. Г. Нараянан, Р. Хубшер, К. Зэнг и др. Нужно заметить, что визуальные языки не заменяют традиционные символьные языки. В большинстве случаев они интегрируют текст и графику в одной коммуникационной единице, объединяя достоинства обоих видов представления информации.

Как и любой другой, «визуальный язык», по Д. Сиббету [4], или «язык визуальных образов», по У. Боумену [5], имеет свои ресурсы и возможности: словарь элементов формы, грамматику пространственной организации, идиомы объемной перспективы и синтаксис фразировки образов. В [6] выделено несколько аспектов использования визуальных языков: непосредственное управление, когда для выполнения действий над объектом не требуются текстовые команды, достаточно выполнить действие над графическим представлением объекта; визуализация информации, позволяющая наблюдателю обнаружить зависимости и характеристики, скрытые при текстовом представлении.

В [6] выделены следующие компоненты визуального языка: предметная область, статический синтаксис, статическая семантика, динамический синтаксис, динамическая семантика. Описание предметной области состоит из множеств объектов, атрибутов, отношений для описания состояний предметной области и допустимых переходов между состояниями.

Статический синтаксис визуального языка определяется авторами [6] как множество правильных визуальных предложений. Формальная спецификация статического синтаксиса описывается грамматикой, генерирующей правильные визуальные предложения, или набором правил, позволяющих оценить допустимость предложения. Примеры визуальных грамматик представлены в исследованиях [7–9]. В [8] для описания визуального языка SIBTRAN, предложенного

Д. Сиббетом, применяется визуальная контекстно-независимая грамматика, состоящая из словаря терминальных символов, словаря нетерминальных символов, стартового символа и множества продукционных правил. Авторам [8] удалось представить первые три компонента визуальной грамматики в визуальной форме — нотации визуальной грамматики. Словарь (лексика) терминальных символов состоит из множества визуальных примитивов, характеризующихся множеством визуальных измерений, таких как позиция, ориентация, размер, форма, цвет, текстура, а также множеством визуальных отношений, которые могут быть установлены между одним и более примитивами [6].

Статическая семантика служит для описания соответствия визуальных предложений и состояний предметной области, которые они описывают. Каждое состояние предметной области, описываемое в терминах объектов, свойств и отношений, может соответствовать одному или нескольким визуальным предложениям, состоящим из графических примитивов, визуальных измерений и визуальных отношений. Соответствие может быть разных типов: один к одному, один ко многим, многие к одному, многие ко многим.

Динамический синтаксис описывает, каким образом визуальные предложения могут трансформироваться. Он включает множество допустимых изменений визуальных примитивов, множество допустимых изменений визуальных атрибутов и множество изменений визуальных отношений. Часто динамический синтаксис явно специфицируется процедурами графической трансформации, как в случае компьютерной анимации, выполняемой системами визуализации в графических пользовательских интерфейсах.

Динамическая семантика, согласно [6], описывает связи между изменениями визуальных предложений и изменениями состояний предметной области. Условия, при которых изменяются состояния, и то, как это влияет на объекты, их свойства и отношения между ними, должны соответствовать условиям, при которых изменяются визуальные предложения.

Визуальный язык в данной интерпретации — семиологическая система по Ф. де Соссюру, т. е. описывающая связи означающего и означаемого знаком синтаксиса и семантики языка. При этом упускается из виду контекст высказывания, взаимоотношения отправителя и получателя визуального высказывания, т. е. прагматический аспект языка.

Прагматика опирается на представление о языке как о системе средств и правил, но делает акцент на коммуникативных процессах и контекстуально-зависимых принципах использования этой системы во множестве разнообразных актов языкового общения. В понимании Н. Д. Арутюновой, в круг проблем, изучаемых в прагматике, включаются те, которые связаны: с говорящим субъектом, с его адресатом, со взаимодействием говорящего и адресата, с ситуацией общения [2]. Под прагматикой понимается отношение интерпретатора знаний к знаковой системе, используемой для представления экспертных знаний в интеллектуальных системах, в частности восприятие выражений на принятом языке представления знаний [10]. В этом случае многозначные логики могут служить в качестве

полезной аппроксимации логической структуры языка [11]. Для этих целей в [12] введена логика значения и контекста, где промежуточные истинностные значения, отличные от истины и лжи, понимались либо как неполнота информации, либо как ее незначимость. В середине 1970-х гг. появился термин «прагматические логики» [13, 14]. Классические примеры таких логик — индуктивная и вероятностная логики; к ним же относятся логики оценок, норм, предпочтений, принятия решений, общения и иллюкативные [11].

Таким образом, визуальный язык  $vl$  можно определить как семиотическую систему по Д. А. Поспелову [15]:

$$vl = \langle VT, VS, VA, VP, v\tau, v\sigma, v\alpha, v\pi \rangle, \quad (1)$$

где  $VT$ ,  $VS$  и  $VA$  — множества основных символов, синтаксических правил и знаний о предметной области (семантических правил) соответственно;  $VP$  — множество правил вывода решений (прагматических правил);  $v\tau$  — правила изменения множества  $VT$ ;  $v\sigma$  — правила изменения множества  $VS$ ;  $v\alpha$  — правила изменения множества  $VA$ ;  $v\pi$  — правила изменения множества  $VP$ . Множества  $VT$ ,  $VS$ ,  $VA$ ,  $VP$ ,  $v\tau$ ,  $v\sigma$ ,  $v\alpha$  и  $v\pi$  из (1) определим следующими выражениями:

$$VT = \langle P, D, VR^n \rangle; \quad (2)$$

$$VS = \langle VT, VN, PRU \rangle; \quad (3)$$

$$VA = \langle DO, G^O, G^A, G^R \rangle; \quad (4)$$

$$VP = \{ \langle AG, act, M, W \rangle \}; \quad (5)$$

$$v\tau = \langle \Delta P, \Delta D, \Delta VR^n \rangle; \quad (6)$$

$$v\sigma = \langle v\tau, \Delta VN, \Delta PRU \rangle; \quad (7)$$

$$v\alpha = \langle \Delta DO, G^{\Delta O}, G^{\Delta A}, G^{\Delta R} \rangle; \quad (8)$$

$$v\pi = \{ \langle \Delta AG, \Delta act, \Delta M, \Delta W \rangle \}. \quad (9)$$

Здесь

$$DO = \langle O, A, R^n \rangle; \quad G^O : O \rightarrow P; \quad G^A : A \rightarrow D; \quad G^R : R^n \rightarrow VR^n;$$

$$\Delta DO = \langle \Delta O, \Delta A, \Delta R^n \rangle;$$

$$G^{\Delta O} : \Delta O \rightarrow \Delta P; \quad G^{\Delta A} : \Delta A \rightarrow \Delta D; \quad G^{\Delta R} : \Delta R^n \rightarrow \Delta VR^n,$$

где  $P$  — множество визуальных примитивов;  $D$  — множество визуальных измерений, характеризующих визуальные примитивы;  $VR^n$  — множество визуальных отношений между одним и более примитивами [6];  $VN$  — словарь нетерминальных символов;  $PRU$  — множество продукционных правил;  $O$  — множество объектов;  $A$  — множество атрибутов;  $R^n$  — множество отношений;  $AG$  — множество носителей языка (экспертов, элементов, агентов), которым адресована



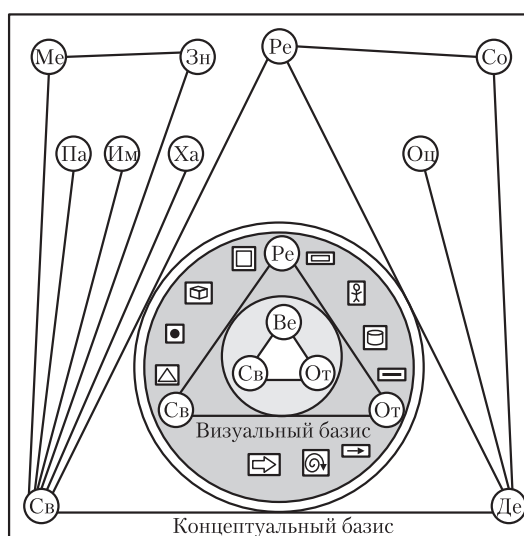
норма поведения (различные социальные запреты и ограничения, накладываемые сообществом на отдельного носителя);  $act \in ACT$  — действие, определенное на множестве действий  $ACT$  и являющееся объектом нормативной регуляции (содержание нормы);  $M$  — множество систем модальностей, связанных с действием, например система норм, выраженных деонтическими модальностями:  $M_N = \{O, P, B, Z\}$ ,  $O$  — «обязательно»,  $P$  — «разрешено»,  $B$  — «безразлично»,  $Z$  — «запрещено»;  $W$  — множество миров, в которых применима норма (условия приложения, обстоятельства, в которых должно или не должно выполняться действие) [11];  $\Delta P$  — множество допустимых изменений визуальных примитивов  $P$ , например их создание, удаление или изменение;  $\Delta D$  — множество допустимых изменений визуальных атрибутов  $D$ ;  $\Delta VR^n$  — множество изменения визуальных отношений  $VR^n$ ;  $\Delta VN$  — множество допустимых изменений словаря нетерминальных символов  $VN$ ;  $\Delta PRU$  — множество допустимых изменений множества продукционных правил  $PRU$ ;  $\Delta O$  — множество допустимых изменений множества объектов (создание, удаление, модификация);  $\Delta A$  — множество допустимых изменений множества атрибутов;  $\Delta R^n$  — множество допустимых изменений множества отношений;  $\Delta AG$  — множество допустимых изменений множества носителей языка  $AG$ ;  $\Delta act$  — множество допустимых изменений содержания нормы  $act$ ;  $\Delta M$  — множество допустимых изменений множества систем модальностей;  $\Delta W$  — множество допустимых изменений множества миров.

Формальное описание элементов визуальных языков (1)–(9) делает возможной реализацию автоматизированных рассуждений в интеллектуальных системах. Первый шаг такого описания визуального языка скрайбинга сделан в [1] для концептуально-визуального ядра теории ролевых визуальных моделей, устанавливающего соответствия множества визуальных примитивов  $VT$  и множества объектов  $O$ , атрибутов  $A$  и отношений  $R^n$ , что определяет элементы  $VT$  и  $VA$  в (1).

#### 4 Концептуально-визуальное ядро теории ролевых визуальных моделей

В основу концептуально-визуального ядра теории ролевых визуальных моделей (в центре на рис. 1) положен треугольник А. И. Уёмова «вещь–свойство–отношение», ограничив множество вещей вещами-ресурсами (ресурсами), так как прагматичны вещи из арсенала ЛПП для решения задач [1].

Графически на рис. 1 визуальный базис представлен как серый круг (метафора единства и целостности визуального базиса), в который заключен «порождающий» треугольник «ресурс–свойство–отношение». Ресурс — форма, изображающая вещь, предмет, имеющийся у субъекта визуального управления для решения задачи. Свойство — форма, изображающая имя, качество и физические свойства. Отношение — формообразующая категория, то, что образует ресурс из элементов (свойств или ресурсов). Отношение — то, что, будучи установленным между формами ресурсов, образует новые формы ресурсов.



**Рис. 1** Концептуально-визуальный базис теории ролевых визуальных моделей: Be — вещь; Sv — свойство; От — отношение; Ре — ресурс; Де — действие; Па — параметр; Оп — оценка; Ха — характеристика; Им — имя; Зн — значение; Со — состояние

По внутренней стороне окружности расположены общепризнанные базовые формы (по часовой стрелке: треугольник, точка, куб, квадрат, прямоугольник, фигура человека, цилиндр, линия, стрелка, спираль, фигурная стрелка), которых в сочетании с плоскостью, цветом и текстурой У. Боумену [5] достаточно для визуального высказывания любой сложности в технике скрайбинга. Базовые формы «тяготеют» к категориям, расположенным в вершинах «порождающего треугольника». Общепринято рассматривать вещи-ресурсы как нечто земное, ограниченное качественным пониманием в пространстве, что на ментальном уровне соответствует фигуре «квадрат». С вершиной «свойство» рядом форма «треугольник». Фундаментальность и первопричинность этой формы-образа прекрасно сочетаются с качественным пониманием вещей-ресурсов в философии, логике и системном анализе. Композиции, отношения треугольных форм легко образуют как простые базовые формы «квадрат», «круг», так и сложные графические высказывания. Расположение базовых форм около вершины «отношение» двойственно. Общепринято (теория графов, моделирование, алгоритмы, презентации, рисунки, диаграммы, схемы и др.) отношению сопоставлять линии, отрезки, стрелки, формы-образы связей вещей-ресурсов, их взаимодействия в пространстве и времени. Имплицитность визуализации отношений в графических высказываниях показывается специальными приемами.

Визуальный базис (круг) заключен в оболочку концептуального базиса (квадрат) теории. Это показано имплицитным ролевым отношением — круг внутри

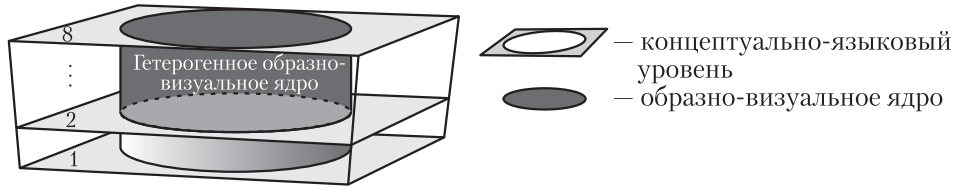
квадрата. Разница фигур подчеркнута цветом. Применение отношения с именем внутри согласуется с соотношением языка и мышления в концептосфере Э. Д. Поповой и И. А. Стернина. Концептуальный базис — словарь лексем знаковых высказываний поля языка профессиональной деятельности, в который перекодируются графические высказывания универсального предметного кода (в смысле Э. Д. Поповой и И. А. Стернина).

В квадрат — метафору лексического базиса ЯПД — вписана фигура — концептуальный граф «Концептуальная модель выражений ЯПД» [16], — основная часть которой — треугольная форма с вершинами, обозначенными как «ресурс–свойство–действие», — описана вокруг окружности — метафоры визуального базиса (петли при вершинах опущены). Треугольник «ресурс–свойство–действие» наследует категориальный базис от треугольника А. И. Уёмова, показанного в центре фигуры на рис. 1. Непосредственное применение ядра «вещь–свойство–отношение» к анализу ЯПД затруднительно в силу нескольких причин [16], в связи с чем множество вещей ограничено вещами-ресурсами (ресурсами), поскольку прагматичны вещи из арсенала ЛПР для решения задач, а множество отношений — отношениями-действиями (действиями).

Концептуальный граф «Концептуальная модель выражений ЯПД» — визуальное представление схем ролевых концептуальных моделей [16] для конструирования знаков-высказываний VN в (3). Он дает простое и прозрачное структурирование внешнего мира, утверждая, что это есть мир ресурсов, действий, их свойств и девяти классов отношений «ресурс–ресурс», «действие–действие», «свойство–свойство», «ресурс–свойство» и «свойство–ресурс», «ресурс–действие» и «действие–ресурс», а также «действие–свойство» и «свойство–действие». Особенности этой модели — ролевой характер и инвариантность к специфике предметной области. На рис. 1 показано и расширение категориального ядра концептуального моделирования: мерами, значениями, состояниями, оценками, параметрами, характеристиками, именами.

Концептуально-визуальный базис — только один слой (уровень, аспект). Здесь существуют и внутриуровневые связи между базисными формами и лексемами, которые предстоит определить и формализовать. Над базисным уровнем (обозначен на рис. 2 номером один) конструируются семь уровней знаковых и графических высказываний, формирующих гетерогенное визуальное ядро и языковую оболочку. Межуровневые связи не показаны, чтобы не загромождать рисунок. Отношения для знаково-языковой оболочки ЯПД исследованы на примере нескольких предметных областей, а отношения в образно-визуальном ядре еще предстоит изучить и формализовать.

Универсального визуального языка для описания любой предметной области не существует, при решении практических задач необходимо их комбинировать и определять соответствия между элементами различных языков, насколько это возможно. В этой связи для моделирования визуально-образных рассуждений в ГиИС актуальна разработка гетерогенного визуального поля, обеспечивающего взаимодействие элементов ГиИС, рассуждающих на разных визуальных языках.



**Рис. 2** Гетерогенное визуально-образное ядро в гетерогенной знаково-языковой оболочке. Уровни знаковых и графических высказываний: 1 — концептуального и визуального базиса; 2 — о ресурсах, действиях и свойствах; 3 — об иерархиях ресурсов, действий, свойств; 4 — о пространственных и производственных структурах; 5 — о состоянии, ситуациях и событиях; 6 — о задачах и проблемах; 7 — о моделях рассуждений экспертов; 8 — об интегрированной модели рассуждений коллективного интеллекта

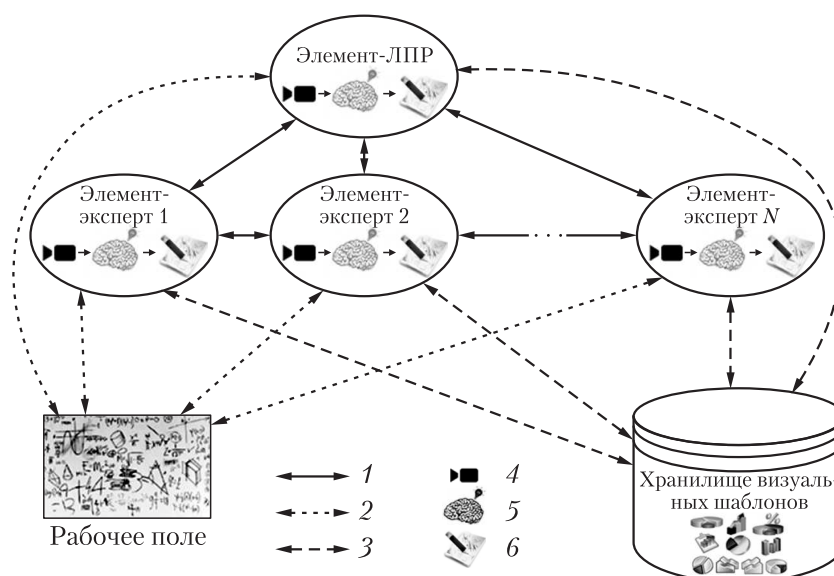
Формально гетерогенное визуальное поле может быть представлено в виде:

$$\begin{aligned}
 GVF &= \langle VL, COR^{VL} \rangle; \\
 VL &= \{vl_1, \dots, vl_{N_{VL}}\}; \\
 COR^{VL} &= \langle G^{VT}, G^{VS}, G^{VA}, G^{VP}, G^{v\tau}, G^{v\sigma}, G^{v\alpha}, G^{v\pi} \rangle; \\
 G_{ij}^{VT} : VT_i &\rightarrow VT_j, \quad G_{ij}^{VT} \subseteq G^{VT}; \\
 G_{ij}^{VS} : VS_i &\rightarrow VS_j, \quad G_{ij}^{VS} \subseteq G^{VS}; \\
 G_{ij}^{VA} : VA_i &\rightarrow VA_j, \quad G_{ij}^{VA} \subseteq G^{VA}; \\
 G_{ij}^{VP} : VP_i &\rightarrow VP_j, \quad G_{ij}^{VP} \subseteq G^{VP}; \\
 G_{ij}^{v\tau} : v\tau_i &\rightarrow v\tau_j, \quad G_{ij}^{v\tau} \subseteq G^{v\tau}; \\
 G_{ij}^{v\sigma} : v\sigma_i &\rightarrow v\sigma_j, \quad G_{ij}^{v\sigma} \subseteq G^{v\sigma}; \\
 G_{ij}^{v\alpha} : v\alpha_i &\rightarrow v\alpha_j, \quad G_{ij}^{v\alpha} \subseteq G^{v\alpha}; \\
 G_{ij}^{v\pi} : v\pi_i &\rightarrow v\pi_j, \quad G_{ij}^{v\pi} \subseteq G^{v\pi}, \quad i, j \in [1, N_{VL}], \quad i \neq j,
 \end{aligned}$$

где  $VL$  — множество визуальных языков гетерогенного визуального поля;  $COR^{VL}$  — множество соответствий элементов разных визуальных языков. Рассмотрим структуру ГиИС, рассуждающей над гетерогенным визуальным полем.

## 5 Модель визуальных рассуждений в гибридных интеллектуальных системах

Схема рассуждений над гетерогенным визуальным полем в ГиИС показана на рис. 3. Гибридная интеллектуальная система состоит из элемента-ЛПР, элементов-экспертов, хранилища визуальных шаблонов и рабочего поля, которые взаимодействуют, обмениваясь, помимо прочего, визуальной информацией. Эле-



**Рис. 3** Рассуждения над гетерогенным визуальным полем: 1 — отношение взаимодействия элементов; 2 — отношение взаимодействия элементов и рабочего поля; 3 — отношение взаимодействия элементов и хранилища визуальных шаблонов и образов; 4 — подсистема восприятия визуальной информации; 5 — подсистема рассуждений; 6 — подсистема генерации визуальной информации

мент-ЛПР моделирует работу реального ЛПР по декомпозиции задачи, распределению подзадач по элементам-экспертам в соответствии с их возможностями, интеграции частных решений элементов-экспертов. Последние представляют собой компьютерные модели знаний реальных экспертов, при этом, в отличие от элементов-экспертов классических ГиИС, они могут обмениваться визуальной информацией. Для этих целей в состав каждого элемента ГиИС помимо подсистемы рассуждений включены подсистемы восприятия и генерации визуальной информации.

Подсистема восприятия визуальной информации, «виртуальное зрение», распознает входящий визуальный образ. Далее данные поступают в подсистему рассуждений, обрабатываются методами искусственного интеллекта, моделирующими поведение и результат — мнение эксперта. Далее его решение поступает в подсистему генерации визуальной информации. Данная подсистема обращается к хранилищу визуальных шаблонов, содержащему все доступные в этой системе методы визуализации информации, их характеристики и классификации в соответствии с критериями [17], с целью выбрать релевантный шаблон визуализации решения. На основе шаблона генерируется визуальный образ и передается другим элементам ГиИС.

Элементы ГиИС с гетерогенным визуальным полем могут взаимодействовать и обмениваться визуальной информацией как напрямую друг с другом, так и через общее рабочее поле, представляющее собой «доску объявлений», доступную всем элементам. Вывешивая на нее свои частные решения, элементы ГиИС модифицируют первоначальную постановку задачи, меняют ее восприятие другими элементами, конструируют общее, интегрированное решение.

## **6 Заключение**

В работе рассмотрено понятие визуального языка, построена его формализованная модель, представлено описание концептуально-визуального базиса теории ролевых визуальных моделей. Предложена формальная модель гетерогенного визуального поля как основа для автоматизированного решения сложных задач с использованием визуальных образов и модель визуальных рассуждений в ГиИС над ним.

Использование предложенных моделей дает возможность реализовать ГиИС, способные динамически синтезировать интегрированную модель и метод над гетерогенными модельным и визуальным полями и имитировать сотрудничество, относительность и дополнительность коллективного интеллекта для поиска решений на символических и визуальных языках. Разработка таких ГиИС позволит получить новые теоретические, методологические и технологические знания о коллективном интеллекте по инфокоммуникационным технологиям визуального управления.

## **Литература**

1. *Колесников А. В., Листонад С. В.* Концептуально-визуальные основы виртуальных гетерогенных коллективов, поддерживающих принятие решений // Гибридные и синергетические интеллектуальные системы: Мат-лы III Всеросс. Поспеловской конф. с международным участием. — Калининград: БФУ им. И. Канта, 2016. С. 8–56.
2. *Сусов И. П.* Лингвистическая прагматика. — М.: Восток–Запад, 2006. 200 с.
3. *Mazza R.* Introduction to information visualization. — London, U.K.: Springer-Verlag, 2009. 139 p.
4. *Sibbet D.* Visual leaders: New tools for visioning, management, and organization change. — Hoboken, NJ, USA: Wiley, 2013. 229 p.
5. *Bowman W. J.* Graphic communication. — New York, NY, USA: John Wiley, 1968. 210 p.
6. *Narayanan N. H., Hubscher R.* Visual language theory: Towards a human–computer interaction perspective // Visual language theory. — New York, NY, USA: Springer-Verlag, 1998. P. 81–128.
7. *Fitriani S., Rothkrantz L. J. M.* Two-dimensional visual language grammar. [http://mmi.tudelft.nl/pub/siska/TSD\\_2DVisLangGrammar.pdf](http://mmi.tudelft.nl/pub/siska/TSD_2DVisLangGrammar.pdf).
8. *Lakin F.* Visual grammars for visual languages // 6th National Conference on Artificial Intelligence Proceedings. — Menlo Park, CA, USA: AAAI Press, 1987. P. 683–688.

9. *Kremer R.* Visual languages for knowledge representation. <http://ksi.cpsc.ucalgary.ca/KAW/KAW98/kremer>.
10. *Мишин А. В., Мишин С. А.* Состав логических компонент прагматики интеллектуальной системы // Вестник Воронежского института МВД России, 2014. № 3. С. 73–80.
11. *Тарасов В. Б.* Проблема понимания: настоящее и будущее искусственного интеллекта // Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем: Мат-лы V Междунар. научн.-технич. конф. — Минск: БГУИР, 2015. С. 25–42.
12. *Goddard L., Routley R.* The logic of signficance and context. — Edinburgh, U.K.: Scottish Academic Press, 1973. 641 p.
13. *Будбаева С. П., Пятницын Б. Н.* К исследованию и построению прагматических логик // Философия в современном мире. Философия и логика. — М.: Наука, 1974. С. 220–278.
14. *Ивин А. А.* Основы теории аргументации. — М.: ВЛАДОС, 1997. 352 с.
15. *Осипов Г. С.* От ситуационного управления к прикладной семиотике // Новости искусственного интеллекта, 2002. № 6(54). С. 3–7.
16. *Колесников А. В.* Гибридные интеллектуальные системы. Теория и технология разработки. — СПб.: СПбГУ, 2001. 711 с.
17. *Колесников А. В., Листопад С. В., Данишевский В. И., Суворов К. В.* Технологии визуального управления и когнитивной графики в функциональных гибридных интеллектуальных системах поддержки принятия решений // Гибридные и синергетические интеллектуальные системы: Мат-лы III Всеросс. Поспеловской конф. с международным участием. — Калининград: БФУ им. И. Канта, 2016. С. 166–173.

*Поступила в редакцию 15.09.16*

---

---

## VISUAL REASONING MODELING IN A FUNCTIONAL HYBRID INTELLIGENT SYSTEM

*A. V. Kolesnikov<sup>1,2</sup>, S. V. Listopad<sup>2</sup>, S. B. Rumovskaya<sup>2</sup>, and V. I. Danishevsky<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Immanuel Kant Baltic Federal University, 14 A. Nevskogo Str., Kaliningrad 236041, Russian Federation

<sup>2</sup>Kaliningrad Branch of the Federal Research Center “Computer Science and Control” of the Russian Academy of Sciences, 5 Gostinaya Str., Kaliningrad 236000, Russian Federation

**Abstract:** Hybrid intelligent systems have been successfully used to solve the problems with high modeling complexity due to combination of multiple methods of simulation of human intellectual activity and compensation of some methods’ shortcomings by advantages of the other. Most hybrid intelligent systems are based on the interaction of elements of the symbolic-logical model of knowledge, which limits their opportunities in comparison with the groups of experts,

operating character-logical and visual-imaginative knowledge. Modeling of the collective visual-imaginative reasoning is proposed for implementation in a new class of intelligent systems — hybrid intelligent systems with heterogeneous visual field. To implement such reasoning, the formalized model of visual languages, based on the concept of the semiotic system by D. A. Pospelov, and the principles of their combination in the heterogeneous visual field are proposed.

**Keywords:** hybrid intelligent system; heterogeneous visual field; visual language; semiotic system

**DOI:** 10.14357/08696527160409

## Acknowledgments

The research was supported by the Russian Foundation for Basic Research (project No. 16-07-00271a).

## References

1. Kolesnikov, A. V., and S. V. Listopad. 2016. Kontseptual'no-vizual'nye osnovy virtual'nykh geterogennykh kollektivov, podderzhivayushchikh prinyatie resheniy [Conceptual and visual basics of virtual heterogeneous teams supporting decision-making]. *Gibridnye i sinergeticheskie intellektual'nye sistemy: Mat-ly III Vseross. Pospelovskoy konf. s mezhdunarodnym uchastiem* [3rd All-Russia Pospelov Conference with International Participation “Hybrid and Synergistic Intelligent Systems” Proceedings]. Kaliningrad: IKBFU Publ. 8–56.
2. Susov, I. P. 2006. *Lingvisticheskaya pragmatika* [Linguistic pragmatics]. Moscow: Vostok–Zapad. 200 p.
3. Mazza, R. 2009. *Introduction to information visualization*. London: Springer-Verlag London Limited. 139 p.
4. Sibbet, D. 2013. *Visual leaders: New tools for visioning, management, and organization change*. Hoboken, NJ: Wiley. 229 p.
5. Bowman, W. J. 1968. *Graphic communication*. New York, NY: John Wiley. 210 p.
6. Narayanan, N. H., and R. Hubscher. 1998. Visual language theory: Towards a human–computer interaction perspective. *Visual language theory*. New York, NY: Springer-Verlag. 81–128.
7. Fitrianie, S., and L. J. M. Rothkrantz. Two-dimensional visual language grammar. Available at: <http://mmi.tudelft.nl/pub/siska/TSD2DVisLangGrammar.pdf> (accessed September 5, 2016).
8. Lakin, F. 1987. Visual grammars for visual languages. *6th National Conference on Artificial Intelligence Proceedings*. Menlo Park, CA: AAAI Press. 683–688.
9. Kremer, R. Visual languages for knowledge representation. Available at: <http://ksi.cpsc.ucalgary.ca/KAW/KAW98/kremer/> (accessed September 5, 2016).
10. Mishin, A. V., and S. A. Mishin. 2014. Sostav logicheskikh komponent pragmatiki intellektual'noy sistemy [The composition of the logical components of pragmatics of the intelligent system]. *Vestnik Voronezhskogo instituta MVD Rossii* [Vestnik of Voronezh Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia] 3:73–80.
11. Tarasov, V. B. 2015. Problema ponimaniya: nastoyashchee i budushchee iskusstvennogo intellekta [The problem of understanding: The present and the future of artificial



- intelligence]. *5th Scientific and Technical Conference (International) "Open Semantic Technologies for Intelligent Systems" Proceedings*. Minsk: BSUIR. 25–42.
12. Goddard, L., and R. Routley. 1973. *The logic of significance and context*. Edinburgh: Scottish Academic Press. 641 p.
  13. Budbaeva, S. P., and B. N. Pyatnitsyn. 1974. K issledovaniyu i postroeniyu pragmaticheskikh logik [On the study and construction of pragmatic logic]. *Filosofiya v sovremennom mire. Filosofiya i logika* [The philosophy of the modern world. Philosophy and logic]. Moscow: Nauka. 220–278.
  14. Ivin, A. A. 1997. *Osnovy teorii argumentatsii* [Fundamentals of the theory of argumentation]. Moscow: VLADOS. 352 p.
  15. Osipov, G. S. 2002. Ot situatsionnogo upravleniya k prikladnoy semiotike [From situational management to applied semiotics]. *Novosti iskusstvennogo intellekta* [Artificial Intelligence News] 6(54):3–7.
  16. Kolesnikov, A. V. 2001. *Gibridnye intellektual'nye sistemy. Teoriya i tekhnologiya razrabotki* [Hybrid intelligent systems: Theory and technology of development]. St. Petersburg: SPbGTU Publ. 711 p.
  17. Kolesnikov, A. V., S. V. Listopad, V. I. Danishevskiy, and K. V. Suvorov. 2016. Tekhnologii vizual'nogo upravleniya i kognitivnoy grafiki v funktsional'nykh gibridnykh intellektual'nykh sistemakh podderzhki prinyatiya resheniy [Visual management and cognitive graphics technologies in the functional hybrid intelligent decision support systems]. *Gibridnye i sinergeticheskie intellektual'nye sistemy: Mat-ly III Vseross. Pospelovskoy konf. s mezhdunarodnym uchastiem* [3rd All-Russia Pospelov Conference with International Participation "Hybrid and Synergistic Intelligent Systems" Proceedings]. Kaliningrad: IKBFU Publ. 166–173.

Received September 15, 2016

## Contributors

**Kolesnikov Alexander V.** (b. 1948) — Doctor of Sciences in technology; professor, Department of Telecommunications, Immanuel Kant Baltic Federal University, 14 A. Nevskogo Str., Kaliningrad 236041, Russian Federation; senior scientist, Kaliningrad Branch of the Federal Research Center “Computer Science and Control” of the Russian Academy of Sciences, 5 Gostinaya Str., Kaliningrad 236000, Russian Federation; avkolesnikov@yandex.ru

**Listopad Sergey V.** (b. 1984) — Candidate of Sciences (PhD) in technology; senior scientist, Kaliningrad Branch of the Federal Research Center “Computer Science and Control” of the Russian Academy of Sciences, 5 Gostinaya Str., Kaliningrad 236000, Russian Federation; ser-list-post@yandex.ru

**Rumovskaya Sophiya B.** (b. 1985) — programmer I, Kaliningrad Branch of the Federal Research Center “Computer Science and Control” of the Russian Academy of Sciences, 5 Gostinaya Str., Kaliningrad 236000, Russian Federation, sophiyabr@gmail.com

**Danishevsky Vladislav I.** (b. 1992) — PhD student, Immanuel Kant Baltic Federal University, 14 A. Nevskogo Str., Kaliningrad 236041, Russian Federation, danishevskii.v.i@mail.ru

## АЛГОРИТМИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ОПТИМИЗАЦИОННОЙ ЗАДАЧИ ДОСТАВКИ ГРУЗА ВОДНЫМ ТРАНСПОРТОМ

*Е. М. Бронштейн<sup>1</sup>, И. Е. Копылов<sup>2</sup>*

**Аннотация:** Рассматривается задача построения оптимального маршрута доставки однородного груза от семейства производителей семейству потребителей судном ограниченной вместимости при расположении пунктов производства и потребления на разных берегах реки. Задачи такого типа возникают, в частности, при доставке питания и предметов первой необходимости жертвам наводнения. Построена соответствующая математическая модель. Для решения предложено несколько алгоритмов (точный алгоритм ветвей и границ, жадный алгоритм и два оригинальных эвристических алгоритма, учитывающих специфику задачи). С помощью разработанного программного продукта проведен вычислительный эксперимент на модельных данных, который позволил провести сравнительный анализ эффективности алгоритмов. Эвристические алгоритмы позволили находить решение при числе пунктов, равном 50.

**Ключевые слова:** транспортная логистика; оптимизация; эвристики; алгоритм ветвей и границ

**DOI:** 10.14357/08696527160410

### 1 Введение

В статье рассматривается задача доставки однородного груза в ситуации, когда пункты производства находятся на одном берегу реки, а пункты потребления — на другом. В частности, такая ситуация возникает при необходимости доставки грузов пострадавшим от наводнения, когда пункты с грузом находятся на высоком незатопленном берегу реки, а пункты потребления — населенные пункты, пострадавшие от наводнения, — находятся на другом берегу.

В рассматриваемой ситуации есть потребность в алгоритмическом и программном обеспечении, которое позволит рассчитать минимальную длину маршрута для скорейшей доставки грузов пострадавшим. Конечными пользователями могут выступать службы, отвечающие за устранение последствий чрезвычайных ситуаций. Подобная задача в доступной авторам литературе не рассматривалась.

Сформулированная задача является комбинацией двух известных.

Первая — задача коммивояжера со специальным расположением пунктов. В [1] исследована задача с расположением пунктов на нескольких гладких кривых. В [2] предполагалось расположение пунктов на осях  $x$  и  $y$  евклидовой

<sup>1</sup>Уфимский государственный авиационный технический университет, bro-efim@yandex.ru

<sup>2</sup>Уфимский государственный авиационный технический университет, kopilya@gmail.com

плоскости. В [3–6] рассмотрена задача коммивояжера, в которой пункты располагаются на нескольких параллельных линиях.

Вторая исходная задача — вариант задачи VRP (vehicle routing problem), в котором оптимизируется маршрут доставки однородного груза от множества производителей к множеству потребителей при ограничении на вместимость транспортного средства (см., например, [7]). С 1959 г., когда впервые была поставлена задача VRP [8], сформулировано множество подобных задач, в которых учитывались различные ограничения, в том числе на вместимость транспортного средства, на число транспортных средств, на время доставки грузов, на расположение пунктов и т. д. В [9] рассмотрена задача маршрутизации с расположением пунктов на окружности без ограничения на вместимость транспортного средства. В [10] рассмотрена задача, в которой пункты находились на одной дороге (в том числе на кольцевой). Классификация оптимизационных задач транспортной логистики приведена в [11].

Целью работы является формализация задачи, разработка алгоритмического обеспечения и сравнительный анализ эффективности одного точного и нескольких эвристических алгоритмов.

## 2 Математическая модель

Предполагается, что судно начинает движение с базы (один из пунктов производства). После доставки грузов судно должно вернуться на базу. Вместимость судна ограничена. Операции загрузки и выгрузки являются весьма трудоемкими, поэтому обслуживание каждого пункта (т. е. загрузка в пункте производства и разгрузка в пункте потребления) производится один раз.

Судно может забирать груз из пункта производства, если оно не догружено на соответствующий объем груза. Естественно, выгрузку в пункте потребления можно производить, если груза на судне достаточно. Предполагается, что судно может проходить вдоль любого из берегов и пересекать реку по любому прямолинейному отрезку. Последнее условие можно ослабить. Если по тем или иным причинам прямолинейное пересечение невозможно, то можно использовать допустимые расстояния между пунктами, при этом методы решения не требуют изменений.

Пусть общее число пунктов равно  $n$  (считаем базу нулевым пунктом), в том числе  $p$  пунктов производства и  $(n - p)$  пунктов потребления;  $t(i)$  — координата  $i$ -го пункта вдоль береговой линии (полагаем, что база имеет координату 0),  $w$  — ширина реки.

Расстояние  $c_{ij}$  между  $i$ -м и  $j$ -м пунктами вычисляется следующим образом:

$$c_{ij} = \begin{cases} |t(i) - t(j)|, & \text{если } 0 \leq i, j < p \text{ или } p \leq i, j < n; \\ \sqrt{(t(i) - t(j))^2 + w^2}, & \text{если } 0 \leq i < p, p \leq j < n \\ & \text{или } p \leq i < n, 0 \leq j \leq p. \end{cases}$$

Вес груза (или потребность в грузе) в  $i$ -м пункте обозначим через  $a(i)$ :  $a(i) > 0$ , если  $i$ -й пункт — пункт производства, т. е. при  $i < p$ ;  $a(i) < 0$ , если  $i$ -й пункт — пункт потребления, т. е. при  $p \leq i$ .

Считаем, что задача сбалансирована ( $\sum_{i=0}^n a(i) = 0$ ). Вместимость судна обозначим через  $Q$ .

Задача коммивояжера с расположением пунктов на нескольких гладких кривых полиномиально разрешима [1]. В то же время рассматриваемая задача относится к классу NP-трудных. В частности, NP-полной является задача распознавания возможности доставки.

Для доказательства отметим, что за полиномиальное время можно проверить возможность доставки по заданному маршруту, т. е. задача относится к классу NP.

Для доказательства NP-полноты воспользуемся методом сужения [12, с. 85], т. е. выделим подкласс рассматриваемых задач, который совпадает с известной NP-полной задачей. Воспользуемся для этого задачей «3-разбиение» [12, с. 383]. Сужение заключается в организации доставки грузов из одного пункта производства судном вместимости  $S$  в  $3m$  пунктов, потребность в каждом из которых принадлежит интервалу  $(S/4, S/2)$ . Возможность доставки равносильна существованию разбиения множества чисел на тройки с равными суммами — задача «3-разбиение», которая относится к классу NP-полных в сильном смысле.

Пусть  $k$  — номер пункта в порядке прохождения ( $k = 0, 1, \dots, n$ ),  $i(k)$  — исходный номер пункта. Необходимо найти последовательность обслуживания пунктов, минимизирующую путь судна.

Должны выполняться следующие условия:

- (1)  $i(0) = 0$  (движение начинается от базы);
- (2)  $0 \leq \sum_{k=0}^s a[i(k)] \leq Q$  ( $s = 0, 1, \dots, n - 1$ ) (ограничение на вместимость);
- (3)  $i(k) \neq i(s)$  для  $k \neq s$  ( $k, s = 0, 1, \dots, n - 1$ ) (каждый пункт обслуживается один раз);
- (4)  $\sum_{k=0}^{n-1} c_{i(k), i(k+1)} + c_{i(n), 0} \rightarrow \min$  (длина маршрута должна быть минимальной).

При произвольных исходных данных задача может не иметь решения. Для задачи с произвольным расположением пунктов в [7] доказано, что при выполнении условия  $Q \geq 2 \max_i |a(i)|$  задача имеет решение. Эта оценка в общем случае не улучшаемая — в том смысле, что для любого  $\varepsilon > 0$  существуют такие величины  $n, a(1), \dots, a(n)$ , при которых доставка грузов невозможна при вместимости транспортного средства  $2(1 - \varepsilon) \max_i |a(i)|$ . В [7] также доказано, что при вместимости  $2 \max_i |a(i)|$  любой допустимый маршрут, содержащий не все пункты, может быть продолжен.

### 3 Алгоритмы решения задачи

Для решения задачи в работе применяются один точный и три эвристических алгоритма. В качестве точного используется алгоритм ветвей и границ, который известен с 1960 г. и применяется для решения разнообразных задач целочисленного программирования. Также применяется известный жадный алгоритм. Предложенные в статье алгоритмы последовательной загрузки используют специфику поставленной задачи.

#### 3.1 Алгоритм ветвей и границ

Априорная верхняя граница находится с помощью алгоритма последовательной загрузки без изменения направления движения судна (см. подразд. 3.3). В алгоритме используется стек ветвей (поиск в глубину по дереву путей). Вначале формируется одна ветвь решения: текущий пункт, где находится судно, — база, следующий обслуживаемый пункт не задан, длина маршрута равна нулю, стек ветвей пустой.

Операция «рассчитать длину маршрута» в текущей ветви решения к длине маршрута прибавляет расстояние между текущим пунктом и следующим обслуживаемым пунктом.

1. Обслужить текущий пункт.
2. Найти все пункты, которые можно обслужить. Если ни один пункт не найден, перейти к шагу 7.
3. Для каждого найденного пункта создать ветвь решения, в которой найденный пункт — следующий обслуживаемый пункт. Все новые ветви решения добавить в стек. Вычеркнуть данную ветвь из рассмотрения.
4. Если в стеке есть ветви, то извлечь из стека последнюю добавленную ветвь и перейти к шагу 5. Иначе конец.
5. Рассчитать длину маршрута. Следующий обслуживаемый пункт сделать текущим пунктом.
6. Если длина маршрута превышает верхнюю границу, ветвь исключить из рассмотрения, перейти к шагу 4. Иначе перейти к шагу 1.
7. В качестве следующего обслуживаемого пункта установить базу, рассчитать длину маршрута.
8. Если длина маршрута меньше верхней границы, присвоить верхней границе значение, равное длине маршрута.
9. Маршрут сохранить в памяти. Вычеркнуть данную ветвь из рассмотрения. Перейти к шагу 3.

### 3.2 Жадный алгоритм

На нулевом шаге забирается груз с базы. В жадном алгоритме (greedy algorithm) на каждом шаге делается выбор, который является лучшим в данный момент (локальная оптимизация) [13, 14], т. е. судно движется в ближайший пункт производства или потребления, который может обслужить. После обслуживания всех пунктов судно возвращается на базу.

### 3.3 Алгоритм последовательной загрузки без изменения направления движения судна

Устанавливается направление движения судна вдоль берега по возрастанию или убыванию координаты  $t(i)$ .

На нулевом шаге с базы забирается груз.

1. Если из соседнего пункта производства по направлению движения груз можно забрать, судно обслуживает этот пункт, возврат к шагу 1.
  - 1.1 Ведется поиск ближайшего пункта производства по направлению движения, который можно обслужить. Если пункт найден, он обслуживается, переход к шагу 1.
  - 1.2 Ищется ближайший пункт потребления по направлению движения, в который можно доставить груз. Если пункт потребления не найден, меняем направление движения, переход к шагу 1.
2. Если в соседний пункт потребления по направлению движения можно доставить груз, судно обслуживает этот пункт, возврат к шагу 2.
  - 2.1 Ведется поиск ближайшего пункта потребления по направлению движения, который можно обслужить. Если пункт найден, он обслуживается, переход к шагу 2.
  - 2.2 По направлению движения ищется ближайший пункт производства, из которого можно забрать груз. Если пункт производства не найден, меняем направление движения, переход к шагу 2. Если пункт найден, переход к шагу 1.

### 3.4 Алгоритм последовательной загрузки с изменением направления движения судна

Устанавливается направление движения судна вдоль берега по возрастанию или убыванию координаты  $t(i)$ .

На нулевом шаге с базы забирается груз.

1. Если из соседнего пункта производства по направлению движения можно забрать груз, судно направляется в него и обслуживает, возврат к шагу 1.
  - 1.1. Ведется поиск ближайшего пункта производства по направлению движения, который можно обслужить. Если пункт найден, он обслуживается, переход к шагу 1.

- 1.2. Ищется ближайший пункт потребления в направлении, противоположном направлению движения судна (в алгоритме 3.3 поиск пункта ведется по направлению движения), в который можно доставить груз. Если пункт потребления не найден, меняем направление движения, переход к шагу 1.
2. Если в соседний пункт потребления по направлению движения можно доставить груз, судно обслуживает этот пункт, переход к шагу 2.
  - 2.1. Ведется поиск ближайшего пункта потребления по направлению движения, который можно обслужить. Если пункт найден, он обслуживается, переход к шагу 2.
  - 2.2. В направлении, противоположном направлению движения судна, ищется ближайший пункт производства, из которого можно забрать груз (в алгоритме 3.3 поиск пункта ведется по направлению движения). Если пункт производства не найден, меняем направление движения, переход к шагу 2. Если пункт найден, переход к шагу 1.

#### 4 Вычислительный эксперимент

Описанные алгоритмы были реализованы с помощью языка *c#*. Эксперимент проводился на компьютере с процессором Intel Core i7-3612QM CPU 2.10 ГГц с оперативной памятью 8 ГБ.

Решалось по 30 случайно сгенерированных примеров для числа пунктов от 5 до 50. Задачи с числом пунктов, превышающим 17, решить алгоритмом ветвей и границ не удалось из-за переполнения оперативной памяти персонального компьютера, поэтому для 20, 30, 40 и 50 пунктов проводился сравнительный анализ только эвристических алгоритмов. Во всех примерах полагалось, что  $Q = 2 \max_i |a(i)|$ , т. е. минимальному значению, при котором задача наверняка имеет решение.

##### 4.1 Генерация примеров

В диапазоне от  $-20$  до  $+20$  случайно генерировались значения веса груза для  $(n - 1)$  пункта. Вес груза для  $n$ -го пункта определялся из балансового соотношения.

Координата  $t(i)$  каждого пункта генерировалась случайным образом в диапазоне  $[-2n, 2n]$ , где  $n$  — число пунктов. Координата базы равнялась 0. Ширина реки выбиралась случайно из диапазона  $[10, 20]$ .

##### 4.2 Результаты вычислительного эксперимента

Результаты эксперимента представлены в табл. 1 и 2. Данные в таблицах — средние значения времени работы программы и отклонения значений целевой функции от эталона. В табл. 1 за эталонные приняты результаты, полученные при использовании алгоритма ветвей и границ.

Результаты эксперимента для 5–17 пунктов представлены в табл. 1.

Для числа пунктов 20, 30, 40, 50 использовались только эвристические алгоритмы. Жадный алгоритм в среднем дал лучшие результаты, они были приняты за эталонные.

Результаты эксперимента для числа пунктов 20–50 представлены в табл. 2.

**Таблица 1** Результаты эксперимента для числа пунктов, не превышающего 17

Число пунктов	Алгоритмы	3.1	3.2	3.3	3.4
5	Время, с	0,3	0,0016	0,0001	0,0001
	Отклонение результатов, %	0	7,54	3,12	6,56
6	Время, с	0,3	0,0015	0,0003	0,0003
	Отклонение результатов, %	0	10,25	3,92	7,69
7	Время, с	0,32	0,0015	0,0003	0,0003
	Отклонение результатов, %	0	13,20	4,02	9,47
8	Время, с	0,42	0,0015	0,0005	0,0005
	Отклонение результатов, %	0	13,10	2,88	11,23
9	Время, с	1,29	0,0013	0,0007	0,0007
	Отклонение результатов, %	0	12,65	6,17	13,79
10	Время, с	3,24	0,0015	0,0031	0,0035
	Отклонение результатов, %	0	14,72	6,25	14,94
11	Время, с	5,81	0,0016	0,0034	0,0034
	Отклонение результатов, %	0	14,42	14,37	27,57
12	Время, с	5,13	0,0016	0,0012	0,0012
	Отклонение результатов, %	0	17,83	8,72	14,28
13	Время, с	35,11	0,0015	0,0035	0,0034
	Отклонение результатов, %	0	20,91	10,10	21,09
14	Время, с	119,97	0,0018	0,0013	0,0012
	Отклонение результатов, %	0	15,32	10,71	19,54
15	Время, с	513,05	0,0012	0,0055	0,0033
	Отклонение результатов, %	0	21,27	19,86	35,26
16	Время, с	1773,41	0,0013	0,0037	0,0048
	Отклонение результатов, %	0	23,91	17,82	31,02
17	Время, с	6428,2	0,0015	0,0024	0,0013
	Отклонение результатов, %	0	20,71	21,05	31,06

**Таблица 2** Результаты эксперимента для 20, 30, 40 и 50 пунктов

Число пунктов	Алгоритмы	3.2	3.3	3.4
20	Время, с	0,14	0,0015	0,0051
	Отклонение результатов, %	0	0,35	17,67
30	Время, с	0,21	0,0089	0,0016
	Отклонение результатов, %	0	8,92	15,46
40	Время, с	0,30	0,0019	0,0052
	Отклонение результатов, %	0	22,13	42,09
50	Время, с	0,37	0,0083	0,0051
	Отклонение результатов, %	0	23,20	40,12



## 5 Заключение

В работе предложены алгоритмы построения оптимального маршрута доставки однородного груза судном с ограниченной вместимостью для пунктов производства и потребления, расположенных на двух параллельных берегах реки. Разработан программный продукт, который на основе предложенных алгоритмов позволяет решать поставленную задачу доставки груза в конкретных условиях.

На сгенерированных исходных данных проведен масштабный вычислительный эксперимент для сравнительного анализа эффективности применения алгоритма ветвей и границ, жадного алгоритма, алгоритмов последовательной загрузки без изменения направления движения судна и с изменением направления движения судна.

Для числа пунктов, не превышающего 17, наименьшее отклонение длины пути от полученного алгоритмом ветвей и границ дал алгоритм последовательной загрузки без изменения направления движения судна. По времени работы эвристические алгоритмы показали близкие результаты.

При числе пунктов, равном 20, 30, 40, 50, жадный алгоритм дал лучшие результаты, нежели другие эвристики, уступая им по времени работы. Алгоритм без изменения направления в среднем показал более высокое качество решения относительно альтернативного с изменением направления, несколько уступая по времени.

## Литература

1. Rubinstein J. H., Thomas D. A., Wormald N. C. A polynomial algorithm for a constrained traveling salesman problem // *Networks*, 2001. Vol. 38. No. 2. P. 68–75.
2. Cela E., Deineko V., Gerhard J. W. The  $x$ -and- $y$ -axes travelling salesman problem // *Eur. J. Oper. Res.*, 2012. Vol. 223. No. 2. P. 333–345.
3. Cutler M. Efficient special case algorithms for the N-line planar traveling salesman problem // *Networks*, 1980. Vol. 10. No. 3. P. 183–195.
4. Rote G. The N-line traveling salesman problem // *Networks*, 1992. Vol. 22. No. 1. P. 91–108.
5. Deineko V., van Dal R., Rote G. The convex-hull-and-line traveling salesman problem: A solvable case // *Inform. Proc. Lett.*, 1994. Vol. 51. No. 3. P. 141–148.
6. Deineko V., Woeginger G. The convex-hull-and-line traveling salesman problem // *Inform. Proc. Lett.*, 1996. Vol. 59. No. 6. P. 295–301.
7. Бронштейн Е. М., Гиндуллин П. В. Об одном классе задач маршрутизации // *Математическое моделирование*, 2011. Т. 23. № 6. С. 123–122.
8. Dantzig G. B., Ramser J. H. The truck dispatching problem // *Manag. Sci.*, 1959. Vol. 6. No. 1. P. 80–91.
9. Gendreau M., Laporte G., Vigo D. Heuristics for the traveling salesman problem with pickup and delivery // *Comput. Oper. Res.*, 1999. Vol. 26. No. 7. P. 699–714.

10. *Бронштейн Е. М., Копылов И. Е.* Оптимизационная задача транспортной логистики с простыми маршрутами передвижения // Информационные технологии, 2015. Т. 21. № 9. С. 662–665.
11. *Бронштейн Е. М., Заико Т. А.* Детерминированные оптимизационные задачи транспортной логистики // Автоматика и телемеханика, 2010. Вып. 10. С. 133–147.
12. *Гэри М., Джонсон Д.* Вычислительные машины и труднорешаемые задачи / Пер. с англ. — М.: Мир, 1982. 416 с. (*Garey M. R., Johnson D. S.* Computers and intractability: A guide to the theory of NP-completeness. — W. H. Freeman, 1979. 338 p.)
13. *Кормен Т., Лейзерсон Ч., Ривест Р., Штайн К.* Алгоритмы: построение и анализ / Пер. с англ. — М.: Вильямс, 2005. 1296 с. (*Cormen T. H., Leiserson Ch. E., Rivest R. L., Stein C.* Introduction to algorithms. — 2nd ed. — MIT Press and McGraw-Hill, 2001. 1184 p.)
14. *Сигал И. Х., Иванова А. П.* Введение в прикладное дискретное программирование: модели и вычислительные алгоритмы. — М.: Физматлит, 2007. 304 с.

*Поступила в редакцию 21.03.16*

---

---

## ALGORITHMIC SOFTWARE OF THE OPTIMIZATION PROBLEM FOR CARGO DELIVERING BY WATER TRANSPORT

*E. M. Bronshtein and I. E. Kopylov*

Ufa State Aviation Technical University, 12 K. Marx Str., Ufa 450000, Russian Federation

**Abstract:** The paper considers the problem of constructing an optimal route of homogeneous cargo delivery from a family of producers to a family of consumers with the location of points on two riverbanks by a ship with limited capacity. Problems of this type arise, in particular, for the delivery of food and essential items to flood victims. The corresponding mathematical model is constructed. Several algorithms are suggested for solution of this problem (the exact algorithm of branch and bound, the greedy algorithm and two original heuristic algorithms that take into account the specific features of the problem). A computer experiment on simulated data was conducted using the developed software. A comparative analysis of the efficiency of the algorithms was conducted by the experiment. Heuristic algorithms make it possible to solve the problem with the number of points equal to 50.

**Keywords:** transportation logistics; optimization; heuristic methods; branch and bound method; greedy algorithm

**DOI:** 10.14357/08696527160410

## References

1. Rubinstein, J. H., D. A. Thomas, and N. C. Wormald. 2001. A polynomial algorithm for a constrained traveling salesman problem. *Networks* 38:68–75.
2. Cela, E., V. Deineko, and J. W. Gerhard. 2012. The  $x$ -and- $y$ -axes travelling salesman problem. *Eur. J. Oper. Res.* 223:333–345.
3. Cutler, M. 1980. Efficient special case algorithms for the N-line planar traveling salesman problem. *Networks* 10:183–195.
4. Rote, G. 1992. The N-line traveling salesman problem. *Networks* 22:91–108.
5. Deineko, V., R. Van Dal, and G. Rote. 1994. The convex-hull-and-line traveling salesman problem: A solvable case. *Inform. Proc. Lett.* 51:141–148.
6. Deineko, V., and G. Woeginger. 1996. The convex-hull-and-line traveling salesman problem. *Inform. Proc. Lett.* 59:295–301.
7. Bronshtein, E. M., and R., V. Gindullin. 2011. Ob odnom klasse zadach marshrutizatsii [On a class of routing problems]. *Matematicheskoe modelirovanie* [Mathematical Modeling] 23:123–122.
8. Dantzig, G. B., and J. H. Ramser. 1959. The truck dispatching problem. *Manag. Sci.* 6:80–91.
9. Gendreau, M., G. Laporte, and D. Vigo. 1999. Heuristics for the traveling salesman problem with pickup and delivery. *Comput. Oper. Res.* 26:699–714.
10. Bronshtein, E. M., and I. E. Kopylov. 2015. Optimizatsionnaya zadacha transportnoy logistiki s prostymi marshrutami peredvizheniya [An optimization problem of transport logistics with simple routes of movement]. *Informatsionnye tekhnologii* [Information Technology] 9:662–665.
11. Bronshtein, E. M., and T. A. Zaiko. 2010. Determinirovannye optimizatsionnye zadachi transportnoy logistiki [Deterministic optimization of transport logistics tasks]. *Avtomatika i Telemekhanika* [Automation and Remote Control] 10:133–147.
12. Garey, M. R., and D. S. Johnson. 1979. *Computers and intractability: A guide to the theory of NP-completeness*. W. H. Freeman. 338 p.
13. Cormen, T. H., C. E. Leiserson, R. L. Rivest, and C. Stein. 2001. *Introduction to algorithms*. 2nd ed. MIT Press and McGraw-Hill. 1184 p.
14. Sigal, I. Kh., and A. P. Ivanova. 2007. *Vvedenie v prikladnoe diskretnoe programmirovaniye: Modeli i vychislitel'nye algoritmy* [An introduction to applied discrete programming: Models and computational algorithms]. Moscow: Fizmatlit. 304 p.

Received March 21, 2016

## Contributors

**Bronshtein Efim M.** (b. 1946) — Doctor of Science in physics and mathematics; professor, Ufa State Aviation Technical University, 12 K. Marx Str., Ufa 450000, Russian Federation; bro-efim@yandex.ru

**Kopylov Ilya E.** (b. 1989) — PhD student, Ufa State Aviation Technical University, 12 K. Marx Str., Ufa 450000, Russian Federation; kopilya@gmail.com

## КРОССЛИНГВИСТИЧЕСКАЯ БАЗА ДАННЫХ ДЛЯ АННОТИРОВАНИЯ ЛОГИКО-СЕМАНТИЧЕСКИХ ОТНОШЕНИЙ В ТЕКСТЕ\*

*А. А. Дурново<sup>1</sup>, И. М. Зацман<sup>2</sup>, Е. Ю. Лоцилова<sup>3</sup>*

**Аннотация:** Рассматривается задача проектирования кросслингвистической базы данных (КБД) для аннотирования показателей логико-семантических отношений (ЛСО) между частями предложений, предложениями и фрагментами параллельных текстов на двух и более языках. Одной из целей ее проектирования является информационно-компьютерное обеспечение построения лингвистами классификационной схемы ЛСО, которая не зависит от языка, на котором тексты написаны. Особенность рассматриваемой задачи проектирования заключается в том, что лингвисты аннотируют ЛСО с использованием рубрик некоторого списка (в общем случае, классификационной схемы), который формируется в процессе аннотирования с помощью КБД. По своим функциям эта база данных относится к категории надкорпусных. Ее экспериментальный вариант позволил лингвистам сформировать одновременно и несколько тысяч аннотаций, и список рубрик, используемых в процессе аннотирования.

**Ключевые слова:** кросслингвистическая база данных; аннотирование; параллельные тексты; корпусная лингвистика; логико-семантические отношения

**DOI:** 10.14357/08696527160411

### 1 Введение

Проектирование КБД для аннотирования показателей ЛСО между частями предложений, предложениями и фрагментами параллельных текстов является одной из задач проекта «Логическая структура текста: контрастивный анализ способов выражения логико-семантических отношений в русском, французском и итальянском языках», который в настоящее время выполняется в Институте проблем информатики ФИЦ ИУ РАН. Одной из целей ее проектирования и последующего аннотирования является построение классификационной схемы

\* Исследование выполнено в ФИЦ ИУ РАН при поддержке Российского научного фонда (проект 16-18-10004).

<sup>1</sup> Институт проблем информатики Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук, duralex49@mail.ru

<sup>2</sup> Институт проблем информатики Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук, izatsman@yandex.ru

<sup>3</sup> Институт проблем информатики Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук, lena0911@mail.ru

ЛСО, включая временные, причинные, противительные, соединительные, сопоставительные, условные, мереологические и другие виды отношений, которая не зависит от языка, на котором написан текст. Об актуальности построения такой схемы говорит сам факт разработки стандарта ISO по схеме и методике аннотирования ЛСО [1, 2].

Применяемые в компьютерной лингвистике подходы к построению классификационных схем ЛСО и других исследуемых языковых объектов (явлений) можно условно разделить на две основные категории в зависимости от основной цели и способов построения схем. В подходах первой категории ставится задача построения или уточнения классификационной схемы в процессе семантического аннотирования исследуемых языковых объектов (ЯО), например лингвоспецифичных единиц, глагольных конструкций или коннекторов как средств выражения ЛСО [3–8]. Такие методы будем называть экспертными. Аннотирование выполняется коллективом лингвистов в процессе семантического анализа текстов некоторого корпуса, который может быть моно- или полиязычным, в целях построения или уточнения классификационной схемы ЛСО [9–11] или других видов ЯО.

При использовании существующих экспертных подходов к построению классификационных схем до начала аннотирования ЯО выбирается тот или иной исходный вариант перечня рубрик, обозначающих виды ЯО. После завершения работ по аннотированию выбранный перечень уточняется, но в процессе аннотирования он остается неизменным [12]. Возможность не уточнения, а формирования списка или схемы рубрик с «чистого листа» непосредственно в процессе аннотирования исследуемых ЛСО или других видов ЯО является отличительной чертой проектируемой КБД.

В подходах второй категории ставится задача автоматического, т. е. без участия эксперта, извлечения классификационных схем из текстов. С этой целью создаются программы для анализа текстовых фрагментов, в том числе на основе методик, правил или алгоритмов, полученных в рамках подходов первой категории. Иначе говоря, подходы второй категории, которые будем называть компьютерными, создаются, как правило, на основе методов извлечения, представления и организации конвенциональных и новых лингвистических знаний, разработанных в процессе семантического анализа текстов [13–15].

Каждый из двух подходов (экспертный и компьютерный) может быть, в свою очередь, разделен на две подкатегории: одноязычный и многоязычный. Вторая подкатегория предполагает проведение контрастного анализа параллельных текстов на двух или более языках с помощью экспертных или компьютерных технологий. Пример экспертного многоязычного подхода к аннотированию параллельных текстов на пяти языках рассмотрен в работе [11], где анализируются четыре коннектора английского языка: *although*, *because*, *also* и *if*, — а также способы их перевода на нидерландский, немецкий, французский и испанский языки. Предлагаемый подход к аннотированию параллельных текстов с целью классификации ЛСО отличается тем, что заранее не фиксируется список ис-

следуемых коннекторов как средств выражения ЛСО. Это возможно благодаря тому, что в предлагаемом подходе список или схема рубрик для видов ЛСО являются открытыми и пополняемыми лингвистами с помощью КБД. Иначе говоря, у лингвистов имеется возможность добавить новый исследуемый коннектор и/или новый вид ЛСО.

Основная цель статьи заключается в описании:

- предлагаемого подхода к проектированию КБД;
- разработанного варианта КБД и результатов эксперимента по аннотированию ЛСО с его помощью.

Следующий раздел содержит краткое описание наиболее близкого аналога КБД и обзор основных положений предлагаемого подхода. В третьем разделе рассматривается разработанный вариант КБД, иллюстрирующий ее отличительные черты, и затем следует заключение.

## 2 Аннотированные корпуса и надкорпусные базы данных

Наиболее близким аналогом КБД является аннотированный корпус текстов на английском языке Penn Discourse Treebank (PDTB) [9]. Он был разработан для исследования ЛСО и средств их выражения как внутри предложения, так и между предложениями. Лингвистами было выполнено аннотирование текстов этого корпуса, содержащего выборку статей Wall Street Journal, объем которой превышает 1 млн словоупотреблений.

В результате аннотирования всего было описано 18 459 случаев с явно выраженными ЛСО и 16 224 случаев с неявными ЛСО. При этом учитывалось, что многие коннекторы полисемичны, т. е. один и тот же коннектор может быть средством выражения более одного вида отношений (табл. 1).

Виды ЛСО помечались в процессе аннотирования с помощью специальных меток (тегов) отношений. Все метки видов ЛСО образуют трехуровневую иерархию рубрик (рис. 1). В процессе аннотирования учитывались случаи, когда невозможно однозначно определить отношение, выражаемое многозначным коннектором. Например, с помощью этой системы эксперты аннотировали три разных вида ЛСО, выраженных с помощью *since*, включая случай многозначности коннектора [9].

Методика аннотирования из работы [3], которая применялась при обработке английских текстов корпуса PDTB, использовалась и для текстов на других языках. С помощью этой методики было проведено аннотирование кроме английского еще пяти корпусов текстов: на арабском, китайском, турецком, чешском языках, а также на хинди [10].

В предыдущем разделе были отмечены две основные отличительные черты, которыми должен обладать предлагаемый подход к проектированию КБД для аннотирования ЛСО и их показателей с точки зрения лингвистов как ее пользователей:

**Таблица 1** Десять наиболее полисемичных коннекторов английского языка и соответствующие им ЛСО [9] (в скобках указана частотность вида ЛСО в корпусе PDTB)

Коннектор	ЛСО
After	Succession (523), succession-reason (50), other (4)
Since	Reason (94), succession (78), succession-reason (10), other (2)
When	Synchrony (477), succession (157), general (100), succession-reason (65), synchrony-general (50), synchrony-reason (39), hypothetical (11), implicit assertion (11), synchrony-hypothetical (10), other (69)
While	Juxtaposition (182), synchrony (154), contrast (120), expectation (79), opposition (78), conjunction (39), synchrony-juxtaposition (26), synchrony-conjunction (21), synchrony-contrast (22), comparison (18), synchrony-opposition (11), other (31)
Meanwhile	Synchrony-conjunction (92), synchrony (26), conjunction (25), synchrony-juxtaposition (15), other (35)
But	Contrast (1609), juxtaposition (636), contra-expectation (494), comparison (260), opposition (174), conjunction (63), conjunction-pragmatic contrast (14), pragmatic-contrast (14), other (32)
However	Contrast (254), juxtaposition (89), contra-expectation (70), comparison (49), opposition (31), other (12)
Although	Expectation (132), contrast (114) juxtaposition (34), contra-expectation (21), comparison (16), opposition (9), other (2)
And	Conjunction (2543), list (210), result-conjunction (138), result (38), precedence-conjunction (30), juxtaposition (11), other (30)
If	Hypothetical (682), general (175), unreal present (122), factual present (73), unreal past (53), expectation (34), implicit assertion (29), relevance (20), other (31)

- (1) возможность формирования перечня рубрик с «чистого листа» непосредственно в процессе аннотирования исследуемых ЛСО и коннекторов как лексических средств их выражения;
- (2) возможность заранее не фиксировать и пополнять список исследуемых коннекторов.

Концепция проектированию КБД как частного случая надкорпусной базы данных (НБД) была выбрана исходя из этих двух положений, а также из необходимости аннотирования ЛСО в параллельных текстах на двух и более языках.

Для наполнения КБД использовались уже выровненные параллельные тексты Национального корпуса русского языка с морфологической разметкой, которая полностью сохраняется при их копировании в КБД. В результате КБД содержит оригинальные тексты, попарно выровненные с одним или несколькими переводами: «предложение(я) оригинала – перевод». Благодаря морфологической разметке каждой словоформе в оригинале и переводе соответствует ее основа

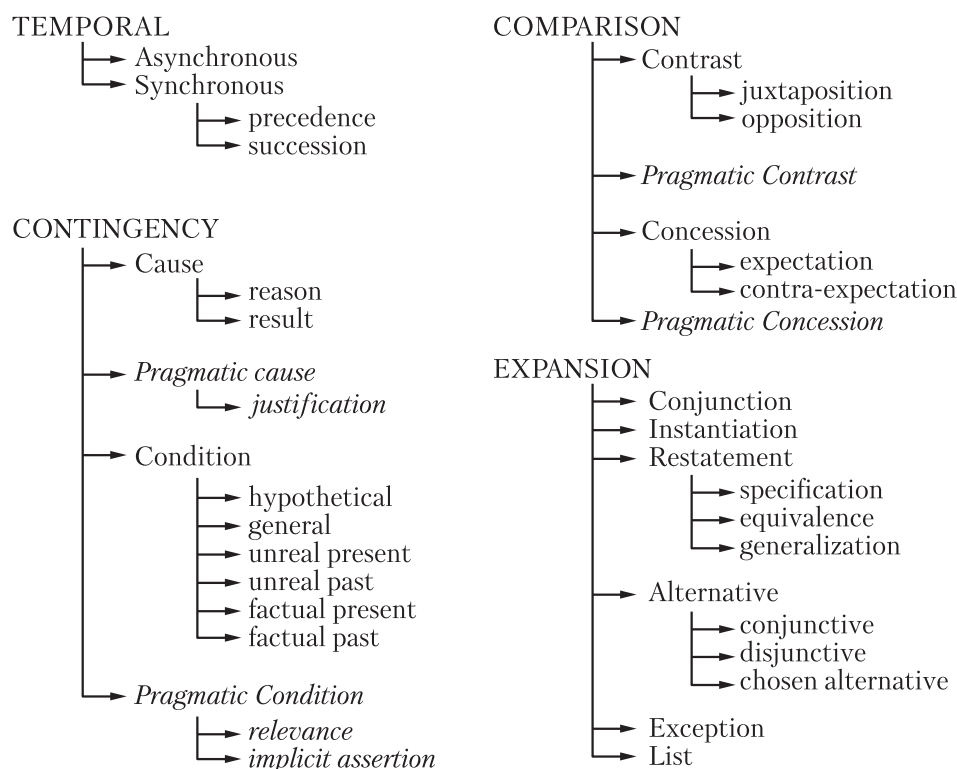


Рис. 1 Классификационная схема ЛСО из работы [9]

и множество морфологических признаков. В случае омонимии таких основ может быть несколько. Такая разметка позволяет осуществлять поиск в КБД как по словоформам и основам, так и по морфологическим признакам.

Перечислим основные концептуальные положения проектирования КБД, которые подробно были рассмотрены в работе [16], адаптируя их к задаче аннотирования ЛСО.

**Положение 1.** Аннотации показателей ЛСО и их контексты из параллельных текстов хранятся в связанных таблицах НБД, которая служит реляционной базой данных.

**Положение 2.** В интерфейсе НБД связи между таблицами представлены системой ссылок. Они соединяют сформированные лингвистами аннотации, с одной стороны, с коннекторами, выражающими ЛСО, их контекстами, а также с переводными эквивалентами коннекторов и их контекстами в переводах, а с другой стороны — с соответствующими рубриками пополняемого списка или схемы ви-



дов ЛСО. Эта система ссылок позволяет проследить и обратные связи рубрик с коннекторами и аннотациями.

Из этого положения следует, что в процессе аннотирования формируется система множественных ссылок от рубрик к аннотациям и коннекторам.

**Положение 3.** Если используемые в процессе аннотирования параллельные тексты являются поливариантными, т. е. одному оригинальному тексту соответствует несколько его переводов, то система ссылок позволяет выявить связи сформированных лингвистами аннотаций с коннекторами, выражающими ЛСО, их контекстами, а также со всеми переводными эквивалентами коннекторов и их контекстами в параллельных поливариантных текстах.

**Положение 4.** Надкорпусная база данных может применяться как для сплошного аннотирования ЛСО, так и для выборочного их аннотирования. Во втором случае лингвисты сначала формируют массив текстовых фрагментов из одного или нескольких предложений с коннекторами, которые выражают выбранный вид ЛСО, задавая некоторый критерий их отбора.

Перечисленные концептуальные положения легли в основу проектирования КБД. В следующем разделе рассматриваются функции разработанного варианта КБД, иллюстрирующие ее отличительные черты.

### 3 Кросслингвистическая база данных

Пополнение перечня рубрик непосредственно в процессе аннотирования обеспечивается с помощью встроенного редактора, который позволяет формировать и линейные списки, и деревья рубрик, которые хранятся в таблицах. Каждая таблица имеет поле «Наименование рубрики», служебные и ключевые поля для связи с другими таблицами, в частности с таблицами рубрик других уровней. Лингвист может выбрать для аннотирования списочное или иерархическое хранение рубрик в КБД. Если выбирается первый вариант, то предполагается, что после завершения аннотирования ЛСО лингвистами в КБД будет построено дерево рубрик, а во втором варианте лингвисты формируют его непосредственно в процессе аннотирования.

В разработанном варианте КБД для аннотирования ЛСО было выбрано списочное хранение для пополняемого перечня рубрик и иерархическое хранение для коннекторов, выражающих ЛСО. С помощью этого варианта КБД лингвистами было сформировано 4202 аннотации по состоянию на 30 июня 2016 г., из них для 2618 проставлены рубрики ЛСО, число которых на тот момент времени было равно 23, включая специальную рубрику «Отношение подлежит определению», которая проставлена в 1311 аннотациях (табл. 2). Эта рубрика дает возможность лингвистам отметить те аннотации и, соответственно, те фрагменты текстов, для которых в момент аннотирования вид ЛСО не был ими определен. Используя эту рубрику в поисковых запросах, они в любой момент времени могут вернуться к таким аннотациям и продолжить лингвистический анализ вида ЛСО. Отметим,

**Таблица 2** Названия 23 рубрик для видов ЛСО и число аннотаций по каждой рубрике

№	Рубрики ЛСО	Число аннотаций
1	Временные отношения	287
2	Отношение альтернативы	1
3	Отношение аналогии	2
4	Отношение генерализации	190
5	Отношение исключения	16
6	Отношение неединственности	133
7	Отношение подлежит определению	1311
8	Отношение противопоставления	131
9	Отношение следствия	1
10	Отношение спецификации	32
11	Отношение замещения	38
12	Отношение коррекции	20
13	Отрицание тождества	2
14	Присоединительные отношения	5
15	Причинно-следственные отношения	45
16	Причинные отношения	3
17	Противительные отношения	87
18	Соединительные отношения	4
19	Сопоставительные отношения	4
20	Сравнительные отношения	4
21	Условные отношения	264
22	Уступительные отношения	38
23	Целевые отношения	0

что ноль в последней строке последнего столбца табл. 2 говорит о том, что вид ЛСО «Целевые отношения» ни разу не был найден при формировании 4202 аннотаций, но лингвисты включили в список рубрику для этого вида ЛСО заранее. Пример аннотации с проставленными рубриками ЛСО приведен в табл. 3.

Как видно из табл. 3, аннотация, кроме ЛСО «Отношение аналогии», которое выражено коннектором **как||так||так||и**, и ЛСО «Сравнительные отношения», которое выражено коннектором **comme**, включает ряд лингвистических признаков, которые были описаны в работе [16], поэтому ограничимся кратким описанием только признаков последнего столбца:

- признак ⟨начальная⟩ говорит о том, что коннектор *comme* стоит в начальной позиции в маркируемом им фрагменте текста;
- ⟨без предикации⟩ говорит о том, что коннектор *comme* маркирует часть предложения без предикации;
- ⟨p CNT q⟩ говорит о порядке следования соединяемых коннектором фрагментов текста;

**Таблица 3** Двухязычная аннотация на русском и французском языках

Текст на русском языке	Поля аннотации для русского текста	Перевод на французский язык	Поля аннотации для перевода
<b>Как</b> что делалось при дедах и отцах, <b>так</b> делалось при отце Ильи Ильича, <b>так</b> , <i>может быть</i> , делается еще <b>и</b> теперь в Обломовке.	<b>как  так  так  и</b> <CNT> <Дистант> <CNT p CNT q [= CNT r, CNT s . . . ]> <Отношение аналогии>	<i>Bref</i> , tout se faisait, du temps d'Ilia Ilitch, <b>comme</b> du temps de son père et de son arrière-grand-père. . .	<b>comme</b> <начальная> <без предикации> <p CNT q> <CNT> <Сравнительные отношения>

**Таблица 4** Названия четырех рубрик первого уровня

Рубрика первого уровня для классификации коннекторов русского языка	Число рубрик второго уровня	Число сформированных аннотаций по рубрике первого уровня
1. Однокомпонентные	56	3024
2. Многокомпонентные	319	2604
3. Двухместные	189	938
4. Многместные	22	32

– <CNT> говорит о том, что аннотация создана для коннектора, а не для его составляющих<sup>1</sup>.

В разработанном варианте КБД для коннекторов, выражающих ЛСО, было выбрано иерархическое хранение на двух уровнях. Названия рубрик первого (верхнего) уровня для классификации коннекторов, а также число рубрик второго уровня и число сформированных аннотаций по каждой рубрике первого уровня приведены в табл. 4. Эти данные указаны по состоянию на 17 августа 2016 г.

Встроенный редактор позволяет изменять дерево рубрик для классификации коннекторов в процессе аннотирования. На рис. 2 показан фрагмент интерфейса, с помощью которого лингвисты могут отредактировать название рубрики, удалить существующую или добавить новую рубрику первого уровня. Этот рисунок иллюстрирует добавление новой рубрики «Глаголы речи» для таких коннекторов, как «вообще говоря», «говоря вообще», «или лучше сказать». Отметим, что перед удалением любой рубрики требуется переклассификация тех аннотаций, в которых она используется.

<sup>1</sup>Используемый в КБД подход позволяет аннотировать отдельные составляющие коннектора и их переводы [16].

Полное название новой рубрики:  
**Глаголы речи**  
 Краткое название новой рубрики:  
 verba dicendi Добавить

Рубрики первого уровня, используемые для классификации коннекторов			
Полное название рубрики	Краткое название рубрики	Правка	Удалить
Однокомпонентные	SingleWord	<u>Правка</u>	<u>Удалить</u>
Многокомпонентные	MultiWord	<u>Правка</u>	<u>Удалить</u>
Двухместные	TwoPart	<u>Правка</u>	<u>Удалить</u>
Многоместные	MultiPart	<u>Правка</u>	<u>Удалить</u>

**Рис. 2** Фрагмент интерфейса для редактирования рубрик первого уровня для коннекторов

Таким образом, с помощью подобных интерфейсов встроенного редактора лингвисты могут формировать в КБД нужные им списки и схемы рубрик ЛСО, коннекторов, других языковых единиц и явлений непосредственно в процессе аннотирования.

#### 4 Заключение

По сравнению с корпусом текстов PDTB [9], который является одним из самых больших аннотированных одноязычных корпусов, в КБД число рубрик второго уровня для коннекторов, для которых сформированы аннотации, превышает более чем в 6 раз аналогичный показатель PDTB (немногим более 100 рубрик в PDTB и более 600 в КБД). Общее число словоупотреблений в КБД (более 2,5 млн) в 2,5 раза превышает объем текстов в PDTB. Существенно больший объем текста на русском языке обеспечивает наличие аннотаций в каждой рубрике для коннекторов как в оригинальном русском тексте (см. табл. 4), так и в его переводах, так как аннотации КБД являются двуязычными (см. табл. 3). Сочетание большого объема текстов, аннотируемых коннекторов и двуязычности аннотации позволяет говорить сегодня о КБД как об уникальном лингвистическом информационно-компьютерном ресурсе, относящемся к категории НБД.

Формирование этого ресурса во многом стало возможным благодаря разработанному подходу к проектированию КБД для аннотирования ЛСО и их показателей между частями предложений, предложениями и фрагментами парал-

**Таблица 5** Динамика роста числа аннотаций для двух моментов времени

Дата	Число рубрик	Общее число аннотаций	Число аннотаций с любой рубрикой ЛСО, включая TBD	Число аннотаций с рубрикой TBD
30.06.2016	23	4202	2618	1311
20.09.2016	24	7739	5311	2418

лельных текстов. Реализуемость этого подхода была проверена экспериментально в процессе аннотирования ЛСО и коннекторов как средств их выражения в тексте.

Динамика роста общего числа аннотаций, а также аннотаций с любыми рубриками ЛСО, кроме «Отношение подлежит определению» (to be defined — TBD), и отдельно с рубрикой TBD представлена в табл. 5.

Проведенный эксперимент показал, что в процессе аннотирования лингвисты могут формировать списки и схемы рубрик, начиная практически с «чистого листа». Каждая рубрика логически является гиперссылкой на список тех аннотаций, в которых эта рубрика проставлена лингвистами. При этом каждая аннотация имеет ссылку на контекст параллельных текстов, на основе анализа которого она была сформирована, что обеспечивает верифицируемость каждой рубрики с ненулевым числом ссылок на аннотации. Возможность формирования перечня рубрик с «чистого листа» непосредственно в процессе аннотирования является существенным элементом новизны предлагаемого подхода к проектированию КБД для аннотирования ЛСО и разработанной на его основе информационной технологии формирования этой базы данных.

## Литература

1. Prasad R., Bunt H. Semantic relations in discourse: The current state of ISO 24617-8 // 11th Joint ACL-ISO Workshop on Interoperable Semantic Annotation (ISA-11) Proceedings. — Tilburg: Tilburg University, 2015. P. 80–92.
2. Bunt H., Prasad R. ISO-DR-Core (ISO 24617-8): Core concepts for the annotation of discourse relations // 12th Joint ACL-ISO Workshop on Interoperable Semantic Annotation (ISA-12) Proceedings. — European Language Resources Association, 2016. P. 45–54. [http://www.lrec-conf.org/proceedings/lrec2016/LREC2016\\_Proceedings.zip](http://www.lrec-conf.org/proceedings/lrec2016/LREC2016_Proceedings.zip).
3. Marcus M. P., Santorini B., Marcinkiewicz M. A. Building a large annotated corpus of English: The Penn Treebank // Comput. Linguist., 1993. Vol. 19. No. 2. P. 313–330.
4. Loiseau S., Sitchinava D. V., Zalizniak Anna A., Zatsman I. M. Information technologies for creating the database of equivalent verbal forms in the Russian–French multivariant parallel corpus // Информатика и её применения, 2013. Т. 7. Вып. 2. С. 100–109.

5. *Kruzhkov M. G., Buntman N. V., Loshchilova E. Ju., Sitchinava D. V., Zalizniak Anna A., Zatsman I. M.* A database of Russian verbal forms and their French translation equivalents // Компьютерная лингвистика и интеллектуальные технологии: По мат-лам ежегодной Междунар. конф. «Диалог». — М.: РГГУ, 2014. Вып. 13(20). С. 284–296.
6. *Бунтман Н. В., Зализняк Анна А., Зацман И. М., Кружков М. Г., Лоцилова Е. Ю., Сичинава Д. В.* Информационные технологии корпусных исследований: принципы построения кросслингвистических баз данных // Информатика и её применения, 2014. Т. 8. Вып. 2. С. 98–110.
7. *Zatsman I., Buntman N.* Outlining goals for discovering new knowledge and computerised tracing of emerging meanings discovery // 16th European Conference on Knowledge Management Proceedings. — Reading: Academic Publishing International Ltd., 2015. P. 851–860.
8. *Зализняк Анна А., Зацман И. М., Инькова О. Ю., Кружков М. Г.* Надкорпусные базы данных как лингвистический ресурс // Корпусная лингвистика-2015: Тр. 7-й Междунар. конф. — СПб.: СПбГУ, 2015. С. 211–218.
9. *Prasad R., Dinesh N., Lee A., Miltsakaki E., Robaldo L., Joshi A., Webber B.* The Penn Discourse TreeBank 2.0 // 6th Conference (International) on Language Resources and Evaluation Proceedings / Eds. N. Calzolari, K. Choukri, B. Maegaard, J. Mariani, J. Odjik, S. Piperidis, D. Tapias. — Paris: European Language Resources Association, 2008. P. 2961–2968.
10. *Prasad R., Webber B., Joshi A.* Reflections on the Penn Discourse Treebank, comparable corpora, and complementary annotation // *Comput. Linguist.*, 2014. Vol. 40. No. 4. P. 921–950.
11. *Hoek J., Zufferey S.* Factors influencing the implicitation of discourse relations across languages // 11th Joint ACL-ISO Workshop on Interoperable Semantic Annotation (ISA-11) Proceedings. — Tilburg: Tilburg University, 2015. P. 39–45.
12. *Zufferey S., Degand L.* Annotating the meaning of discourse connectives in multilingual corpora // *Corpus Linguist. Ling.*, 2013. Vol. 1. P. 1–24. doi: 10.1515/cllt-2013-0022. [http://www.academia.edu/download/32477556/Zufferey-DegandCLLT\\_2013-0033.pdf](http://www.academia.edu/download/32477556/Zufferey-DegandCLLT_2013-0033.pdf).
13. *Cimiano P., Staab S., Tane J.* Automatic acquisition of taxonomies from text: FCA meets NLP // PKDD/ECML'03 Workshop (International) on Adaptive Text Extraction and Mining Proceedings. Dubrovnik. P. 10–17. <http://staffwww.dcs.shef.ac.uk/people/F.Ciravegna/ATEM03/cimiano-ecml03-atem.pdf>.
14. *Cimiano P., Hotho A., Staab S.* Learning concept hierarchies from text corpora using formal concept analysis // *J. Artif. Intell. Res.*, 2005. Vol. 24. No. 1. P. 305–339.
15. *Kavalec M., Svatek V.* A study on automated relation labelling in ontology learning // *Ontology learning and population* / Eds. P. Buitelaar, Ph. Cimiano. — Amsterdam: IOS Press, 2005. P. 44–58.
16. *Зацман И. М., Инькова О. Ю., Кружков М. Г., Попкова Н. А.* Представление кроссызыковых знаний о коннекторах в надкорпусных базах данных // Информатика и её применения, 2016. Т. 10. Вып. 1. С. 106–118.

Поступила в редакцию 12.09.16

## CROSS-LINGUAL DATABASE FOR ANNOTATING LOGICAL-SEMANTIC RELATIONS IN THE TEXT

*A. A. Durnovo, I. M. Zatsman, and E. Yu. Loshchilova*

Institute of Informatics Problems, Federal Research Center “Computer Science and Control” of the Russian Academy of Sciences, 44-2 Vavilov Str., Moscow 119333, Russian Federation

**Abstract:** The problem of designing a cross-lingual database is described. The purpose of such a database is annotating logical-semantic relations between fragments of parallel texts in two or more languages. One of the objectives of its design is the information and computer provision of constructing by linguists a classification scheme of logical and semantic relationships not depending on the text language. A point of this design problem is that linguists annotate logical-semantic relations using a list of rubrics, which is being formed in the process of annotating by means of the cross-lingual database. According to its functions, the database can be classified as a supracorpora database. Its pilot version allowed linguists to form, at the same time, thousands of annotations and a list of rubrics to be used in the annotating process.

**Keywords:** cross-lingual databases; annotating; parallel texts; corpus linguistics; logical-semantic relations

**DOI:** 10.14357/08696527160411

### Acknowledgments

The research was conducted in FRC CSC RAS and supported by the Russian Science Foundation (project 16-18-10004).

### References

1. Prasad, R., and H. Bunt. 2015. Semantic relations in discourse: The current state of ISO 24617-8. *11th Joint ACL-ISO Workshop on Interoperable Semantic Annotation (ISA-11) Proceedings*. Tilburg: Tilburg University. 80–92.
2. Bunt, H., and R. Prasad. 2016. ISO-DR-Core (ISO 24617-8): Core concepts for the annotation of discourse relations. *12th Joint ACL-ISO Workshop on Interoperable Semantic Annotation (ISA-12) Proceedings*. Portorož. 45–54. Available at: [http://www.lrec-conf.org/proceedings/lrec2016/LREC2016\\_Proceedings.zip](http://www.lrec-conf.org/proceedings/lrec2016/LREC2016_Proceedings.zip) (accessed September 29, 2016).
3. Marcus, M. P., B. Santorini, and M. A. Marcinkiewicz. 1993. Building a large annotated corpus of English: The Penn Treebank. *Comput. Linguist.* 19(2):313–330.
4. Loiseau, S., D. V. Sitchinava, Anna A. Zalizniak, and I. M. Zatsman. 2013. Information technologies for creating the database of equivalent verbal forms in the Russian–French multivariant parallel corpus. *Informatika i ee Primeneniya — Inform. Appl.* 7(2):100–109.

5. Kruzhhkov, M. G., N. V. Buntman, E. Ju. Loshchilova, D. V. Sitchinava, Anna A. Zaliziak, and I. M. Zatsman. 2014. A database of Russian verbal forms and their French translation equivalents. *Komp'yuternaya lingvistika i intellektual'nye tekhnologii: Po mat-lam ezhegodnoy Mezhdunar. konf. "Dialog"* [Computational Linguistics and Intellectual Technologies: Conference (International) "Dialog" Proceedings]. Moscow: RGGU. 13(20):284–296.
6. Buntman, N. V., Anna A. Zaliznyak, I. M. Zatsman, M. G. Kruzhhkov, E. Yu. Loshchilova, and D. V. Sichinava. 2014. Informatsionnye tekhnologii korpusnykh issledovaniy: Printsipy postroeniya kross-lingvisticheskikh baz dannykh [Information technologies for corpus studies: Underpinnings for cross-linguistics databases creation]. *Informatika i ee Primeneniya — Inform. Appl.* 8(2):98–110.
7. Zatsman, I., and N. Buntman. 2015. Outlining goals for discovering new knowledge and computerised tracing of emerging meanings discovery. *16th European Conference on Knowledge Management Proceedings*. Reading: Academic Publishing International Ltd. 851–860.
8. Zaliznyak, Anna A., I. M. Zatsman, O. Yu. In'kova, and M. G. Kruzhhkov. 2015. Nadkorpussyne bazy dannykh kak lingvisticheskiy resurs [Supracorpora databases as linguistic resource]. *7th Conference (International) on Corpus Linguistics Proceedings*. St. Petersburg: SPbGU. 211–218.
9. Prasad, R., N. Dinesh, A. Lee, E. Miltsakaki, L. Robaldo, A. Joshi, and B. Webber. 2008. The Penn Discourse TreeBank 2.0. *6th Conference (International) on Language Resources and Evaluation Proceedings*. Eds. Calzolari, N., K. Choukri, B. Maegaard, J. Mariani, J. Odjik, S. Piperidis, and D. Tapias. Paris: European Language Resources Association. 2961–2968.
10. Prasad, R., B. Webber, and A. Joshi. 2014. Reflections on the Penn Discourse Treebank, comparable corpora, and complementary annotation. *Comput. Linguist.* 40(4):921–950.
11. Hoek, J., and S. Zufferey. 2015. Factors influencing the implicitation of discourse relations across languages. *11th Joint ACL-ISO Workshop on Interoperable Semantic Annotation (ISA-11) Proceedings*. Tilburg: Tilburg University. 80–92.
12. Zufferey, S., and L. Degand. 2013. Annotating the meaning of discourse connectives in multilingual corpora. *Corpus Linguist. Ling.* 1:1–24. doi: 10.1515/cllt-2013-0022. Available at: [http://www.academia.edu/download/32477556/Zufferey-DegandCLLT\\_2013-0033.pdf](http://www.academia.edu/download/32477556/Zufferey-DegandCLLT_2013-0033.pdf) (accessed September 24, 2016).
13. Cimiano, P., S. Staab, and J. Tane. 2003. Automatic acquisition of taxonomies from text: FCA meets NLP. *PKDD/ECML'03 Workshop (International) on Adaptive Text Extraction and Mining Proceedings*. Dubrovnik. 10–17. Available at: <http://staffwww.dcs.shef.ac.uk/people/F.Ciravegna/ATEM03/cimiano-ecml03-atem.pdf> (accessed September 14, 2016).
14. Cimiano, P., A. Hotho, and S. Staab. 2005. Learning concept hierarchies from text corpora using formal concept analysis. *J. Artif. Intell. Res.* 24(1):305–339.
15. Kavalec, M., and V. Svatek. 2005. A study on automated relation labelling in ontology learning. *Ontology learning and population*. Eds. P. Buitelaar and Ph. Cimiano. Amsterdam: IOS Press. 44–58.
16. Zatsman, I. M., O. Yu. In'kova, M. G. Kruzhhkov, and N. A. Popkova. 2016. Predstavlenie krossyazykovykh znaniy o konnektorakh v nadkorpussykh bazakh dannykh



[Presentation of cross-lingual knowledge about connectors in supracorpora databases].  
*Informatika i ee Primeneniya — Inform. Appl.* 10(1):106–118.

*Received September 12, 2016*

### **Contributors**

**Durnovo Aleksandr A.** (b. 1949) — leading programmer, Institute of Informatics Problems, Federal Research Center “Computer Science and Control” of the Russian Academy of Sciences, 44-2 Vavilov Str., Moscow 119333, Russian Federation; duralex49@mail.ru

**Zatsman Igor M.** (b. 1952) — Doctor of Sciences, Head of Department, Institute of Informatics Problems, Federal Research Center “Computer Science and Control” of the Russian Academy of Sciences, 44-2 Vavilov Str., Moscow 119333, Russian Federation; izatsman@yandex.ru

**Loshchilova Elena Yu.** (b. 1960) — scientist, Institute of Informatics Problems, Federal Research Center “Computer Science and Control” of the Russian Academy of Sciences, 44-2 Vavilov Str., Moscow 119333, Russian Federation; lena0911@mail.ru

## СОЦИАЛЬНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В СОВРЕМЕННОЙ РОССИИ

*К. К. Колин*<sup>1</sup>

**Аннотация:** Проведен анализ социального потенциала информационных технологий в условиях становления глобального информационного общества. Рассмотрена структура этого потенциала и роль его отдельных компонентов в решении актуальных проблем социально-экономического развития России. Показана возможность более эффективного использования этого потенциала в новой Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации на долгосрочную перспективу.

**Ключевые слова:** глобальное информационное общество; информационная культура; информационные технологии; качество жизни; экономика и труд; образование и здравоохранение; общественная безопасность; международные коммуникации

**DOI:** 10.14357/08696527160412

### 1 Введение

Одной из доминирующих тенденций современного этапа развития цивилизации является глобальная информатизация общества на основе широкого использования новых информационных и коммуникационных технологий (ИКТ). По мнению ряда авторитетных исследователей [1], мировое сообщество вступило в новую, информационную эпоху своего развития, которая будет продолжаться в течение всего XXI в. При этом информатизация общества — это не только одно из ключевых направлений развития современной научно-технологической революции, но также и важнейший социальный фактор. Она оказывает воздействие на социальную структуру общества и положение в нем отдельных социальных групп, а также на самого человека, радикальным образом изменяя его образ жизни, традиции и культурные ценности [2].

По существу, речь идет о глубокой структурной трансформации современного общества, которая происходит так быстро, что еще недостаточно адекватно осознается и поэтому не находит необходимого отражения в стратегии развития общества как на национальном, так и на глобальном уровне. Примером здесь может служить новая Стратегия ООН в области устойчивого развития на период до 2030 г., принятая в 2015 г. на 70-й сессии Генеральной Ассамблеи ООН. Она содержит 17 глобальных целей и 169 задач, которые должны быть решены

---

<sup>1</sup>Институт проблем информатики Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук, kolinkk@mail.ru

мировым сообществом в ближайшие 15 лет, однако информационные аспекты развития цивилизации в ней даже не упомянуты [3].

В современной политике социально-экономического развития России внимание к использованию потенциала информационных технологий в последние годы также снижается. Уже несколько лет не проводятся заседания Совета по развитию информационного общества при Президенте РФ, практически прекратил свою деятельность и ежегодный Тверской форум «Информационное общество». В системе образования России сегодня нет ни одного университета, ориентированного на подготовку специалистов в области ИКТ, хотя потребности в таких специалистах, по оценкам экспертов, удовлетворяются лишь на 40%.

Все это показывает, что проблема использования социального потенциала ИКТ в России очень актуальна, а ее исследование нужно начинать с анализа роли этого потенциала в решении наиболее важных проблем российского общества, что и является целью данной работы.

## **2 Структура социального потенциала информационных технологий**

Структура социального потенциала информационных технологий в укрупненном виде представлена в таблице. Его основные компоненты распределены по семи группам, каждая из которых связана с определенной социальной проблемой или же сферой деятельности. Всего выделено 24 компонента, а их краткий анализ приводится ниже.

## **3 Информационные аспекты качества жизни**

Роль ИКТ в решении проблемы повышения качества жизни в условиях становления глобального информационного общества является определяющей [4]. Ведь именно они дают человеку возможность удаленного и оперативного доступа к социальным значимым информационным ресурсам. Эта возможность должна рассматриваться как *новое социальное благо* и потому всемерно поддерживаться государственной информационной политикой. С этой целью государство обязано развивать информационную инфраструктуру страны и стимулировать деятельность в этой области структур бизнеса и общественных организаций. Решение этих задач необходимо, в частности, для развития социальных информационных коммуникаций, а также для обеспечения эффективной деятельности электронных средств массовой информации.

Одной из актуальных проблем для России, имеющей обширную территорию, является *проблема широкополосного доступа* пользователей в сеть Интернет. Содержание этой проблемы и некоторые пути ее решения рассмотрены в работе [5].

Очень важной социальной задачей является создание в России системы оказания населению *государственных информационных услуг*, которая получила название «Электронного правительства». Для решения этой задачи практически

## Структура социального потенциала информационных технологий

Проблема или сфера деятельности общества	Компоненты социального потенциала ИКТ
I. Качество жизни населения	1. Обеспечение доступа к информационным ресурсам 2. Информационные услуги населению 3. Новые информационные коммуникации 4. Электронные средства массовой информации
II. Экономика и труд	5. Занятость населения 6. Электронная торговля («социальная коммерция») 7. Информационный бизнес 8. Информационная культура профессиональной деятельности
III. Социально-политическая сфера общества	9. Социальные информационные сети 10. «Электронная демократия»
IV. Образование, наука и культура	11. Информатизация образования 12. Открытое образование и дистанционное обучение 13. Распределенные научные коллективы 14. Электронные библиотеки, музеи и галереи
V. Здравоохранение и медицина	15. Вызов служб экстренной помощи 16. Информатизация медицинского обслуживания населения 17. Телемедицина: диагностика и консультации
VI. Общественная безопасность	18. Мониторинг угроз 19. Средства оповещения об опасности 20. Видеонаблюдение, охрана зданий и помещений 21. Защита персональных данных
VII. Международные коммуникации	22. Средства глобальных информационных коммуникаций 23. Новые технологии компьютерного перевода текстов и речи 24. Цивилизационный и образовательный туризм

во всех регионах страны создаются специализированные центры, оснащенные современной техникой и работающие по стандартизованному регламенту. Это позволяет населению экономить большое количество времени при решении самых различных бытовых, финансовых и юридических проблем. Поэтому вопросы создания данной системы находятся под личным контролем Председателя Правительства России.

#### 4 Экономика и труд

**Занятость населения.** Важнейшей социально-экономической проблемой современности, от решения которой зависит социальная стабильность общества во многих странах мира, является занятость населения. Для России, с ее огромной по протяженности территорией и недостаточно развитой сетью транспортных ком-

муникаций, эта проблема может быть решена лишь при условии существенного развития информационной инфраструктуры страны и широкого использования современных ИКТ. Это необходимо как для развития «сетевой экономики», так и для более эффективного использования трудовых ресурсов страны путем создания распределенных трудовых коллективов.

Одним из социальных результатов такой стратегии развития страны должно стать снижение темпов урбанизации общества и концентрации населения в крупных городах, содействие *развитию малых городов и сельских поселений*, в том числе в районах Дальнего Востока и Крайнего Севера. Социально-экономическое развитие этих территорий является одним из стратегических приоритетов современной России.

Нашей стране необходимо существенно повысить уровень занятости в информационной сфере общества. Ведь Россия имеет большое число специалистов в области научно-технической и общественно-политической информации, интеллектуальный потенциал которых еще недостаточно используется. Развитие ИКТ может содействовать решению этой проблемы.

**Информационное надомничество («телеработа»).** Современный уровень развития ИКТ позволяет многим специалистам значительную часть времени работать дома, что дает существенную экономию времени и сокращает нагрузку на транспортные коммуникации, которая в крупных городах становится серьезной социальной проблемой. Поэтому данный вид организации деятельности трудовых коллективов получает все большее распространение в самых различных организациях. Его важный социальный аспект состоит в том, что он позволяет обеспечить полную или частичную занятость людей с ограниченной мобильностью (инвалидов, пенсионеров, женщин, воспитывающих маленьких детей), которые составляют значительную долю населения России.

Так, например, число инвалидов в 2015 г. превысило 12,8 млн, т. е. составляет 8,7% населения страны. Для многих из них возможность выхода в Интернет с домашнего компьютера — это окно в мир, которое позволяет человеку реализовать свой потенциал социальной активности, а также важное средство для самообразования и интеллектуального развития.

К сожалению, эти возможности еще недостаточно используются социальными службами России.

**Электронная торговля и бизнес.** Социальная роль ИКТ в области электронной торговли состоит в том, что они позволяют человеку найти, выбрать и приобрести необходимые ему товары не только в своей стране, но и за рубежом, поэтому популярность электронной торговли быстро возрастает. Объем этого сектора мировой экономики в 2015 г. составил 1,77 трлн долл. США, а к 2020 г., по имеющимся прогнозам, достигнет значения 6,7 трлн долл. США (около 20% всего объема мировой торговли). При этом ожидается, что основную долю этого объема составят покупки сельского населения. Возможно, поэтому данный сектор экономики иногда называют «социальной коммерцией».

Даже в период мирового финансово-экономического кризиса электронная торговля демонстрирует высокий и достаточно устойчивый рост (порядка 14%–17% в год). В 2015 г. в России он составил 10%.

*Информационный бизнес* обеспечивает предоставление населению информационных услуг, спектр которых быстро расширяется благодаря конкуренции различных компаний. При этом стоимость услуг постоянно снижается, а некоторые из них оказываются бесплатно.

Характерным примером здесь может служить доступ в Интернет в общественных местах, а также телефонные переговоры и видеокommunikации через систему Skype. Не взимается в России также и абонентская плата за пользование навигационными системами ГЛОНАСС и GPS, которые получают все более широкое распространение среди населения.

**Информационные технологии в экономике.** Нужно отметить, что многие информационные технологии, ориентированные на достаточно широкое социальное использование, сегодня являются товаром, который можно приобрести за определенную плату у соответствующих ИКТ-компаний. Примерами здесь являются программное обеспечение защиты персональных компьютеров и смартфонов от компьютерных вирусов, а также компьютерные игры, получившие широкое распространение у молодежи.

**Информационная культура профессиональной деятельности.** Информационная культура общества в последние годы становится важным условием его успешного развития [6]. Это одна из долгосрочных тенденций развития современной цивилизации. В данном случае речь идет об *информационной культуре профессиональной деятельности*.

Социальный аспект этой проблемы состоит в том, что она предполагает не только современный уровень оснащенности учреждений информационной техникой, но также и определенный уровень информационной культуры их работников.

Требования в этой области быстро возрастают. Современный специалист, если он хочет быть конкурентоспособным на рынке труда, должен хорошо владеть персональным компьютером, планшетом и смартфоном, другой информационной техникой. Но этого мало. Он должен также ориентироваться в системе национальных и мировых информационных ресурсов, уметь пользоваться электронными библиотеками и компьютерными социальными сетями применительно к сфере своей деятельности.

Все эти знания и умения являются атрибутами той новой профессиональной информационной культуры, которая стремительно формируется и является необходимой практически во всех сферах социальной активности общества. К сожалению, современная система образования России такие знания и умения формирует у специалистов в очень ограниченном объеме, и это выдвигает на повестку дня задачу развития соответствующих направлений основного и дополнительного образования [7].

## 5 Социально-политическая сфера общества

Использование ИКТ в данной сфере получило наиболее широкое развитие в США и странах Западной Европы. Реализация концепции демократизации общества в этих странах во многом обеспечивается именно посредством использования электронных средств массовой информации и новых информационных технологий. Мало того, по заявлениям некоторых специалистов ЮНЕСКО, главная цель формирования в обществе новой информационной культуры состоит в том, чтобы повысить его социально-политическую активность, включая участие в различного рода выборах компаниях и референдумах.

«Голос каждого должен быть услышан» — таков основной тезис данной концепции развития информационной культуры общества. Представляется, что это слишком узкий взгляд на проблему развития информационной культуры, что достаточно убедительно показано в работах [6, 8].

## 6 Образование, наука и культура

Социальный аспект новых информационных технологий наиболее значимо проявляется в развитии *систем открытого образования и дистанционного обучения*. По оценкам специалистов, в условиях становления глобального информационного общества эти системы получают широкое распространение и обеспечивают более высокую профессиональную мобильность, которая будет характерной чертой этого общества [7].

Что же касается *научных исследований*, то здесь очень важным является обеспечение доступа исследователей к необходимой им информации в электронных библиотеках, а также возможность создания распределенных творческих коллективов, которые могут включать в себя ученых из разных стран и регионов мира.

Не менее важным является и повышение оперативности публикации результатов исследований в электронных научных изданиях, а также возможность дистанционного участия в научных конференциях.

В среднесрочной перспективе прогнозируется также и развитие коллективных научных центров, оборудование которых будет использоваться в режиме удаленного доступа.

В сфере культуры новые ИКТ создают возможность удаленного доступа населения к мировым культурным ценностям через электронные библиотеки, музеи, художественные галереи и выставки. Ожидается также и появление новых форм *экранной культуры* [6].

## 7 Здравоохранение и медицина

Здесь прежде всего следует отметить проблему оказания экстренной медицинской помощи населению, особенно в сельской местности. Вызов бригад скорой помощи, а также их оснащение необходимой информационной техникой

медицинского назначения позволят в будущем существенно повысить уровень медицинского обслуживания населения во многих странах, в том числе в России. Достаточно указать, что уже сегодня время от вызова до прибытия бригады скорой помощи в Москве составляет не более 15 мин.

Можно ожидать, что в среднесрочной перспективе использование новых ИКТ в медицинских учреждениях позволит существенно сократить бумаготворчество медицинского персонала и, самое главное, сократить время, затрачиваемое пациентами на получение медицинских услуг.

В долгосрочной перспективе ожидается широкое внедрение в практику персональных электронных медицинских карт, а также развитие телемедицины, позволяющей осуществлять диагностику заболеваний и получать консультации специалистов в режиме удаленного доступа.

## 8 Общественная безопасность

В глобальном информационном обществе проблема общественной безопасности приобретает новую структуру. На первый план здесь выдвигается *информационная безопасность*, которая становится важнейшим компонентом и необходимым условием национальной и глобальной безопасности [9].

Создавая все более сложную информационную среду своего обитания, человек все больше становится ее заложником. Он уже не может жить и работать без использования этой среды, которая создает для него беспрецедентные новые возможности и в то же время делает его все более уязвимым по отношению к внешним деструктивным воздействиям. Исследования показывают, что это касается не только частной жизни людей, но также и их физического и психического здоровья [10, 11].

В то же время новые информационные технологии незаменимы в решении задач мониторинга различных угроз и оповещения населения об этих угрозах, а также задач борьбы с преступностью, охраны зданий и помещений, вызова служб экстренной помощи.

## 9 Международные информационные коммуникации

По прогнозам специалистов, масштабы международных информационных коммуникаций в XXI в. будут непрерывно возрастать. Это обусловлено как процессами глобализации общества, так и потребностями более тесного взаимодействия граждан разных стран между собой в области экономики, образования, культуры и науки.

Современный мир требует не только знания того, что происходит в других странах, но также и участия в тех или иных аспектах их жизни и деятельности. А это предполагает возможность понимания информации, представленной на других языках, и, следовательно, требует новых средств машинного перевода текстов и речи. Именно поэтому *проблема многоязычия в киберпространстве* является одной из важных социальных проблем современного общества, которая



вот уже несколько лет находится в поле зрения деятельности ЮНЕСКО. Содержание этой проблемы и некоторые пути ее решения на основе новых методов компьютерного перевода текстов рассмотрены в работе [12].

Применение этих методов будет стимулировать развитие туристических связей между различными странами, в том числе таких новых форм туризма, как *научно-образовательный и цивилизационный туризм*. Одной из причин этого является формирование таких новых крупных международных объединений, как БРИКС, Шанхайская организация сотрудничества и Евразийский экономический союз [13].

## 10 Заключение

Информатизация общества является одним из стратегических направлений развития цивилизации в XXI в. Уровень информационного развития страны сегодня не только в значительной степени определяет развитие ее экономики, науки и образования, но также и качество жизни населения, положение страны в мировом сообществе, ее обороноспособность и национальную безопасность. Исследования показывают [14–16], что в ближайшие годы эта тенденция будет только возрастать. Выше было показано, что важным фактором информационного развития общества является эффективное использование социального потенциала информационных технологий. Сегодня значение этого фактора в государственной стратегии развития России учитывается явно недостаточно. Новую возможность для изменения этой ситуации создает формирование Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации на долгосрочную перспективу, которая в настоящее время разрабатывается по поручению Президента России и должна быть принята в 2016 г. Представляется, что эта Стратегия должна содержать отдельный раздел, посвященный развитию и использованию социального потенциала информационных технологий. Эта важнейшая для нашей страны проблема должна найти свое отражение также и в государственной политике России в сфере науки, образования и культуры. Научный потенциал России позволяет ей занять достойное место в глобальном информационном обществе, обеспечить свою национальную безопасность и существенно повысить качество жизни граждан России. Однако для этого необходимо прежде всего пересмотреть стратегию государственно образовательной политики с тем, чтобы обеспечить подготовку специалистов, способных развивать и эффективно использовать социальный потенциал информационных технологий — новый стратегический ресурс развития общества в условиях его глобальной информатизации [17].

## Литература

1. *Кастельс М.* Информационная эпоха. — М.: ГУ ВШЭ, 2000. 608 с.
2. *Коллин К. К.* Человек в информационном обществе: новые задачи для образования, науки и культуры // Открытое образование, 2007. № 5. С. 40–46.

3. Колин К. К. Половинчатая стратегия: критический анализ новой стратегии ООН в области устойчивого развития // *Партнерство цивилизаций*, 2016. № 1-2. С. 33–41.
4. Колин К. К. Качество жизни в информационном обществе // *Человек и труд*, 2010. № 1. С. 39–43.
5. Колин К. К. Широкополосный доступ в Интернет как критическая технология развития информационного общества в России // *Современные телекоммуникации России*, 2009. № 9. С. 6–9.
6. Колин К. К., Урсул А. Д. Информация и культура: введение в информационную культурологию. — М.: Стратегические приоритеты, 2015. 300 с.
7. Соколов И. А., Колин К. К. Новый этап информатизации общества и актуальные проблемы образования // *Информатика и её применения*, 2008. Т. 2. № 1. С. 67–76.
8. Колин К. К. Глобализация и культура: глобализация общества и ее культурологические последствия // *Вестник Библиотечной ассамблеи Евразии*, 2004. № 1. С. 12–15.
9. Соколов И. А., Колин К. К. Развитие информационного общества в России и актуальные проблемы информационной безопасности // *Информационное общество*, 2009. № 4-5. С. 98–107.
10. Смолл Г., Ворган Г. Мозг онлайн. Человек в эпоху Интернета / Пер с англ. Б. Козловского. — М.: Колибри, 2011. 352 с. (*Small G. W., Vorgan G. iBrain: Surviving the technological alteration of the modern mind. — William Morrow, 2008. 256 p.*)
11. Колин К. К. Информационная антропология: поколение NEXT и угроза психологического расслоения человечества в информационном обществе // *Вестник Челябинской государственной академии культуры и искусств*, 2011. Т. 28. № 4. С. 32–36.
12. Колин К. К., Хорошилов А. А. Проблема многоязычия в информационном обществе и новые интеллектуальные переводческие технологии // *Информационное общество*, 2012. № 1. С. 56–61.
13. Перспективы и стратегические приоритеты восхождения БРИКС // *Научный доклад к VII саммиту БРИКС / Под ред. В. А. Садовниченко, Ю. В. Яковца, А. А. Акаева. — М.: МИСК-ИНЭС-НКИ БРИКС, 2014. 392 с.*
14. Колин К. К., Роберт И. В. Социальные аспекты информатизации образования. — М.: Институт образования РАО, ИПИ РАН, 2004. 54 с.
15. Колин К. К. Россия и мир на пути к информационному обществу // *Открытое образование*, 2006. № 4. С. 89–96.
16. Колин К. К. Глобальные угрозы развитию цивилизации в XXI веке // *Стратегические приоритеты*, 2014. № 1. С. 6–30.
17. Колин К. К. Инновационное развитие в информационном обществе и качество образования // *Открытое образование*, 2009. № 3. С. 63–72.

*Поступила в редакцию 15.09.16*

## SOCIAL POTENTIAL OF INFORMATION TECHNOLOGIES IN MODERN RUSSIA

*K. K. Kolin*

Institute of Informatics Problems, Federal Research Center “Computer Sciences and Control” of the Russian Academy of Sciences, 44-2 Vavilov Str., Moscow 119333, Russian Federation

**Abstract:** The article analyzes the social potential of information technologies in the emerging global information society. The article describes the structure of this potential and the role of its individual components in the solution of actual problems of social and economic development of Russia. The article shows the possibility of a more efficient use of this potential in the new Strategy of scientific and technological development of the Russian Federation in the long term.

**Keywords:** information society; information culture; information technology; quality of life; economy and work; education and health care; public safety; international communication

**DOI:** 10.14357/08696527160412

### References

1. Kastel's, M. 2000. *Informatsionnaya epokha* [The information age]. Moscow: GU VShE. 608 p.
2. Kolin, K. K. 2007. Chelovek v informatsionnom obshchestve: Nove zadachi dlya obrazovaniya, nauki i kul'tury [The man in the information society: New challenges for education, science, and culture]. *Otkrytoe obrazovanie* [Open Education] 5:40–46.
3. Kolin, K. K. 2016. Polovinchataya strategiya: Kriticheskiy analiz novoy strategii OON v oblasti ustoychivogo razvitiya [The half-hearted strategy: A critical analysis of the new UN strategy on sustainable development]. *Partnerstvo tsivilizatsiy* [Partnership of Civilizations] 1-2:33–41.
4. Kolin, K. K. 2010. Kachestvo zhizni v informatsionnom obshchestve [The quality of life in the information society]. *Chelovek i trud* [Man and Labor] 1:39–43.
5. Kolin, K. K. 2009. Shirokopolosnyy dostup v Internet kak kriticheskaya tekhnologiya razvitiya informatsionnogo obshchestva v Rossii [Broadband Internet access as a critical technology of development of information society in Russia]. *Sovremennye telekommunikatsii Rossii* [Modern Telecommunications in Russia] 9:6–9.
6. Kolin, K. K., and A. D. Ursul. 2015. *Informatsiya i kul'tura: Vvedenie v informatsionnuyu kul'turologiyu* [Information and culture: Introduction to information culturology]. Moscow: Strategicheskie priorityety [Strategic Priorities]. 300 p.
7. Sokolov, I. A., and K. K. Kolin. 2008. Novyy etap informatizatsii obshchestva i aktual'nye problemy obrazovaniya [The new stage of the society informatization and actual problems of education]. *Informatika i ee Primeneniya — Inform. Appl.* 2(1):67–76.

8. Kolin, K. K. 2004. Globalizatsiya i kul'tura: Globalizatsiya obshchestva i ee kul'turologicheskie posledstviya [Globalization and culture: The globalization of society and its cultural effects]. *Vestnik Bibliotечноy Assamblei Evrazii* [Bulletin of the Library Assembly of Eurasia] 1:12–15.
9. Sokolov, I. A., and K. K. Kolin. 2009. Razvitie informatsionnogo obshchestva v Rossii i aktual'nye problemy informatsionnoy bezopasnosti [Information society development in Russia and problems of information security]. *Informatsionnoe obshchestvo* [Information Society] 4-5:98–107.
10. Small, G. W., and G. Vorgan. 2008. *iBrain: Surviving the technological alteration of the modern mind*. William Morrow. 256 p.
11. Kolin, K. K. 2011. Informatsionnaya antropologiya: Pokolenie NEXT i ugroza psikhologicheskogo rassloeniya chelovechestva v informatsionnom obshchestve [Information anthropology: The NEXT generation and the threat of psychological stratification of humanity in the information society]. *Vestnik Chelyabinskoy gosudarstvennoy akademii kul'tury i iskusstv* [Bulletin of the Chelyabinsk State Academy of Culture and Arts] 28(4):32–36.
12. Kolin, K. K., and A. A. Khoroshilov. 2012. Problema mnogoyazychiya v informatsionnom obshchestve i novye intellektual'nye perevodcheskie tekhnologii [The problem of multilingualism in the information society and the new intelligent translation technology]. *Informatsionnoe obshchestvo* [Information Society] 1:56–61.
13. Sadovnichy, V. A., Y. V. Yakovets, and A. A. Akayev, eds. 2014. Perspektivy i strategicheskie priority voskhozhdeniya BRIKS [Prospects and strategic priorities of the BRICS ascent]. Nauchnyy doklad k VII Sammitu BRIKS [Scientific report to the 7th BRICS Summit]. Moscow: MISK-INES-NKI BRICS. 392 p.
14. Kolin, K. K., and I. V. Robert. 2004. *Sotsial'nye aspekty informatizatsii obrazovaniya* [Social aspects of informatization of education]. Moscow: Institute of Education of the Russian Academy of Education, Institute of Informatics Problems of the Russian Academy of Sciences. 54 p.
15. Kolin, K. K. 2006. Rossiya i mir na puti k informatsionnomu obshchestvu [Russia and the world on the way to the information society]. *Otkrytoe obrazovanie* [Open Education] 4:89–96.
16. Kolin, K. K. 2014. Global'nye ugrozy razvitiyu tsivilizatsii v XXI veke [The global threat to the development of civilization in the XXI century]. *Strategicheskie priority* [Strategic Priorities] 1:6–30.
17. Kolin, K. K. 2009. Innovatsionnoe razvitie v informatsionnom obshchestve i kachestvo obrazovaniya [Innovative development in the information society and the quality of education]. *Otkrytoe obrazovanie* [Open Education] 3:63–72.

*Received September 15, 2016*

## **Contributors**

**Kolin Konstantin K.** (b. 1935) — Doctor of Science in technology, professor, Honored scientist of RF, principal scientist, Institute of Informatics Problems, Federal Research Center “Computer Sciences and Control” of the Russian Academy of Sciences, 44-2 Vavilov Str., Moscow 119333, Russian Federation; kolinkk@mail.ru

## СОЗДАНИЕ ЧЕЛОВЕКО-МАШИННОЙ СРЕДЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

*А. В. Ильин<sup>1</sup>, В. Д. Ильин<sup>2</sup>*

**Аннотация:** Рассматривается проблема создания человеко-машинной среды решения задач моделирования в науке и технике, автоматизированного проектирования, управления, дистанционного обучения и др. Приведены результаты авторов, относящиеся к решению этой проблемы.

**Ключевые слова:** человеко-машинная среда решения задач; программируемая машина; задачный конструктивный объект; обязательные и ориентирующие правила; онлайн-сервис

**DOI:** 10.14357/08696527160413

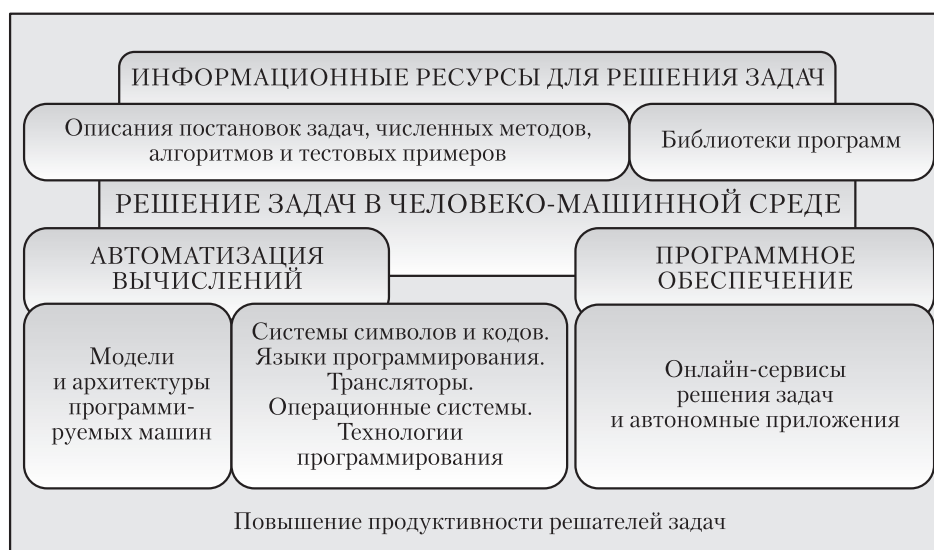
### 1 Введение

Шестьдесят лет назад трудно было представить современные масштабы массового применения электронной почты, Веба, поисковых систем, мессенджеров, навигационных систем, систем автоматизированного проектирования в электронике, машиностроении и многих других областях. Вряд ли можно было даже приблизительно оценить масштабы перемен, которые произойдут с массовым применением программируемых машин и развитием человеко-машинной среды решения задач, инфраструктурной платформой которой служит Интернет.

Примерами результатов, имеющих важное значение в методологическом обеспечении построения человеко-машинной среды решения задач (рис. 1), могут служить: изобретенная Джоном фон Нейманом модель цифровой электронной машины с хранимой программой (известная как модель фон Неймана (the von Neumann model) и архитектура фон Неймана (the von Neumann architecture)) [1]; изобретенные создателем Веба Тимоти Джоном Бернерс-Ли (Timothy John Berners-Lee) протокол HTTP (Hyper Text Transfer Protocol — протокол передачи гипертекста), являющийся протоколом прикладного уровня, определяющим правила передачи сообщений в гипермедийных системах, и унифицированный идентификатор ресурса URI (Uniform Resource Identifier), ставший стандартом записи адреса ресурса, размещенного в сети Интернет [2, 3].

<sup>1</sup>Институт проблем информатики Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук, avilyin@ipiran.ru

<sup>2</sup>Институт проблем информатики Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук, vdilyin@yandex.ru



**Рис. 1** Методологическое обеспечение построения человеко-машинной среды решения задач

### 1.1 О методологическом обеспечении

В теории *символьного моделирования* (*s-моделирования*) [4, 5] методологическое обеспечение развития *s-среды* и реализуемых на ее основе информационных технологий представлено в виде связанных между собой комплексов решения базовых задач *s-моделирования* и физико-технического воплощения *s-машин* и *s-среды*.

Результаты первого комплекса служат основанием разработок систем символов и кодов; языков спецификаций, запросов и программирования; архитектур *s-машин* и соответствующих им систем машинных команд; ассемблеров, компиляторов и интерпретаторов; операционных систем и библиотек программ; редакторов (текстовых, графических, аудио-, видео- и др.) и инструментальных систем программирования; типов и структур данных, систем управления базами данных; систем памяти, накопителей и поисковых систем; сетевых архитектур, протоколов и технологий обмена сообщениями; методов и технологий информационной безопасности.

Результаты второго комплекса используются в создании элементной базы и аппаратных средств *s-машин* и устройств, необходимых для построения *s-среды*.

В данной статье рассмотрены некоторые полученные авторами результаты, относящиеся к первому комплексу задач методологического обеспечения построения *s-среды* [4–22].

## 1.2 Выделение фрагментов текста статьи

Для выделения определений, замечаний и примеров используются следующие средства:

- (фрагмент описания) □ ≈ утверждение (определение, аксиома и др.) (здесь и далее символ ≈ заменяет слово «означает»);
- ◇ (фрагмент описания) ◇ ≈ замечание;
- (фрагмент описания) ○ ≈ пример.

Курсивом выделены первые вхождения названий понятий и фрагменты описания, к которым авторы хотят привлечь внимание.

## 2 Основные положения методологии построения s-среды

□ *S-среда* рассматривается как объединение компьютерных сетей и отдельных s-машин, используемых для решения различных задач. Служит платформой *информатизации* различных видов деятельности. □

Важным свойством s-среды является ее соответствие требованиям представления цифровых кодов s-моделей и манипулирования такими кодами с помощью s-машин [4, 5].

◇ В основе современных цифровых технологий решения задач связи, автоматизированного проектирования и др. лежит идея, заключающаяся в том, чтобы свести все многообразие используемых людьми визуальных, аудио-, тактильных и других символов к цифровым кодам. А все многообразие цифровых кодов — к единому цифровому коду (которым в наши дни продолжает оставаться двоичный код), применяемому в s-машинах, объединенных в s-среду. ◇

### 2.1 Информационное взаимодействие

□ *Информационное взаимодействие в s-среде* изучается как совокупность интерфейсов типа «человек–человек», «человек–программа», «человек – аппаратное средство s-машины», «программа–программа», «программа – аппаратное средство», «аппаратное средство – аппаратное средство». □

Человек воспринимает входные аналоговые сигналы (световые, звуковые и др.) с помощью зрительного, слухового и других входных устройств *биоинтеллекта* (биологической системы, обеспечивающей функционирование интеллекта). Интересующие его сигналы он преобразует в символьные визуальные, аудио- и другие конструкции, используемые в процессах мышления. Выходные сигналы биоинтеллекта реализуются посредством жестов (○ используемых при вводе посредством клавиатуры и мыши ○), речи и др. [4, 5]. Входом и выходом программ служат коды входных данных и результата, а входом и выходом аппаратных средств — сигналы. Входные аналоговые сигналы преобразуются в цифровые



**Рис. 2** Исследование обмена сообщениями в s-среде

с помощью аналого-цифровых преобразователей (АЦП), а выходные цифровые в аналоговые — с помощью цифроаналоговых преобразователей (ЦАП).

В современной (2016 г.) s-среде природные средства восприятия сигналов человеком, их обработки и сохранения дополнены изобретенными: цифровыми фото- и видеокамерами, смартфонами и др. Широко известная часть технологий информационного взаимодействия представлена быстро развивающимися интернет-сервисами. Для взаимодействия между людьми используются электронная почта, различные виды IP-связи [○ IP-видеотелефония (○ Skype, FaceTime и др. ○), мессенджеры (○ Telegram, Viber и др. ○)], социальные сети и др. [○]. Для взаимодействия используемых людьми вещей (систем освещения, поддержания температуры и др.) между собой и с внешней средой — информационные технологии «Интернета вещей» [The Internet of Things (IoT)] (рис. 2).

□ *Информационная технология* — программно-аппаратно-реализуемый комплекс методов и средств, предназначенный для решения одной или нескольких задач в s-среде. □

Информационные технологии реализуются на основе s-машин и s-машинных устройств (АЦП, ЦАП, сетевых маршрутизаторов и др.).

○ Применение информационной технологии создания и сохранения электронных текстовых документов предполагает наличие редактора текстовых документов (Page, Word или др.) и ноутбука, планшета или другой s-машины. ○

Методологическое обеспечение разработки информационных технологий представлено методологиями построения s-машин и операционных систем; систем



символов и кодов; языков спецификаций, запросов и программирования; трансляторов и библиотек программ; редакторов (текстовых, графических, аудио-, видео- и др.) и инструментальных систем программирования; типов и структур данных, систем управления базами данных; систем памяти, накопителей и поисковых систем; сетевых архитектур и сервисов, протоколов и технологий обмена сообщениями; интерфейсов, средств обеспечения информационной безопасности и др.

## 2.2 Информационные ресурсы

□ Информационные ресурсы в s-среде изучаются как специфицированные документы, компьютерные программы и другие сообщения, представленные в форме, рассчитанной на хранение, накопление, поиск, передачу, защиту и применение для решения задач.

Спецификация информационного ресурса — формализованное описание области его применения, места хранения и других сведений, необходимых для поиска и использования информационного ресурса. □

Формирование (○ объединение в библиотеки ○) и применение информационных ресурсов сопровождаются процессами манипулирования спецификациями информационных ресурсов и обработки их содержимого в соответствии с заданным набором правил. Извлечение информации, содержащейся в специфицированном сообщении, осуществляется с помощью средств интерпретации, описанных в спецификации информационного ресурса.

URI — унифицированный идентификатор ресурса (веб-страницы, интернет-сервиса или др.) представлен формализованной последовательностью текстовых символов, описывающей схему обращения к информационному ресурсу, источник, содержащий ресурс, и др.

## 2.3 Системы символов, кодов и сигналов s-среды

*Символы, коды и сигналы* связаны между собой отношениями преобразования. Каждому символу и символьной конструкции, рассчитанной на восприятие человеком или роботом, могут быть поставлены в однозначное соответствие коды, предназначенные для манипулирования ими с помощью программных средств s-машин.

□ *Символ* — заменитель природного или изобретенного объекта, обозначающий этот объект и являющийся элементом определенной системы построения символьных сообщений (текстов, нотных записей или др.), рассчитанных на восприятие человеком или *роботом*. □

○ Русский алфавит — система текстовых символов; буква *a* в этой системе — символ, заменяющий соответствующий звук из системы речевых аудиосимволов русского языка; букве *a* соответствует тактильный фактурный символ (воспринимаемый осязанием пальцами рук) в системе представления текстовых сообщений для слепых (известной как система Брайля). ○

Множество визуальных, аудио- и других символов, выбранных для построения сообщений определенного типа, рассматривается как множество элементарных конструктивных объектов, каждый из которых наделен набором атрибутов и совокупностью допустимых операций. Создание конструкций из элементов этого множества определено системой правил построения символьных моделей.

□ *Код* — заменитель символа или символьного сообщения, используемый для их представления в компьютерах, смартфонах и других s-машинах и предназначенный для построения, сохранения, передачи и интерпретации символьных сообщений. □

○ HTML — код веб-страницы, полученный веб-браузером от веб-сервера. ○

□ *Сигнал* — оптическое, звуковое или другое воздействие, воспринимаемое органами чувств человека или сенсорами s-машины, или представление кода в виде частоты электромагнитного излучения, композиций значений электрического напряжения или др., рассчитанное на восприятие аппаратными средствами s-машины (○ центральным процессором компьютера, *микропроцессором* автомобильного навигатора или др. ○) [4, 5]. □

#### 2.4 Задачные конструктивные объекты (s-задачи) и конструирование программ

□ *S-задача* — кортеж {Formul, Rulsys, Alg, Prog}, где Formul — постановка задачи; Rulsys — множество *систем обязательных и ориентирующих правил решения задачи* [11–13, 17, 18], поставленных в соответствие Formul; Alg — объединение множеств алгоритмов, каждое из которых соответствует одному элементу из Rulsys; Prog — объединение множеств программ, каждое из которых поставлено в соответствие одному из элементов Alg.

Постановка задачи Formul — пара {Mem, Rel}, где Mem — множество понятий задачи, на котором задано разбиение  $Mem = Inp \vee Out$  ( $Inp \wedge Out = 0$ ) и совокупность Rel связей между понятиями, определяющая бинарное отношение Rel, заданное на множествах Inp и Out.

Множество Mem — память задачи, а Inp и Out — ее вход и выход, значения которых предполагается соответственно задавать и искать.

Для каждого элемента из Rulsys, Alg и Prog задано описание применения. Описания применения элементов Rulsys включают спецификацию типа *решателя задачи* (автономная s-машина, сетевая кооперация s-машин, кооперация человек–s-машина и др.); требование к информационной безопасности и др. Описания применения элементов из Alg включают данные о допустимых режимах работы решателя задачи (автоматический локальный, автоматический распределенный, интерактивный локальный и др.), о требованиях к полученному результату и др. Описания применения программ включают данные о языках реализации, операционных системах и др. □

□ *Алгоритм* — формализованное описание конечного набора шагов решения задачи, соответствующего одному из элементов Rulsys и позволяющего поставить

в однозначное соответствие заданному набору данных, принадлежащему Inp, результирующий набор, принадлежащий Out.  $\square$

$\square$  *Программа* — алгоритм, реализованный на языке программирования высокого уровня, машинно-ориентированном языке и/или в системе машинных команд. Представлена в форме сообщения, определяющего поведение s-машинного решателя задачи с заданными свойствами. Существует в символьном, кодовом и сигнальном воплощениях, связанных отношениями трансляции.  $\square$

$\diamond$  Спецификация программируемой задачи и программа соотносятся как, например, проектная документация и изготовленный по ней станок, пригодность (правильность) которого можно определить только путем тестов, разработанных квалифицированными специалистами, хорошо знающими, что должен «уметь» испытуемый и какими эксплуатационными характеристиками (включая удобство пользования и надежность) должен обладать.  $\diamond$

S-задача изучается как *задачный конструктивный объект*, свойства которого предусматривают возможности построения типизированных задачных конструкций [6–10, 14–16, 19].

$\square$  Тип  $X \approx$  множество  $X$ , элементы которого имеют фиксированный набор атрибутов и семейство допустимых операций. Может иметь подтипы, называемые специализациями типа  $X$ , и надтипы, называемые обобщениями типа  $X$ .  $\square$

$\square$  Специализация типа  $X$  — порождение подтипа  $X$  [::rule] (здесь сдвоенное двоеточие «::» — символ специализации) с семейством связей, расширенным добавлением связи rule. Выделяет подмножество  $X$  [::rule] множества  $X$ . Специализацией называют и результат  $X$  [:: rule] этого порождения.  $\square$

Специализация типа, заданная последовательностью добавленных связей  $X$  [::(rule1)::rule2], — специализация типа  $X$  [::rule1] по связи rule2. Число специализирующих связей в последовательности не ограничено. При этом имена связей, предшествующие последнему, заключены в круглые скобки, а перед открывающей скобкой каждой пары скобок — сдвоенное двоеточие.

$\square$  Обобщение типа  $Z$  — это порождение его надтипа  $Z$  [#rule] путем ослабления (здесь # — символ ослабления) связи rule из семейства связей, соответствующего типу  $Z$ . Исключение связи считают ее предельным ослаблением.  $\square$

## 2.5 Классы базовых задач

Определения классов базовых задач, приведенные в [4, 5], здесь уточнены. Добавлен класс задач «*Взаимодействие в человеко-машинной среде решения задач*».

1. *Представление моделей произвольных объектов*, рассчитанных на восприятие человеком и программируемыми машинами, связано с изобретением языков сообщений, удовлетворяющих определенным требованиям. В этом классе изучаются системы символов и кодов, используемые соответственно в человеко- и машинно-ориентированных языках. К первым отнесены языки

спецификаций, программирования, запросов; ко вторым — системы машинных команд. Этот класс включает также задачи представления данных. В него входят задачи представления моделей систем понятий, на которых интерпретируются сообщения. На верхнем уровне задачной иерархии этого класса находится представление моделей систем знаний.

2. *Преобразование типов и форм представления символьных моделей* позволяет устанавливать соответствия между моделями. Задачи преобразования типов (например, речевой в текстовый и обратно и др.) и форм (○ аналоговой в цифровую и обратно; несжатой в сжатую и обратно; одной формы представления документа в другую: \*.doc в \*.pdf ○) — необходимое дополнение к задачам представления моделей.
3. *Распознавание сообщения* предполагает необходимость его представления в формате, известном получателю. При выполнении этого условия для распознавания сообщения решаются задачи сопоставления с моделями-образцами, либо сопоставления свойств распознаваемой модели со свойствами моделей-образцов. Данные, поступающие на вход программы (входные данные), распознаются программой в соответствии с описаниями типов данных (числовых, текстовых и др.) и форматов ввода, заданных в программе. Тип данных определяет множество значений для элементов данных и совокупность допустимых операций над данными. Результат обработки представлен выходными данными, для которых также заданы описания типов. Вывод результата (на экран, печать или др.) осуществляется в соответствии с форматами вывода. ○ В задаче биометрической идентификации человека его биометрические данные (входное сообщение) сопоставляются с биометрическими образцами из базы данных биометрической системы. ○
4. *Конструирование моделей систем понятий, систем знаний, интерпретаторов сообщений на моделях систем понятий; моделей задач, программирования, взаимодействия в s-среде; моделей архитектур программируемых машин, компьютерных сетей, сервис-ориентированных архитектур; моделей сообщений и средств их построения, документов и документооборота.* На верхнем уровне иерархии этого класса находятся задачи конструирования моделей s-среды и технологий символьного моделирования.
5. *Интерпретация сообщений* (извлечение информации) предполагает существование принятого сообщения, модели системы понятий, на которой оно должно интерпретироваться, и механизма интерпретации. Решение задач в s-среде — интерпретация исходных данных (входного сообщения) на модели системы понятий, представленной в алгоритме. Результат решения — выходное сообщение (информация, извлеченная из входного сообщения). Если интерпретатором служит исполняемая программа, то исходные данные, программа и результат решения задачи представлены соответствующими кодами. Для микропроцессора программируемой машины сообщения, подлежащие интерпретации, и результаты интерпретации представлены сигналами, соответствующими кодам машинных команд и данных.

- При съемках цифровой фотокамерой сообщение (в виде светового сигнала) воздействует на светочувствительную матрицу, распознается ею, а затем преобразуется в цифровой код изображения, который интерпретируется программой, улучшающей качество изображения. Полученный результат преобразуется и записывается (на встроенный накопитель камеры или карту памяти) как графический файл. ○
6. *Обмен сообщениями*: изучаются задачи обмена сообщениями в s-среде решения задач (с типизацией отправителей и получателей; средств отправки, передачи и получения сообщений; сред передачи сообщений). Изобретаются системы правил обмена сообщениями (сетевые протоколы); архитектуры сетей, сервис-ориентированные архитектуры; системы документооборота.
- Сообщениями обмениваются процессы *операционных систем*. ○
7. *Сохранение, накопление и поиск*: изучаются и типизируются память и накопители, механизмы управления ими; формы сохранения и накопления; носители, методы сохранения, накопления и поиска; базы данных и библиотеки программ. Изучаются модели предмета поиска (по образцу, по признакам, по описанию свойств) и методов поиска.
8. *Взаимодействие в человеко-машинной среде решения задач*: изучаются задачи построения интерфейсов типа «человек–человек», «человек–программа», «человек – аппаратное средство программируемой машины», «программа–программа», «программа – аппаратное средство», «аппаратное средство – аппаратное средство».
9. *Информационная защита*: изучаются задачи предотвращения и обнаружения уязвимостей, контроля доступа, защиты от вторжений, вредоносных программ, перехвата сообщений и несанкционированного применения.

### 3 Заключение

Рассмотрена проблема методологического обеспечения построения *человеко-машинной среды решения задач (s-среды)* [4, 5]. Приведена часть полученных авторами результатов, относящихся к методологическому обеспечению развития s-среды:

- основы теории символьного моделирования произвольных объектов в человеко-машинной среде [4, 5];
- представление знаний о программируемых задачах и конструирование программ [6–10, 14–16, 19].

### Литература

1. Von Neuman J. First draft of a report on EDVAC. — Moore School of Electrical Engineering University of Pennsylvania, June 30, 1945. 49 p. <http://www.virtualtravelog.net/wp/wp-content/media/2003-08-TheFirstDraft.pdf>.

2. *Berners-Lee T.* Information management: A proposal. — CERN, March 1989–May 1990. <https://www.w3.org/History/1989/proposal.html>.
3. *Berners-Lee T.* Long live the Web // *Sci. Am.*, 2010. Vol. 303. No. 6. P. 80–85.
4. *Ильин А. В., Ильин В. Д.* Основы теории s-моделирования. — М.: ИПИ РАН, 2009. 143 с. doi: 10.13140/2.1.3062.8800.
5. *Ильин А. В., Ильин В. Д.* Символьное моделирование в информатике. — М.: ИПИ РАН, 2011. 204 с. doi: 10.13140/2.1.3587.1689.
6. *Ильин В. Д.* Представление знаний о задачах в системе порождения программ. — М.: ИПИ АН СССР, 1989. Препринт. 50 с.
7. *Ильин В. Д.* Система порождения программ. — М.: Наука, 1989. 264 с. <http://elibrary.ru/item.asp?id=24889586>. doi: 10.13140/RG.2.1.3150.6967.
8. *Ильин В. Д.* Порождение целевых программных систем: элементы теории // Системы и средства информатики, 1992. Вып. 2. С. 3–44.
9. *Ильин В. Д.* Обработка знаний о мире задач и конструирование программных систем // Системы и средства информатики, 1992. Вып. 3. С. 19–34.
10. *Plyin V. D.* A methodology for knowledge based engineering of parallel program systems // 8th Conference (International) on Industrial and Engineering Applications of Artificial Intelligence and Expert Systems Proceedings. — Newark, NJ, USA: Gordon and Breach Science Publishers, 1995. P. 805–809.
11. *Ильин А. В.* Технология интерактивного распределения ресурсов по изменяемым системам правил // Системы и средства информатики, 2002. Спец. вып. С. 86–99.
12. *Ильин А. В., Ильин В. Д.* Интерактивный преобразователь ресурсов с изменяемыми правилами поведения // Информационные технологии и вычислительные системы, 2004. № 2. С. 67–77.
13. *Ильин А. В., Ильин В. Д.* Распределение ресурсов по обязательным и ориентирующим правилам: сравнительная эффективность алгоритмов // Системы и средства информатики, 2005. Т. 24. № 3. С. 192–203.
14. *Ильин А. В.* Конструирование разрешающих структур на задачах графах системы знаний о программируемых задачах // Информационные технологии и вычислительные системы, 2007. № 3. С. 30–36.
15. *Ильин А. В., Ильин В. Д.* S-моделирование задач и конструирование программ. — М.: ИПИ РАН, 2012. 148 с. doi: 10.13140/2.1.2800.7361.
16. *Ильин В. Д.* Система порождения программ. Версия 2013 г. — М.: ИПИ РАН, 2013. doi: 10.13140/2.1.1752.1605.
17. *Ильин А. В.* Экспертное планирование ресурсов. — М.: ИПИ РАН, 2013. 50 с.
18. *Plyin A. V., Plyin V. D.* The technology of interactive resource allocation in accordance with the customizable system of rules // *Appl. Math. Sci.*, 2013. Vol. 7. No. 143. P. 7105–7111. doi: 10.12988/ams.2013.311649.
19. *Ильин А. В., Ильин В. Д.* Систематизация знаний о программируемых задачах // Системы и средства информатики, 2014. Т. 24. № 3. С. 192–203. doi: 10.14357/08696527140314.
20. *Plyin A. V., Plyin V. D.* The interval method of cost planning and its implementation in the online service // *Contemp. Eng. Sci.*, 2014. Vol. 7. No. 20. P. 931–938. doi: 10.12988/ces.2014.48114.

21. Ilyin A. V., Ilyin V. D. Interval planning the supplies of scarce product // Contemp. Eng. Sci., 2015. Vol. 8. No. 31. P. 1495–1498. doi: 10.12988/ces.2015.59263.
22. Ильин А. В. Интернет-сервис планирования расходов // Системы и средства информатики, 2015. Т. 25. № 2. С. 111–122. doi: 10.14357/08696527150207.

Поступила в редакцию 12.09.16

---

---

## CREATION OF A HUMAN–MACHINE ENVIRONMENT FOR PROBLEM SOLVING

*A. V. Ilyin and V. D. Ilyin*

Institute of Informatics Problems, Federal Research Center “Computer Sciences and Control” of the Russian Academy of Sciences, 44-2 Vavilov Str., Moscow 119333, Russian Federation

**Abstract:** The article concerns the issue of creating a human–machine environment for solving the problems of modeling in science and engineering, computer-aided design, control, distance learning, etc. The authors’ results related to the problem are presented.

**Keywords:** human–machine environment for solving problems; programmable machine; task constructive object; mandatory and orienting rules; online service

**DOI:** 10.14357/08696527160413

### References

1. Von Neuman, J. June 30, 1945. *First draft of a report on EDVAC*. Moore School of Electrical Engineering University of Pennsylvania. 49 p. Available at: <http://www.virtualtravelog.net/wp/wp-content/media/2003-08-TheFirstDraft.pdf> (accessed November 15, 2016).
2. Berners-Lee, T. March 1989–May 1990. *Information management: A proposal*. CERN. Available at: <https://www.w3.org/History/1989/proposal.html> (accessed September 10, 2016).
3. Berners-Lee, T. 2010. Long live the Web. *Sci. Am.* 303(6):80–85.
4. Ilyin, A. V., and V. D. Ilyin. 2009. *Osnovy teorii s-modelirovaniya* [Basics of the theory of s-modeling]. Moscow: Institute of Informatics Problems of the Russian Academy of Sciences. 143 p. doi: 10.13140/2.1.3062.8800.
5. Ilyin, A. V., and V. D. Ilyin. 2011. *Simvol’noe modelirovanie v informatike* [The symbol modeling in informatics]. Moscow: Institute of Informatics Problems of the Russian Academy of Sciences. 204 p. doi: 10.13140/2.1.3587.1689.
6. Ilyin, V. D. 1989. *Predstavlenie znaniy o zadachakh v sisteme porozhdeniya programm* [Representation of knowledge about tasks in the system of program generating]. Preprint. Moscow: Institute of Informatics Problems of Academy of Sciences of the USSR. Preprint. 50 p.

7. Ilyin, V. D. 1989. *Sistema porozhdeniya programm* [The system of program generating]. Moscow: Nauka. 264 p. doi: 10.13140/RG.2.1.3150.6967.
8. Ilyin, V. D. 1992. Porozhdenie tselevykh programmykh sistem: Elementy teorii [Generating of program systems with specified functionality and properties: The theory basics]. *Sistemy i Sredstva Informatiki — Systems and Means of Informatics* 2:3–44.
9. Ilyin, V. D. 1992. Obrabotka znaniy o mire zadach i konstruirovaniye programmykh sistem [Design of the knowledge system of programmable tasks for the program generating system]. *Sistemy i Sredstva Informatiki — Systems and Means of Informatics* 3:19–34.
10. Ilyin, V. D. 1995. A methodology for knowledge based engineering of parallel program systems. *8th Conference (International) on Industrial and Engineering Applications of Artificial Intelligence and Expert Systems Proceedings*. Newark, NJ: Gordon and Breach Science Publishers, Inc. 805–809.
11. Ilyin, A. V. 2002. Tekhnologiya interaktivnogo raspredeleniya resursov po izmenyaemykh sistemam pravil [The technology of interactive resource planning based on changeable rules system]. *Sistemy i Sredstva Informatiki — Systems and Means of Informatics*. Special edition. 86–99.
12. Ilyin, A. V., and V. D. Ilyin. 2004. Interaktivnyy preobrazovatel' resursov s izmenyaemykh pravilami povedeniya [The interactive converter of resources with the customizable rules of conduct]. *Informatsionnye Tekhnologii i Vychislitel'nye Sistemy* [Information Technology and Computer Systems] 2:67–77.
13. Ilyin, A. V., and V. D. Ilyin. 2005. Raspredeleniye resursov po obyazatel'nykh i orientiruyushchikh pravilam: Sravnitel'naya effektivnost' algoritmov [Resource allocation in accordance with mandatory and orienting rules: Comparative effectiveness of algorithms]. *Sistemy i Sredstva Informatiki — Systems and Means of Informatics* 24(3):192–203.
14. Ilyin, A. V. 2007. Konstruirovaniye razreshayushchikh struktur na zadachnykh grafakh sistemy znaniy o programmiruemykh zadachakh [Construction of solving structures in task graphs of knowledge system of programmable tasks]. *Informatsionnye Tekhnologii i Vychislitel'nye Sistemy* [Information Technology and Computer Systems] 3:30–36.
15. Ilyin, A. V., and V. D. Ilyin. 2012. *S-modelirovaniye zadach i konstruirovaniye programm* [S-modeling of tasks and construction of programs]. Moscow: Institute of Informatics Problems of the Russian Academy of Sciences. 148 p. doi: 10.13140/2.1.2800.7361.
16. Ilyin, V. D. 2013. *Sistema porozhdeniya programm. Versiya 2013 g.* [The system of program generating. Version 2013]. Moscow: Nauka. 142 p. doi: 10.13140/2.1.1752.1605.
17. Ilyin, A. V. 2013. *Ekspertnoye planirovaniye resursov* [Expert resource planning]. Moscow: Institute of Informatics Problems of the Russian Academy of Sciences. 50 p.
18. Ilyin, A. V., and V. D. Ilyin. 2013. The technology of interactive resource allocation in accordance with the customizable system of rules. *Appl. Math. Sci.* 7(143):7105–7111. doi: 10.12988/ams.2013.311649.
19. Ilyin, A. V., and V. D. Ilyin. 2014. Sistematizatsiya znaniy o programmiruemykh zadachakh [Systematization of knowledge about programmable tasks]. *Sistemy i Sredstva Informatiki — Systems and Means of Informatics* 24(3):192–203. doi: 10.14357/08696527140314.



20. Ilyin, A. V., and V. D. Ilyin. 2014. The interval method of cost planning and its implementation in the online service. *Contemp. Eng. Sci.* 7(20):931–938. doi: 10.12988/ces.2014.48114.
21. Ilyin, A. V., and V. D. Ilyin. 2015. Interval planning the supplies of scarce product. *Contemp. Eng. Sci.* 8(31):1495–1498. doi: 10.12988/ces.2015.59263.
22. Ilyin, A. V. 2015. Internet-servis planirovaniya raskhodov [The online service for cost planning]. *Sistemy i Sredstva Informatiki — Systems and Means of Informatics* 25(2):111–122. doi: 10.14357/08696527150207.

*Received September 12, 2016*

### **Contributors**

**Ilyin Alexander V.** (b. 1975) — Candidate of Science (PhD) in technology, senior scientist, Institute of Informatics Problems, Federal Research Center “Computer Science and Control” of the Russian Academy of Sciences, 44-2 Vavilov Str., Moscow 119333, Russian Federation; avilyin@ipiran.ru

**Ilyin Vladimir D.** (b. 1937) — Doctor of Science in technology, Head of Laboratory, Institute of Informatics Problems, Federal Research Center “Computer Science and Control” of the Russian Academy of Sciences, 44-2 Vavilov Str., Moscow 119333, Russia; vdilyin@yandex.ru

## КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ ОСНОВЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ОБРАБОТКИ НЕСТРУКТУРИРОВАННОЙ ИНФОРМАЦИИ В ПЕРСПЕКТИВНЫХ СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ

*И. И. Быстров<sup>1</sup>, В. Н. Козичев<sup>2</sup>, Б. В. Тарасов<sup>3</sup>*

**Аннотация:** Рассматривается системный знание-ориентированный (ЗО) подход к автоматизированной обработке неструктурированной информации (НСИ). Данный подход позиционируется как теоретическая основа перехода от индустрии обработки данных к индустрии обработки знаний, извлекаемых из неформализованных текстов на естественном языке (ЕЯ-текстов). Предлагаются методы построения лингвистического и онтологического процессоров и семантического поисковика в перспективных автоматизированных информационных системах управления (АСУ).

**Ключевые слова:** неструктурированная информация; знание-ориентированный подход; ЕЯ-текст; лингвистический процессор; онтологический процессор; семантический поисковик

**DOI:** 10.14357/08696527160414

### 1 Введение

В настоящее время широким фронтом идет процесс создания и практического использования в государственных и коммерческих организациях АСУ класса распределенных информационно-телекоммуникационных систем с опорой на взаимосвязанную совокупность центров обработки данных (ЦОД) с предоставлением информации в различном виде в ситуационные центры (СЦ) для принятия решения руководством. Сегодня до 80% потока входящей информации, требующей автоматизированной обработки, представляет собой разнородную и разноформатную НСИ. Неслучайно, что одним из наиболее часто упоминаемых сегодня терминов в области информационных технологий стал Big Data, который *означает не только большой объем данных, но и их смысловую сложность, вариантность, тематическую разнородность и неструктурированность.*

---

<sup>1</sup>Институт проблем информатики Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук, [ibystrov@ipiran.ru](mailto:ibystrov@ipiran.ru)

<sup>2</sup>Институт проблем информатики Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук, [vkozichev@mail.ru](mailto:vkozichev@mail.ru)

<sup>3</sup>Институт проблем информатики Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук, [tarasov@npmodul.ru](mailto:tarasov@npmodul.ru)

## 2 Знание-ориентированный подход к обработке неструктурированной информации

Существующая практика создания и применения концепции баз и банков данных показала их недостаточную приспособленность к обработке больших объемов НСИ и решению многих задач, связанных с глубинным анализом и синтезом смыслового содержания исходной информации. Концептуальной основой автоматизированной обработки НСИ является продуктивное осмысление знаний, содержащихся в ЕЯ-текстах исходной информации, с выделением декларативной и процедурной составляющей в процессе их логико-семантической обработки в АСУ. В процессе создания системы, способной обрабатывать НСИ, важной методологической проблемой является придание АСУ способности поддерживать требуемое соотношение между декларативными и процедурными компонентами системы в процессе автоматической обработки исходных ЕЯ-текстов. Ядром системы, способной воспринять и переработать потоки НСИ, являются методы и средства автоматизированного распознавания, извлечения и формализации знаний, содержащихся в исходной информации. Отсюда возникает требование к перспективным АСУ: они должны обладать свойствами ЗО системы [1]. Обработка НСИ в АСУ сопряжена с решением широкого круга задач, таких как рубрикация и кластеризация документов, автоматическое аннотирование документов, вводимых в систему, поиск ответов на запросы пользователей, сегментирование содержания документов при организации библиотеки электронных массивов и многое другое. Решение этих задач связано с обработкой лингвистических и онтологических знаний, используемых в приложениях информационного поиска и автоматической обработки содержания поступающих в систему текстов.

Основой создания перспективных ЗО АСУ является включение в ее состав компонент лингвистического, информационного и программного обеспечения, поддерживающих решение задач анализа знаний, синтез новых знаний и управления знаниями в процессе общения пользователя с системой. В работе [2] процессы, основанные на порождении новых знаний на основе семантического синтеза информации, названы динамическими. В связи с этим исследования динамических информационных процессов определяет дальнейший прогресс в области индустрии знаний. При выборе способа придания АСУ ЗО свойств необходимо определить тип модели представления знаний: продукционная, формально-логическая, фреймовая или семанτικο-сетевая. На основе этой модели синтезируется общая схема ввода и обработки НСИ, включающая текст-процессинг работы со знаниями и логико-семантический подход к обработке текстовой информации. Обобщенный класс задач, решение которых должны обеспечивать перспективные ЗО АСУ, выглядит следующим образом:

- технологический дейтамайнинг, который позволяет извлекать знания (скрытые закономерности, факты, неизвестные взаимосвязи и т. п.) из больших объемов структурированной информации, хранимой в базе данных (БД);

- технологический текстомайнинг, который позволяет находить новые знания в неструктурированных текстовых массивах, т. е. осуществлять перевод неструктурированных текстовых массивов в структурированные знания или данные для последующей обработки с помощью семантических процессоров или стандартных методов дейтамайнинга;
- разработка алгоритмов и методов поддержки принятия решений по целесообразному управлению на основе анализа больших объемов НСИ и слабоструктурированных текстов;
- автоматический концептуальный анализ со смысловой интерпретацией данных и знаний, извлекаемых из НСИ;
- создание средств, обеспечивающих эффективное общение человека с системой на естественном языке в форме текстуального или речевого обмена;
- разработка программных приложений формирования логических выводов и объяснений полученных результатов;
- возможность автоматического перевода текстовой и речевой информации с иностранного языка на естественный русский язык для представления пользователю или обработки стандартными методами АСУ;
- мониторинг и анализ обстановки по вопросам социального, политического, военного, экономического развития: семантическая интероперабельность АСУ органов государственной власти на основе логико-семантического анализа всей поступающей в ЦОД и СЦ текущей информации, ее обобщение, сопоставление и представление заинтересованным должностным лицам в соответствии с их требованиями;
- семантический поиск партигентности и релевантности полнотекстовых документов смыслу запроса. Например, по типу углубленного анализа содержания документов, найденных по индексам сети Интернет.

### **3 Термосистема обработки неструктурированной информации**

Из множества основополагающих понятий обработки знаний рассмотрим только базовые понятия, выражающие в наибольшей степени проблемность области построения ЗО АСУ, поддерживающих обработку НСИ. Основными архилексемами здесь являются: предметная область (ПО), текст, знания, данные, метаданные и метазнания [3]. Центральным понятием при создании ЗО АСУ является понятие «знание». Для практических целей автоматизации ПО целесообразно определить категорию знания косвенно через свойство формального описания смысла текста. Применительно к ЗО АСУ в прикладном плане целесообразно рассматривать две трактовки термина «знание». Первая акцентирована на прагматических аспектах представления знаний как данных, характеризующих объекты, процессы и явления ПО, представленные в формализованном виде, пригодном для обработки в ЗО АСУ существующими средствами. Вторая точка зрения акцентирована на содержательных аспектах неформализованного

текста, когда знания представляются совокупностью понятий об объективности и действительности ПО. Концептуальной основой понятия является то, что оно возникает в результате продуктивного осмысления декларативной информации о сущностях ПО и преобразования ее с помощью известных и необходимых правил [4].

Методологическую основу построения лингвистического и информационного обеспечения ЗО АСУ составляют теория и практика разработки онтологии и компьютерной лингвистики. Онтология, по определению Грубера [5], есть спецификация концептуализации, формализованное представление основных понятий и связей между ними. Применение онтологии в перспективных ЗО АСУ, ориентированных на обработку больших объемов НСИ (Big Data), активно развивается, но находится на стадии «первоначального изучения» и решения проблемы семантической интероперабельности. Онтология определяет структуру и словари статистических знаний, связи между понятиями, что в совокупности со специальными понятиями конкретного текста определяет формализованное описание содержания лингвистического обеспечения. На базе онтологического моделирования ПО в ЗО АСУ (ЦОД и СЦ) создаются машинные компоненты манипулирования и управления знаниями, базами знаний (БЗ), метаданными и метазнаниями (онтологический инжиниринг и реинжиниринг). Иными словами, это система понятий, описывающих содержание НСИ в формате ПО для последующей реализации на уровне задач. В работе [6] предлагается схема ранжирования онтологии и компьютерной лингвистики при проектировании ЗО АСУ.

Онтологическая компонента в ЗО АСУ обеспечивает поддержку автоматизированного решения следующих логико-семантических задач: семантической разметки текстов концептами и отношениями; извлечения знаний (понятий) из текстов на основе распознавания и разметки концептуальных элементов; поддержки лингвистического анализа (разрешение грамматической и лексической многозначности); разрешения референций; поддержки объяснений и выводов.

Онтологический инжиниринг составляет методологическую основу для всего процесса проектирования комплексных автоматизированных систем, так как он объединяет две основные технологии: традиционную технологию проектирования АСУ и технологию построения компонент ЗО обработки больших объемов НСИ при скоординированном взаимодействии онтологических моделей и лингвистических моделей конкретного текста. Основная задача применения онтологического подхода при обработке НСИ в ЗО АСУ — формализация знаний, содержащихся в исходных текстах, путем их систематизации, создания единой иерархии понятий, унификации терминов и правил семантического поиска знаний, релевантных смыслу запроса. При этом для формализации онтологии помимо известных языков представления знаний применяются специальные семантические конструкции: исчисления многоместных предикатов, языки типа HTML (HyperText Markup Language), XML (eXtensible Markup Language) и др. На рис. 1 представлена общая схема онтологического проектирования лингвистического обеспечения ЗО АСУ в процессе обработки.



**Рис. 1** Общая схема применения онтологического инжиниринга для проектирования ЗО АСУ

Основным инструментарием реализации логико-семантической компоненты служат методы и средства компьютерной лингвистики. Методологической основой обработки НСИ является концептуальная парадигма онтологического подхода с целью концептуализации извлечения знаний из информации исходных текстов различных источников, предоставления знаний и манипулирования ими при поиске и обобщении знаний, адекватных требованиям пользователя по выработке обоснованных решений.

На рис. 2 отражена связь между соответствующими процессами, последовательность которых составляет основу текст-процессинга работы со знаниями и логико-семантического подхода формирования лингвистического и информационного обеспечения в ЗО АСУ.

В работе [7] приведена технология онтолингвистического процессинга, преобразования текстового представления документов исходной НСИ в ее формализованное представление на основе выявления понятий из текста. Общая схема алгоритма выявления наименований понятий в текстах документов представлена на рис. 3.



**Рис. 2** Синтезированная схема работы со знаниями

В этом алгоритме в качестве базовой теоретической основы используется фразеологический концептуальный анализ, констатирующий, что смысловое содержание текста выражается наиболее устойчивой единицей смысла — понятием. Исследования свидетельствуют о возможности использования данного концептуального подхода к обработке больших объемов НСИ с использованием технологии Big Data в ЗО АСУ, построенных на базе архитектуры современных суперкомпьютеров. Переход к обработке знаний в АСУ требует не только теоретических исследований, но и создания перспективных методологий проведения multidisciplinary научных исследований по решению инженерных задач создания программных компонент в структуре ЗО АСУ, поддерживающих предсказательное моделирование и применение когнитивных моделей. Общая схема интегрированной ЗО АСУ представлена на рис. 4.

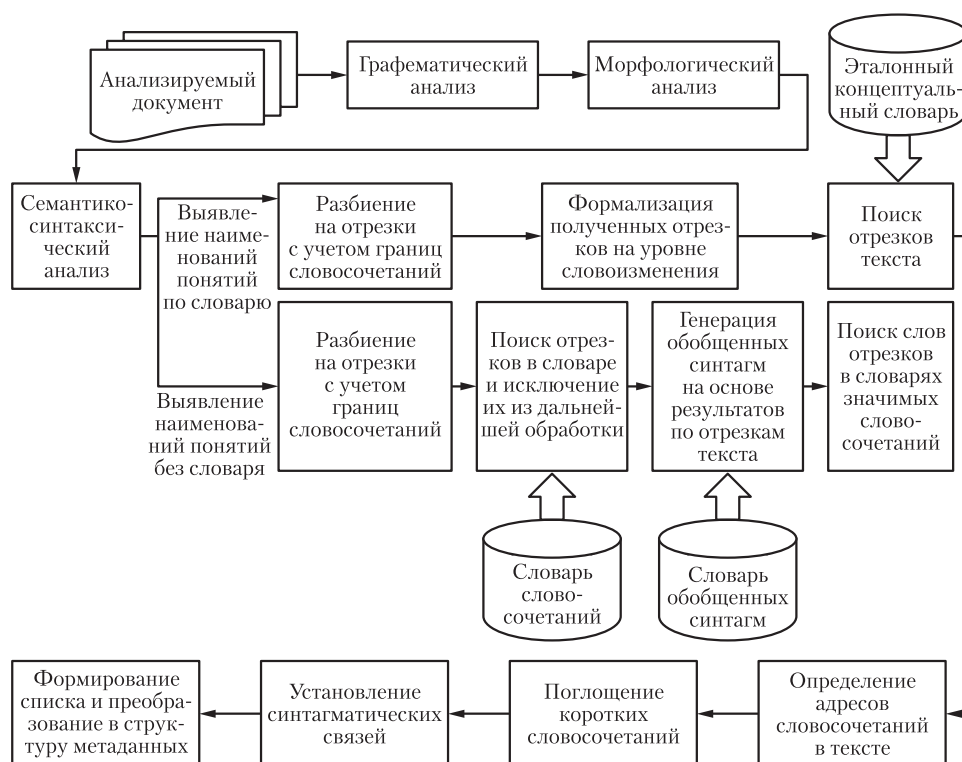


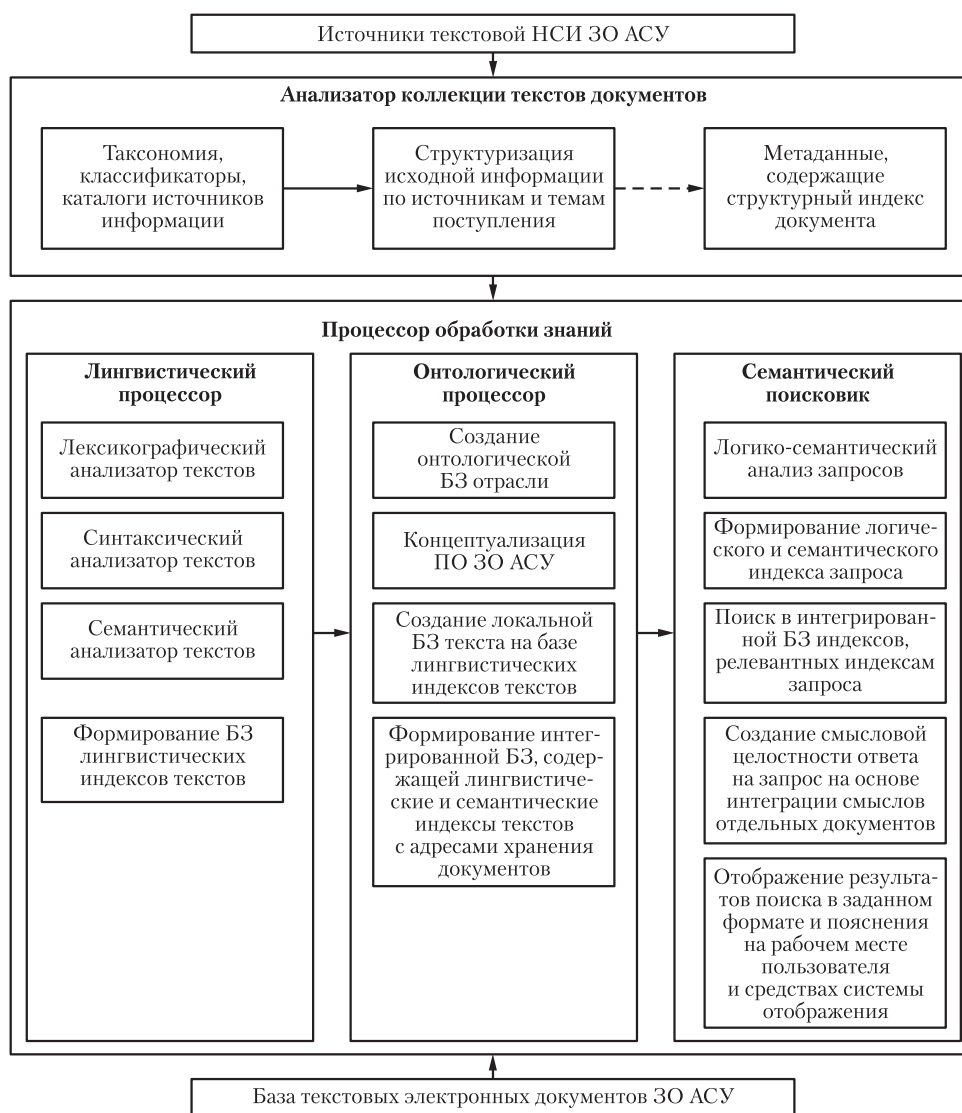
Рис. 3 Общая схема алгоритма выявления наименований понятий в текстах документов

Такая архитектура применения ЗО АСУ позволит реализовать технологическую цепочку: онтологический анализ ПО → компьютерная обработка ЕЯ-текстов → представление знаний → обработка данных и знаний → формирование семантически адекватных требованиям запроса результатов обработки различных видов структурного представления источника исходной информации для принятия обоснованных решений.

#### 4 Заключение

Проведенные авторами исследования показывают, что для построения реально применимых интеллектуальных систем недостаточно разработать некий набор программных приложений, а необходимо также модернизировать все традиционные базовые компоненты современных АСУ на основе системного подхода к построению ЗО АСУ. Рассмотренный в статье подход составляет основу методологии проектирования ЗО АСУ с обработкой формализованных знаний, извлекаемых из НСИ на естественном языке.





**Рис. 4** Общая схема интегрированной ЗО АСУ

В статье изложены концептуальные основы системного проектирования облика ЗО АСУ, поддерживающие предварительную обработку НСИ с формированием необходимых процессорных компонент лингвистического и информационного обеспечения с интегрированным применением методов и средств онтологии и компьютерной лингвистики.

## Литература

1. *Шемаев В. Н., Замаруева И. В., Приймак М. В., Дубровский Е. Н.* Знание-ориентированный подход к анализу естественно-языковой текстовой информации в интересах мониторинга и оценки ситуаций // Проблемы программирования, 2000. № 1-2. С. 601–614.
2. *Гладких Н. Г.* Информационная динамика. — М.: Аксон, 2004. 160 с.
3. *Ермаков А. Е.* Извлечение знаний из текста и их обработка: состояние и перспективы // Информационные технологии, 2009. № 7. С. 50–55.
4. *Палагин А. В., Кривой С. Л., Петренко Н. Г.* Знание-ориентированные информационные системы с обработкой естественно-языковых объектов: основы методологии и архитектурно-структурная организация // Управляющие системы и машины, 2009. № 3. С. 42–57.
5. *Gruber T. R.* Towards principles for the design of ontologies used for knowledge sharing // Int. J. Hum.-Comput. St., 1994. Vol. 43. No. 5/6. P. 907–928.
6. *Быстров И. И., Тарасов Б. В., Хорошилов А. А., Радоманов С. И., Гукасов В. М.* Онтология и компьютерная лингвистика в автоматизированных информационных системах // Медицина и высокие технологии, 2015. № 4. С. 31–38.
7. *Хорошилов А. А.* Методы, модели, алгоритмы и экспериментальное программное обеспечение автоматического выявления неявно выраженных заимствований в научно-технических текстах: Автореф. дисс. . . . канд. техн. наук. — М., 2015. 26 с.

*Поступила в редакцию 07.09.16*

---

---

## CONCEPTUAL BASIS FOR THE UNSTRUCTURED INFORMATION AUTOMATED PROCESSING IN PERSPECTIVE CONTROL SYSTEMS

*I. I. Bystrov, V. N. Kozichev, and B. V. Tarasov*

Institute of Informatics Problems, Federal Research Center “Computer Sciences and Control” of the Russian Academy of Sciences, 44-2 Vavilov Str., Moscow 119333, Russian Federation

**Abstract:** The knowledge-based approach to unstructured information automated processing is considered. This approach is positioned as theoretical basis for the transition from data-processing industry to the industry of knowledge extracted from unstructured texts in natural language processing. The methods for constructing a linguistic and ontological processor and semantic search engine in perspective automated control systems (ACS) have been proposed.

**Keywords:** unstructured information; knowledge-oriented approach; NL-text; linguistic and ontological processor; semantic search engine

**DOI:** 10.14357/08696527160414

## References

1. Shemayev, V. N., I. V. Zamaruyeva, M. V. Priymak, and E. N. Dubrovskiy. 2000. Znanie-orientirovanny podkhod k analizu estestvenno-yazykovoy tekstovoy informatsii v interesakh monitoringa i otsenki situatsiy [Knowledge-oriented approach to natural language texts analysis for monitoring and situation evaluation]. *Problemy Programirovaniya* [Programming Problems] 1-2:601–614.
2. Gladkikh, N. G. 2004. *Informatsionnaya dinamika* [Information dynamics]. Moscow: Akson. 160 p.
3. Ermakov, A. E. 2009. Izvlechenie znaniy iz teksta i ikh obrabotka: Sostoyanie i perspektivy [Knowledge extraction out of text and their processing: State and perspectives]. *Informatsionnye Tekhnologii* [Information Technologies] 155:50–55.
4. Palagin, A. V., S. L. Krivoy, and N. G. Petrenko. 2009. Znanie-orientirovannye informatsionnye sistemy s obrabotkoy estestvenno-yazykovykh ob"ektov: Osnovy metodologii i arkhitekturno-strukturnaya organizatsiya [Knowledge-oriented information systems with natural language objects processing: Basis methodologies and architectural structural organization]. *Upravlyayushchie Sistemy i Mashiny* [Control Systems and Machines] 3:42–57.
5. Gruber, T. R. 1994. Towards principles for the design of ontologies used for knowledge sharing. *Int. J. Hum.-Comput. St.* 43(5-6):907–928.
6. Bystrov, I. I., B. V. Tarasov, A. A. Khoroshilov, S. I. Radomanov, and V. M. Gukasov. 2015. Ontologiya i komp'yuternaya lingvistika v avtomatizirovannykh informatsionnykh sistemakh [Ontology and computer linguistic in automatic information system]. *Meditsina i Vysokiy Tekhnologii* [Medicine and High Technology] 4:31–38.
7. Khoroshilov, A. A. 2015. Metody, modeli, algoritmy i eksperimental'noe programnoe obespechenie avtomaticheskogo vyavleniya neyavno vyrazhennykh zaimstvovaniy v nauchno-tekhnicheskikh tekstakh [Methods, models, algorithms, and experimental software for implied borrowing automatic computation in scientific technical texts]. Moscow. IPI RAN. PhD Thesis. 26 p.

Received September 7, 2016

## Contributors

**Bystrov Igor I.** (b. 1931) — Doctor of Science in technology, professor, Head of Department, Institute of Informatics Problems, Federal Research Center “Computer Science and Control” of the Russian Academy of Sciences, 44-2 Vavilov Str., Moscow 119333, Russian Federation; bystrov@ipiran.ru

**Kozichev Vyacheslav N.** (b. 1957) — Doctor of Science in technology, senior scientist, Institute of Informatics Problems, Federal Research Center “Computer Science and Control” of the Russian Academy of Sciences, 44-2 Vavilov Str., Moscow 119333, Russian Federation; vkozichev@mail.ru

**Tarasov Boris V.** (b. 1946) — Doctor of Science in technology, professor, leading scientist, Institute of Informatics Problems, Federal Research Center “Computer Science and Control” of the Russian Academy of Sciences, 44-2 Vavilov Str., Moscow 119333, Russian Federation; tarasov@npcmodul.ru

---

## ОБ АВТОРАХ

---

**Агаларов Мурад Яверович** (р. 1987) — начальник отдела системного анализа ПАО Промсвязьбанк

**Агаларов Явер Мирзабекович** (р. 1952) — кандидат технических наук, доцент, ведущий научный сотрудник Института проблем информатики Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук

**Бронштейн Ефим Михайлович** (р. 1946) — доктор физико-математических наук, профессор Уфимского государственного авиационного технического университета

**Быстров Игорь Иванович** (р. 1931) — доктор технических наук, профессор, заведующий отделом Института проблем информатики Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук

**Волович Константин Иосифович** (р. 1970) — старший научный сотрудник Института проблем информатики Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук

**Гаврилов Виктор Евдокимович** (р. 1950) — старший научный сотрудник Института проблем информатики Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук

**Горшенин Андрей Константинович** (р. 1986) — кандидат физико-математических наук, ведущий научный сотрудник Института проблем информатики Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук; доцент Московского технологического университета (МИРЭА)

**Грушо Александр Александрович** (р. 1946) — доктор физико-математических наук, профессор, заведующий лабораторией Института проблем информатики Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук

**Грушо Николай Александрович** (р. 1982) — кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник Института проблем информатики Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук

**Данишевский Владислав Игоревич** (р. 1992) — аспирант Балтийского федерального университета имени Иммануила Канта

**Денисов Сергей Анатольевич** (р. 1985) — старший программист Института проблем информатики Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук

**Дурново Александр Адрианович** (р. 1949) — ведущий программист Института проблем информатики Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук

**Захаров Виктор Николаевич** (р. 1948) — доктор технических наук, доцент, ученый секретарь Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук

**Захарова Татьяна Валерьевна** (р. 1962) — кандидат физико-математических наук, доцент кафедры математической статистики факультета вычислительной математики и кибернетики МГУ имени М. В. Ломоносова; старший научный сотрудник Института проблем информатики Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук

**Зацаринный Александр Алексеевич** (р. 1951) — доктор технических наук, профессор, заместитель директора Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук

**Зацман Игорь Моисеевич** (р. 1952) — доктор технических наук, заведующий отделом Института проблем информатики Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук

**Ильин Александр Владимирович** (р. 1975) — кандидат технических наук, старший научный сотрудник Института проблем информатики Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук

**Ильин Владимир Дмитриевич** (р. 1937) — доктор технических наук, заведующий лабораторией Института проблем информатики Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук

**Каменских Антон Николаевич** (р. 1991) — аспирант, ассистент Пермского национального исследовательского политехнического университета

**Кинжитаева Сания Есмухановна** (р. 1995) — студентка Московского физико-технического института (государственного университета)

**Козичев Вячеслав Николаевич** (р. 1957) — доктор технических наук, старший научный сотрудник Института проблем информатики Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук

**Колесников Александр Васильевич** (р. 1948) — доктор технических наук, профессор кафедры телекоммуникаций Балтийского федерального университета имени Иммануила Канта; старший научный сотрудник Калининградского филиала Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук

**Колин Константин Константинович** (р. 1935) — доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, главный научный сотрудник Института проблем информатики Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук

**Кондрашев Вадим Адольфович** (р. 1963) — старший научный сотрудник Института проблем информатики Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук

**Копылов Илья Евгеньевич** (р. 1989) — аспирант Уфимского государственного авиационного технического университета

**Кузьмин Виктор Юрьевич** (р. 1986) — руководитель Департамента разработки ООО «Вай2Гео»

**Листопад Сергей Викторович** (р. 1984) — кандидат технических наук, старший научный сотрудник Калининградского филиала Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук

**Лоцилова Елена Юрьевна** (р. 1960) — научный сотрудник Института проблем информатики Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук

**Рождественский Юрий Владимирович** (р. 1952) — кандидат технических наук, заведующий сектором Института проблем информатики Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук

**Румовская София Борисовна** (р. 1985) — программист I категории Калининградского филиала Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук

**Степченков Юрий Афанасьевич** (р. 1951) — кандидат технических наук, заведующий отделом Института проблем информатики Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук

**Сучков Александр Павлович** (р. 1954) — доктор технических наук, ведущий научный сотрудник Института проблем информатики Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук

**Тарасов Борис Васильевич** (р. 1946) — доктор технических наук, профессор, ведущий научный сотрудник Института проблем информатики Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук

**Тимонина Елена Евгеньевна** (р. 1952) — доктор технических наук, профессор, ведущий научный сотрудник Института проблем информатики Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук

**Тюрин Сергей Феофентович** (р. 1953) — доктор технических наук, профессор Пермского национального исследовательского политехнического университета

**Филиппов Сергей Александрович** (р. 1980) — кандидат технических наук, старший научный сотрудник Института проблем информатики Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук

**Шоргин Всеволод Сергеевич** (р. 1978) — кандидат технических наук, старший научный сотрудник Института проблем информатики Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук

---

## АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ ЗА 2016 г.

---

	№	Стр.
<b>Агаев Ф. Б.</b> см. Рзаев Р. Р.		
<b>Агаларов М. Я.</b> см. Агаларов Я. М.		
<b>Агаларов Я. М., Агаларов М. Я., Шоргин В. С.</b> Максимизация дохода системы массового обслуживания типа $G/M/1$ на множестве пороговых стратегий с двумя точками переключения	4	74
<b>Агафонов Е. С.</b> см. Синицын И. Н.		
<b>Адамович И. М., Волков О. И.</b> Иерархическая форма представления биографического факта	2	108
<b>Адамович И. М., Волков О. И.</b> Технология распределенного автоматизированного анализа исторических текстов	3	148
<b>Адамович И. М., Земсков Д. В.</b> Разреженные буфера — использование механизма виртуальной памяти для уменьшения расхода физической памяти и экономии процессорного времени	1	4
<b>Азанов В. Г.</b> Структурно-функциональная модель управления потоками пациентов региональной консультативной поликлиники	1	13
<b>Андреев С. Е.</b> Алгоритм и программный комплекс для анализа характеристик выходного излучения плазменного релятивистского генератора сверхвысокой частоты	1	30
<b>Аникин В. И., Аникина О. В., Карманова А. А.</b> Экспериментальный анализ одного метода кластеризации и ранжирования многомерных данных нейронной сетью Кохонена	1	44
<b>Аникина О. В.</b> см. Аникин В. И.		
<b>Анисимов В. И., Гридин В. Н., Васильев С. А.</b> Методы построения схмотехнических систем автоматизированного проектирования с использованием сервис-ориентированного подхода на базе протокола WebSocket	2	136
<b>Анисимов В. И.</b> см. Гридин В. Н.		
<b>Ахмад А. Д.</b> см. Гридин В. Н.		
<b>Барзенков А. В.</b> см. Кириков И. А.		
<b>Бахтеев О. Ю., Попова М. С., Стрижов В. В.</b> Системы и средства глубокого обучения в задачах классификации	2	4
<b>Белоусов В. В.</b> см. Синицын И. Н.		
<b>Белоусов В. В.</b> см. Синицын И. Н.		
<b>Белоусов В. В.</b> см. Синицын И. Н.		
<b>Богданова Д. А.</b> Информационные технологии и образование в Евросоюзе: формирование новых профессионалов	2	171

	<b>№</b>	<b>Стр.</b>
<b>Богданова Д. А.</b> Об обучении информационной и медиаграмотности в российских начальных школах	3	189
<b>Бронштейн Е. М., Копылов И. Е.</b> Алгоритмическое обеспечение оптимизационной задачи доставки груза водным транспортом	4	114
<b>Быстров И. И., Козичев В. Н., Тарасов Б. В.</b> Концептуальные основы автоматизированной обработки неструктурированной информации в перспективных системах управления	4	162
<b>Васильев С. А.</b> см. Анисимов В. И.		
<b>Власова С. А., Каленов Н. Е.</b> Информатика в академической библиотеке	3	162
<b>Волков О. И.</b> см. Адамович И. М.		
<b>Волков О. И.</b> см. Адамович И. М.		
<b>Волович К. И., Денисов С. А., Кондрашев В. А., Сучков А. П.</b> Методология создания веб-сервисного информационного взаимодействия в системе распределенных ситуационных центров	4	51
<b>Гаврилов В. Е., Зацаринный А. А.</b> Некоторые системотехнические и нормативно-методические вопросы обеспечения защиты информации в автоматизированных информационных системах на облачных технологиях с использованием методов искусственного интеллекта	4	38
<b>Гасилов А. В.</b> см. Яковлев О. А.		
<b>Горшенин А. К., Кузьмин В. Ю.</b> Применение архитектуры CUDA при реализации сеточных алгоритмов для метода скользящего разделения смесей	4	60
<b>Горшенин А. К., Кучин А. С.</b> Об одной реализации автоматизированного средства аттестации	1	62
<b>Гоюшов А. И.</b> см. Рзаев Р. Р.		
<b>Григорьев С. В.</b> см. Полубелова М. И.		
<b>Гридин В. Н., Анисимов В. И., Ахмад А. Д.</b> Построение клиентских .NET-приложений в распределенных схемотехнических системах автоматизированного проектирования	1	76
<b>Гридин В. Н.</b> см. Анисимов В. И.		
<b>Грушо А. А., Грушо Н. А., Тимонина Е. Е.</b> Оценка защищенности в безопасных архитектурах распределенных информационных систем	4	31
<b>Грушо А. А., Грушо Н. А., Тимонина Е. Е., Шоргин С. Я.</b> Архитектурные уязвимости распределенных информационно-вычислительных систем	3	74
<b>Грушо А. А., Забежайло М. И., Зацаринный А. А., Писковский В. О.</b> Безопасная автоматическая реконфигурация облачных вычислительных сред	3	83



	<b>№</b>	<b>Стр.</b>
<b>Грушо А. А., Смирнов Д. В.</b> Защита бизнес-логики от атак нулевого дня	3	60
<b>Грушо Н. А.</b> см. Грушо А. А.		
<b>Грушо Н. А.</b> см. Грушо А. А.		
<b>Данишевский В. И.</b> см. Колесников А. В.		
<b>Денисов С. А.</b> см. Волович К. И.		
<b>Джамалов З. Р.</b> см. Рзаев Р. Р.		
<b>Дударов С. П., Папаев П. Л.</b> Информационная система ячеечно-нейросетевого моделирования последствий химических аварий на опасных производственных объектах	2	123
<b>Дулин С. К., Дулина Н. Г., Никишин Д. А.</b> Проблемы обеспечения семантической геоинтероперабельности и согласования понимания семантики геоданных	1	86
<b>Дулина Н. Г.</b> см. Дулин С. К.		
<b>Дурново А. А., Зацман И. М., Лощилова Е. Ю.</b> Кросслингвистическая база данных для аннотирования логико-семантических отношений в тексте	4	124
<b>Дьяченко Ю. Г.</b> см. Степченков Ю. А.		
<b>Егоров В. Б.</b> Некоторые вопросы практической реализации концепции SDN	1	109
<b>Забейло М. И.</b> см. Грушо А. А.		
<b>Захаров В. Н.</b> см. Филиппов С. А.		
<b>Захарова Т. В., Кинжитаева С. Е.</b> Метод взвешенных дискриминантных систем для классификации объектов с пропущенными данными	4	89
<b>Захарова Т. В., Подлесный М. М.</b> Смеси нормальных законов в задаче поиска опорных точек по сигналу миограммы	3	106
<b>Зацаринный А. А., Ионенков Ю. С.</b> Некоторые аспекты оценки эффективности автоматизированных информационных систем на различных стадиях их жизненного цикла	3	122
<b>Зацаринный А. А., Королёв В. И.</b> Информационная безопасность ситуационных центров	1	121
<b>Зацаринный А. А., Королёв В. И.</b> Сегментирование информационно-технологической инфраструктуры ситуационного центра по признаку контуров безопасности	3	136
<b>Зацаринный А. А.</b> см. Гаврилов В. Е.		
<b>Зацаринный А. А.</b> см. Грушо А. А.		
<b>Зацман И. М.</b> см. Дурново А. А.		
<b>Земсков Д. В.</b> см. Адамович И. М.		
<b>Ильин А. В., Ильин В. Д.</b> Создание человеко-машинной среды решения задач	4	149
<b>Ильин В. Д.</b> Нормализация банковских онлайн-сервисов	2	147

	<b>№ Стр.</b>
<b>Ильин В. Д.</b> Объекты научного авторства и оценка их значимости	3 179
<b>Ильин В. Д.</b> см. Ильин А. В.	
<b>Ионенков Ю. С.</b> см. Зацаринный А. А.	
<b>Каленов Н. Е.</b> см. Власова С. А.	
<b>Калинин Ю. П., Хорошилов Ал-др А., Хорошилов Ал-ей А.</b> Принципы создания системы мониторинга и анализа мирового потока научно-технической информации	1 139
<b>Каменских А. Н.</b> см. Степченков Ю. А.	
<b>Каменских А. Н.</b> см. Степченков Ю. А.	
<b>Карманова А. А.</b> см. Аникин В. И.	
<b>Кинжитаева С. Е.</b> см. Захарова Т. В.	
<b>Кириков И. А., Колесников А. В., Румовская С. Б., Барзен- ков А. В., Петренко Е. В.</b> Концептуальная модель виртуаль- ных гетерогенных коллективов для поддержки принятия груп- повых решений	3 93
<b>Козичев В. Н.</b> см. Быстров И. И.	
<b>Колесников А. В., Листопад С. В., Румовская С. Б., Данишев- ский В. И.</b> Моделирование визуальных рассуждений в функ- циональных гибридных интеллектуальных системах	4 100
<b>Колесников А. В.</b> см. Кириков И. А.	
<b>Колин К. К.</b> Социальный потенциал информационных технологий в современной России	4 138
<b>Кондрашев В. А.</b> см. Волович К. И.	
<b>Коновалов Г. М.</b> Методика расчета надежности международного термоядерного экспериментального реактора и оптимизация действий по снижению рисков	1 166
<b>Копылов И. Е.</b> см. Бронштейн Е. М.	
<b>Корепанов Э. Р.</b> см. Сеницын И. Н.	
<b>Корепанов Э. Р.</b> см. Сеницын И. Н.	
<b>Корепанов Э. Р.</b> см. Сеницын И. Н.	
<b>Корепанов Э. Р.</b> см. Сеницын И. Н.	
<b>Корепанов Э. Р.</b> см. Сеницын И. Н.	
<b>Королёв В. И.</b> см. Зацаринный А. А.	
<b>Королёв В. И.</b> см. Зацаринный А. А.	
<b>Кузьмин В. Ю.</b> см. Горшенин А. К.	
<b>Кучин А. С.</b> см. Горшенин А. К.	
<b>Листопад С. В.</b> см. Колесников А. В.	
<b>Лощилова Е. Ю.</b> см. Дурново А. А.	
<b>Лукьянов Г. В., Никишин Д. А.</b> Когнитивные аспекты информа- ционного моделирования при проектировании сложных инфор- мационных систем	2 158

	№	Стр.
<b>Никишин Д. А.</b> см. Дулин С. К.		
<b>Никишин Д. А.</b> см. Лукьянов Г. В.		
<b>Папаев П. Л.</b> см. Дударов С. П.		
<b>Петренко Е. В.</b> см. Кириков И. А.		
<b>Писковский В. О.</b> см. Грушо А. А.		
<b>Плеханов Л. П.</b> Анализ самосинхронности электронных схем на нижнем уровне иерархии	2	23
<b>Подлесный М. М.</b> см. Захарова Т. В.		
<b>Полубелова М. И., Григорьев С. В.</b> Лексический анализ динамически формируемых строковых выражений	2	43
<b>Попова М. С.</b> см. Бахтеев О. Ю.		
<b>Рзаев Р. Р., Агаев Ф. Б., Гоюшов А. И., Джамалов З. Р.</b> Информационная система поддержки принятия процессуальных решений	1	182
<b>Рождественский Ю. В.</b> см. Степченков Ю. А.		
<b>Румовская С. Б.</b> см. Кириков И. А.		
<b>Румовская С. Б.</b> см. Колесников А. В.		
<b>Сергеев И. В.</b> см. Сеницын И. Н.		
<b>Сергеев И. В.</b> см. Сеницын И. Н.		
<b>Сеницын В. И.</b> см. Сеницын И. Н.		
<b>Сеницын В. И.</b> см. Сеницын И. Н.		
<b>Сеницын В. И.</b> см. Сеницын И. Н.		
<b>Сеницын И. Н.</b> Нормальные и ортогональные субоптимальные фильтры для нелинейных стохастических систем на многообразиях	1	199
<b>Сеницын И. Н., Корепанов Э. Р.</b> Нормальные фильтры Пугачёва для автокоррелированных стохастических систем, линейных относительно состояния	2	63
<b>Сеницын И. Н., Корепанов Э. Р., Белоусов В. В.</b> Символьное аналитическое моделирование нормальных процессов в стохастических системах со сложными бесселевыми нелинейностями дробного порядка	3	26
<b>Сеницын И. Н., Сеницын В. И., Корепанов Э. Р.</b> Модифицированные эллипсоидальные субоптимальные фильтры для нелинейных стохастических систем на многообразиях	2	79
<b>Сеницын И. Н., Сеницын В. И., Сергеев И. В., Корепанов Э. Р., Белоусов В. В., Шоргин В. С.</b> Математическое обеспечение аналитического моделирования нормальных процессов в стохастических системах со сложными дробно-рациональными нелинейностями	1	227

	№	Стр.
<b>Синицын И. Н., Синицын В. И., Сергеев И. В., Корепанов Э. Р., Белоусов В. В., Шоргин В. С., Агафонов Е. С.</b> Математическое обеспечение субоптимальной нормальной фильтрации в стохастических системах со сложными дробно-рациональными нелинейностями	3	4
<b>Смирнов Д. В.</b> см. Грушо А. А.		
<b>Степченков Ю. А., Каменских А. Н., Тюрин С. Ф., Дьяченко Ю. Г.</b> Отказоустойчивый самосинхронный последовательно-параллельный порт: варианты реализации	3	48
<b>Степченков Ю. А., Каменских А. Н., Тюрин С. Ф., Рождественский Ю. В.</b> Модели отказоустойчивых самосинхронных схем	4	19
<b>Стрижов В. В.</b> см. Бахтеев О. Ю.		
<b>Сучков А. П.</b> см. Волович К. И.		
<b>Тарасов Б. В.</b> см. Быстров И. И.		
<b>Тимонина Е. Е.</b> см. Грушо А. А.		
<b>Тимонина Е. Е.</b> см. Грушо А. А.		
<b>Тюрин С. Ф.</b> см. Степченков Ю. А.		
<b>Тюрин С. Ф.</b> см. Степченков Ю. А.		
<b>Филиппов С. А., Захаров В. Н.</b> Метод повышения пертинентности информации в рекомендательных системах поддержки жизнеобеспечения на основе неявных данных	4	4
<b>Хорошилов Ал-др А.</b> см. Калинин Ю. П.		
<b>Хорошилов Ал-ей А.</b> см. Калинин Ю. П.		
<b>Шоргин В. С.</b> см. Агаларов Я. М.		
<b>Шоргин В. С.</b> см. Синицын И. Н.		
<b>Шоргин В. С.</b> см. Синицын И. Н.		
<b>Шоргин С. Я.</b> см. Грушо А. А.		
<b>Яковлев О. А., Гасилов А. В.</b> Создание реалистичных наборов данных для алгоритмов трехмерной реконструкции с помощью виртуальной съемки компьютерной модели	2	98

---

## 2016 AUTHOR INDEX

---

	No.	Page
<b>Adamovich I. M. and Volkov O. I.</b> Distributed automated technology of historical texts analysis	3	148
<b>Adamovich I. M. and Volkov O. I.</b> Hierarchical format of a biographical fact	2	108
<b>Adamovich I. M. and Zemskov D. V.</b> Sparse buffers — using the virtual memory mechanism to reduce physical memory and CPU time usage	1	4
<b>Agafonov E. S.</b> see Sinitsyn I. N.		
<b>Agalarov M. Ya.</b> see Agalarov Ya. M.		
<b>Agalarov Ya. M., Agalarov M. Ya., and Shorgin V. S.</b> Profit maximization in $G/M/1$ queuing system on a set of threshold strategies with two switch points	4	74
<b>Agayev F. B.</b> see Rzayev R. R.		
<b>Ahmad A. D.</b> see Gridin V. N.		
<b>Andreev S. E.</b> Algorithm and program complex for analysis of the characteristics of plasma relativistic ultrahigh frequency generator output radiation	1	30
<b>Anikin V. I., Anikina O. V., and Karmanova A. A.</b> The experimental analysis of the method of clustering and ranking of multidimensional data using the Kohonen neural network	1	44
<b>Anikina O. V.</b> see Anikin V. I.		
<b>Anisimov V. I., Gridin V. N., and Vasilev S. A.</b> Methods of creation of a circuitry CAD using the service-oriented approach on the basis of the WebSocket protocol	2	136
<b>Anisimov V. I.</b> see Gridin V. N.		
<b>Azanov V. G.</b> Structural and functional model of patient flow control in a regional consultation clinic	1	13
<b>Bakhteev O. Yu., Popova M. S., and Strijov V. V.</b> Systems and means of deep learning for classification problems	2	4
<b>Barzenkov A. V.</b> see Kirikov I. A.		
<b>Belousov V. V.</b> see Sinitsyn I. N.		
<b>Belousov V. V.</b> see Sinitsyn I. N.		
<b>Belousov V. V.</b> see Sinitsyn I. N.		
<b>Bogdanova D. A.</b> Information technologies and education in the European Union: Forming new professionals	2	171
<b>Bogdanova D. A.</b> On the information and medialiteracy teaching in the schools of Russia	3	189

	<b>No.</b>	<b>Page</b>
<b>Bronshtein E. M. and Kopylov I. E.</b> Algorithmic software of the optimization problem for cargo delivering by water transport	4	114
<b>Bystrov I. I., Kozichev V. N., and Tarasov B. V.</b> Conceptual basis for the unstructured information automated processing in perspective control systems	4	162
<b>Danishevsky V. I.</b> see Kolesnikov A. V.		
<b>Denisov S. A.</b> see Volovich K. I.		
<b>Diachenko Y. G.</b> see Stepchenkov Yu. A.		
<b>Dudarov S. P. and Papaev P. L.</b> Information system of cellular and neural network modeling of chemical accident consequences at dangerous industrial facilities	2	123
<b>Dulin S. K., Dulina N. G., and Nikishin D. A.</b> Problems of maintenance of semantic geointeroperability and coordination of understanding of geodata semantics	1	86
<b>Dulina N. G.</b> see Dulin S. K.		
<b>Durnovo A. A., Zatsman I. M., and Loshchilova E. Yu.</b> Cross-lingual database for annotating logical-semantic relations in the text	4	124
<b>Egorov V. B.</b> Some issues of the SDN concept practical implementation	1	109
<b>Gasilov A. V.</b> see Yakovlev O. A.		
<b>Gavrilov V. E. and Zatsarinny A. A.</b> On system-technical and regulatory-methodological problems of data security in cloud automated information systems using artificial intelligence technologies	4	38
<b>Gorshenin A. K. and Kuchin A. S.</b> On a realization of an automated testing service	1	62
<b>Gorshenin A. K. and Kuzmin V. Yu.</b> Application of the CUDA architecture for implementation of grid-based algorithms for the method of moving separation of mixtures	4	60
<b>Goyushov A. I.</b> see Rzayev R. R.		
<b>Gridin V. N., Anisimov V. I., and Ahmad A. D.</b> Building .NET-client applications in distributed circuit computer-aided design	1	76
<b>Gridin V. N.</b> , see Anisimov V. I.		
<b>Grigorev S. V.</b> see Polubelova M. I.		
<b>Grusho A. A., Grusho N. A., and Timonina E. E.</b> Security evaluation in secure architecture of distributed information systems	4	31
<b>Grusho A. A., Grusho N. A., Timonina E. E., and Shorgin S. Ya.</b> Architectural vulnerabilities of distributed information systems	3	74
<b>Grusho A. A. and Smirnov D. V.</b> Protection of business logic against zero day attacks	3	60

	<b>No.</b>	<b>Page</b>
<b>Grusho A. A., Zabezhailo M. I., Zatsarinnyy A. A., and Piskovskiy V. O.</b> Secure automatic reconfiguration of cloudy computing	3	83
<b>Grusho N. A.</b> see Grusho A. A.		
<b>Grusho N. A.</b> see Grusho A. A.		
<b>Ilyin A. V. and Ilyin V. D.</b> Creating a human–machine environment for problem solving	4	149
<b>Ilyin V. D.</b> Normalization of online banking services	2	147
<b>Ilyin V. D.</b> Objects of scientific authorship and assessment of their significance	3	179
<b>Ilyin V. D.</b> see Ilyin A. V.		
<b>Ionenkov Y. S.</b> see Zatsarinnyy A. A.		
<b>Jamalov Z. R.</b> see Rzayev R. R.		
<b>Kalenov N. E.</b> see Vlasova S. A.		
<b>Kalinin Yu. P., Khoroshilov Al-der A., and Khoroshilov Al-ey A.</b> Principles of creation of monitoring system and analysis of world stream of scientific and technical information	1	139
<b>Kamenskiy A. N.</b> see Stepchenkov Yu. A.		
<b>Kamenskiy A. N.</b> see Stepchenkov Yu. A.		
<b>Karmanova A. A.</b> see Anikin V. I.		
<b>Khoroshilov Al-der A.</b> see Kalinin Yu. P.		
<b>Khoroshilov Al-ey A.</b> see Kalinin Yu. P.		
<b>Kinzhitayeva S. E.</b> see Zakharova T. V.		
<b>Kirikov I. A., Kolesnikov A. V., Rumovskaya S. B., Barzenkov A. V., and Petrenko E. V.</b> Conceptual model of virtual heterogeneous collective for supporting group decision-making	3	93
<b>Kolesnikov A. V., Listopad S. V., Rumovskaya S. B., and Danishevskiy V. I.</b> Visual reasoning modeling in a functional hybrid intelligent system	4	100
<b>Kolesnikov A. V.</b> see Kirikov I. A.		
<b>Kolin K. K.</b> Social potential of information technologies in modern Russia	4	138
<b>Kondrashev V. A.</b> see Volovich K. I.		
<b>Konovalov G. M.</b> Methodology of reliability calculation of International Thermonuclear Experimental Reactor and optimization of risk mitigation actions	1	166
<b>Kopylov I. E.</b> see Bronshtein E. M.		
<b>Korepanov E. R.</b> see Sinitsyn I. N.		
<b>Korepanov E. R.</b> see Sinitsyn I. N.		
<b>Korepanov E. R.</b> see Sinitsyn I. N.		
<b>Korepanov E. R.</b> see Sinitsyn I. N.		
<b>Korepanov E. R.</b> see Sinitsyn I. N.		

	<b>No.</b>	<b>Page</b>
<b>Korolev V. I.</b> see Zatsarinny A. A.		
<b>Korolev V. I.</b> see Zatsarinny A. A.		
<b>Kozichev V. N.</b> see Bystrov I. I.		
<b>Kuchin A. S.</b> see Gorshenin A. K.		
<b>Kuzmin V. Yu.</b> see Gorshenin A. K.		
<b>Listopad S. V.</b> see Kolesnikov A. V.		
<b>Loshchilova E. Yu.</b> see Durnovo A. A.		
<b>Lukyanov G. V. and Nikishin D. A.</b> Cognitive features of information modeling during design of complex information systems	2	158
<b>Nikishin D. A.</b> see Dulin S. K.		
<b>Nikishin D. A.</b> see Lukyanov G. V.		
<b>Papaev P. L.</b> see Dudarov S. P.		
<b>Petrenko E. V.</b> see Kirikov I. A.		
<b>Philippov S. A. and Zakharov V. N.</b> Method of increasing information pertinence for e-commerce recommender systems based on implicit data	4	4
<b>Piskovski V. O.</b> see Grusho A. A.		
<b>Plekhanov L. P.</b> Self-timing analysis of electronic circuits on the lower level of hierarchy	2	23
<b>Podlesnyy M. M.</b> see Zakharova T. V.		
<b>Polubelova M. I. and Grigorev S. V.</b> Lexical analysis of dynamically generated string expressions	2	43
<b>Popova M. S.</b> see Bakhteev O. Yu.		
<b>Rogdestvenski Yu. V.</b> see Stepchenkov Yu. A.		
<b>Rumovskaya S. B.</b> see Kirikov I. A.		
<b>Rumovskaya S. B.</b> see Kolesnikov A. V.		
<b>Rzayev R. R., Agayev F. B., Goyushov A. I., and Jamalov Z. R.</b> Information system of procedural decision-making support	1	182
<b>Sergeev I. V.</b> see Sinitsyn I. N.		
<b>Sergeev I. V.</b> see Sinitsyn I. N.		
<b>Shorgin S. Ya.</b> see Grusho A. A.		
<b>Shorgin V. S.</b> see Agalarov Ya. M.		
<b>Shorgin V. S.</b> see Sinitsyn I. N.		
<b>Shorgin V. S.</b> see Sinitsyn I. N.		
<b>Sinitsyn I. N.</b> Normal and orthogonal suboptimal filters for nonlinear stochastic systems on manifolds	1	199
<b>Sinitsyn I. N. and Korepanov E. R.</b> Normal Pugachev filters for state linear autocorrelated stochastic systems	2	63
<b>Sinitsyn I. N., Korepanov E. R., and Belousov V. V.</b> Symbolic analytical modeling of normal processes in stochastic systems with complex fraction order Bessel nonlinearities	3	26



	<b>No.</b>	<b>Page</b>
<b>Sinitsyn I. N., Sinitsyn V. I., and Korepanov E. R.</b> Modified ellipsoidal suboptimal filters for nonlinear stochastic systems on manifolds	2	79
<b>Sinitsyn I. N., Sinitsyn V. I., Sergeev I. V., Korepanov E. R., Belousov V. V., and Shorgin V. S.</b> Mathematical software for analytical modeling of normal processes in stochastic systems with complex fraction-rational nonlinearities	1	227
<b>Sinitsyn I. N., Sinitsyn V. I., Sergeev I. V., Korepanov E. R., Belousov V. V., Shorgin V. S., and Agafonov E. S.</b> Mathematical software for suboptimal normal filtering in stochastic systems with complex fraction-rational nonlinearities	3	4
<b>Sinitsyn V. I.</b> see Sinitsyn I. N.		
<b>Sinitsyn V. I.</b> see Sinitsyn I. N.		
<b>Sinitsyn V. I.</b> see Sinitsyn I. N.		
<b>Smirnov D. V.</b> see Grusho A. A.		
<b>Stepchenkov Yu. A., Kamenskih A. N., Tyurin S. F., and Dia-chenko Y. G.</b> Fault-tolerant self-timed serial-parallel port: Variants of realization	3	48
<b>Stepchenkov Yu. A., Kamenskih A. N., Tyurin S. F., and Rog-destvenski Yu. V.</b> Models of fault-tolerant self-timed circuits	4	19
<b>Strijov V. V.</b> see Bakhteev O. Yu.		
<b>Suchkov A. P.</b> see Volovich K. I.		
<b>Tarasov B. V.</b> see Bystrov I. I.		
<b>Timonina E. E.</b> see Grusho A. A.		
<b>Timonina E. E.</b> see Grusho A. A.		
<b>Tyurin S. F.</b> see Stepchenkov Yu. A.		
<b>Tyurin S. F.</b> see Stepchenkov Yu. A.		
<b>Vasilev S. A.</b> see Anisimov V. I.		
<b>Vlasova S. A. and Kalenov N. E.</b> Computer science in the academic library	3	162
<b>Volkov O. I.</b> see Adamovich I. M.		
<b>Volkov O. I.</b> see Adamovich I. M.		
<b>Volovich K. I., Denisov S. A., Kondrashev V. A., and Suchkov A. P.</b> Methodology of creating web-service interactions in the system of distributed situational centers	4	51
<b>Yakovlev O. A. and Gasilov A. V.</b> Generating realistic structure-from-motion datasets through virtual photography	2	98
<b>Zabekhailo M. I.</b> see Grusho A. A.		
<b>Zakharov V. N.</b> see Philippov S. A.		
<b>Zakharova T. V. and Kinzhitaeva S. E.</b> Method of weighted discriminant systems for the classification of objects with missing data	4	89

	<b>No.</b>	<b>Page</b>
<b>Zakharova T. V. and Podlesnyy M. M.</b> Mixtures of normal distributions in the problem of reference points search using myograms	3	106
<b>Zatsarinny A. A. and Ionenkov Y. S.</b> On aspects of automated information system efficiency evaluation at different stages of lifecycle	3	122
<b>Zatsarinny A. A. and Korolev V. I.</b> Information security situation center	1	121
<b>Zatsarinny A. A. and Korolev V. I.</b> Segmentation of information-technology infrastructure of situational center by the loop security attribute	3	136
<b>Zatsarinny A. A.</b> see Gavrilov V. E.		
<b>Zatsarinny A. A.</b> see Grusho A. A.		
<b>Zatsman I. M.</b> see Durnovo A. A.		
<b>Zemskov D. V.</b> see Adamovich I. M.		

---

## Правила подготовки рукописей статей для публикации в журнале «Системы и средства информатики»

---

Журнал «Системы и средства информатики» публикует теоретические, обзорные и дискуссионные статьи, посвященные научным исследованиям и разработкам в области информационных технологий.

Журнал издается на русском языке. По специальному решению редколлегии отдельные статьи могут печататься на английском языке.

Тематика журнала охватывает следующие направления:

- информационно-телекоммуникационные системы и средства их построения;
- архитектура и программное обеспечение вычислительных машин, комплексов и сетей;
- методы и средства защиты информации.

1. В журнале печатаются статьи, содержащие результаты, ранее не опубликованные и не предназначенные к одновременной публикации в других изданиях.

Публикация предоставленной автором(ами) рукописи не должна нарушать положений глав 69, 70 раздела VII части IV Гражданского кодекса, которые определяют права на результаты интеллектуальной деятельности и средства индивидуализации, в том числе авторские права, в РФ.

Ответственность за нарушение авторских прав, в случае предъявления претензий к редакции журнала, несут авторы статей.

Направляя рукопись в редакцию, авторы сохраняют свои права на данную рукопись и при этом передают учредителям и редколлегии журнала неисключительные права на издание статьи на русском языке (или на языке статьи, если он отличен от русского) и на перевод ее на английский язык, а также на ее распространение в России и за рубежом. Каждый автор должен представить в редакцию подписанный с его стороны «Лицензионный договор о передаче неисключительных прав на использование произведения», текст которого размещен по адресу <http://www.ipiran.ru/publications/licence.doc>. Этот договор может быть представлен в бумажном (в 2-х экз.) или в электронном виде (отсканированная копия заполненного и подписанного документа).

Редколлегия вправе запросить у авторов экспертное заключение о возможности публикации представленной статьи в открытой печати.

2. К статье прилагаются данные автора (авторов) (см. п. 8). При наличии нескольких авторов указывается фамилия автора, ответственного за переписку с редакцией.
3. Редакция журнала осуществляет экспертизу присланных статей в соответствии с принятой в журнале процедурой рецензирования.

Возвращение рукописи на доработку не означает ее принятия к печати.

Доработанный вариант с ответом на замечания рецензента необходимо прислать в редакцию.

4. Решение редколлегии о публикации статьи или ее отклонении сообщается авторам. Редколлегия может также направить авторам текст рецензии на их статью. Дискуссия по поводу отклоненных статей не ведется.

5. Редактура статей высылается авторам для просмотра. Замечания к редакции должны быть присланы авторами в кратчайшие сроки.
6. Рукопись предоставляется в электронном виде в форматах MS WORD (.doc или .docx) или L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X (.tex), дополнительно — в формате .pdf, на дискете, лазерном диске или электронной почтой. Предоставление бумажной рукописи необязательно.
7. При подготовке рукописи в MS Word рекомендуется использовать следующие настройки.

Параметры страницы: формат — А4; ориентация — книжная; поля (см): внутри — 2,5, снаружи — 1,5, сверху и снизу — 2, от края до нижнего колонтитула — 1,3.  
Основной текст: стиль — «Обычный», шрифт — Times New Roman, размер — 14 пунктов, абзацный отступ — 0,5 см, 1,5 интервала, выравнивание — по ширине.  
Рекомендуемый объем рукописи — не свыше 15 страниц указанного формата. При превышении указанного объема редколлегия вправе потребовать от автора сокращения объема рукописи.  
Сокращения слов, помимо стандартных, не допускаются. Допускается минимальное количество аббревиатур.  
Все страницы рукописи нумеруются.  
Шаблоны примеров оформления представлены в Интернете:  
<http://www.ipiran.ru/publications/collected/template.doc>
8. Статья должна содержать следующую информацию на **русском и английском языках**:
  - название статьи;
  - Ф.И.О. авторов, на английском можно только имя и фамилию;
  - место работы, с указанием города и страны и электронного адреса каждого автора;
  - сведения об авторах, в соответствии с форматом, образцы которого представлены на страницах:  
[http://www.ipiran.ru/journal/collected/2012\\_22\\_02\\_rus/authors.asp](http://www.ipiran.ru/journal/collected/2012_22_02_rus/authors.asp) и  
[http://www.ipiran.ru/journal/collected/2012\\_22\\_02\\_eng/authors.asp](http://www.ipiran.ru/journal/collected/2012_22_02_eng/authors.asp);
  - аннотация (не менее 100 слов на каждом из языков). Аннотация — это краткое резюме работы, которое может публиковаться отдельно. Она является основным источником информации в информационных системах и базах данных. Английская аннотация должна быть оригинальной, может не быть дословным переводом русского текста и должна быть написана хорошим английским языком. В аннотации не должно быть ссылок на литературу и, по возможности, формул;
  - ключевые слова — желательно из принятых в мировой научно-технической литературе тематических тезаурусов. Предложения не могут быть ключевыми словами.
  - источники финансирования работы (ссылка на гранты, проекты, поддерживающие организации и т. п.)
9. Требования к спискам литературы.

Ссылки на литературу в тексте статьи нумеруются (в квадратных скобках) и располагаются в каждом из списков литературы в порядке первых упоминаний.

Списки литературы представляются в двух вариантах:

- (1) **Список литературы к русскоязычной части.** Русские и английские работы — на языке и в алфавите оригинала.
- (2) **References.** Русские работы и работы на других языках — в латинской транслитерации с переводом на английский язык; английские работы и работы на других языках — на языке оригинала.

Необходимо для составления списка “References” пользоваться размещенной на сайте <http://www.translit.ru/> бесплатной программой транслитерации русского текста в латиницу, при этом в закладке «варианты. . . » следует выбрать опцию BNG.

Список литературы “References” приводится полностью отдельным блоком, повторяя все позиции из списка литературы к русскоязычной части, независимо от того, имеются или нет в нем иностранные источники. Если в списке литературы к русскоязычной части есть ссылки на иностранные публикации, набранные латиницей, они полностью повторяются в списке “References”.

Примеры ссылок на различные виды публикаций в списке “References”:

**Описание статьи из журнала:**

Zhang, Z., and D. Zhu. 2008. Experimental research on the localized electrochemical micromachining. *Rus. J. Electrochem.* 44(8):926-930. doi:10.1134/S1023193508080077.

**Описание статьи из электронного журнала:**

Swaminathan, V., E. Lepkoswka-White, and B. P. Rao. 1999. Browsers or buyers in cyberspace? An investigation of electronic factors influencing electronic exchange. *JCMC* 5(2). Available at: <http://www.ascusc.org/jcmc/vol5/issue2/> (accessed April 28, 2011).

**Описание материалов конференций:**

Usmanov, T. S., A. A. Gusmanov, I. Z. Mullagalin, R. Ju. Muhametshina, A. N. Chervyakova, and A. V. Sveshnikov. 2007. Osobennosti proektirovaniya razrabotki mestorozhdeniy s primeneniem gidrorazryva plasta [Features of the design of field development with the use of hydraulic fracturing]. *Trudy 6-go Mezhdunarodnogo Simpoziuma “Novye resursoberegayushchie tekhnologii nedropol’zovaniya i povyshe-niya neftegazootdachi”* [6th Symposium (International) “New Energy Saving Subsoil Technologies and the Increasing of the Oil and Gas Impact” Proceedings]. Moscow. 267–272.

**Описание книги (монографии, сборники):**

Lindorf, L. S., and L. G. Mamikonians, eds. 1972. *Ekspluatatsiya turbogeneratorov s neposredstvennym okhlazhdeniem* [Operation of turbine generators with direct cooling]. Moscow: Energy Publs. 352 p.

**Описание переводной книги** (в списке литературы к русскоязычной части необходимо указать: / Пер. с англ. — после названия книги, а в конце ссылки указать оригинал книги в круглых скобках):

1. В русскоязычной части:  
Тимошенко С. П., Янг Д. Х., Уивер У. Колебания в инженерном деле / Пер. с англ. — М.: Машиностроение, 1985. 472 с. (*Timoshenko S. P., Young D. H., Weaver W. Vibration problems in engineering. — 4th ed. — N.Y.: Wiley, 1974. 521 p.*)

2. В англоязычной части:

Timoshenko, S. P., D. H. Young, and W. Weaver. 1974. *Vibration problems in engineering*. 4th ed. N.Y.: Wiley. 521 p.

**Описание неопубликованного документа:**

Latypov, A. R., M. M. Khasanov, and V. A. Baikov. 2004. Geology and production (NGT GiD). Certificate on official registration of the computer program No. 2004611198. (In Russian, unpubl.)

**Описание интернет-ресурса:**

Pravila tsitirovaniya istochnikov [Rules for the citing of sources]. Available at: <http://www.scribd.com/doc/1034528/> (accessed February 7, 2011).

**Описание диссертации или автореферата диссертации:**

Semenov, V. I. 2003. Matematicheskoe modelirovanie plazmy v sisteme kompaktny tor [Mathematical modeling of the plasma in the compact torus]. D.Sc. Diss. Moscow. 272 p.

Kozhunova, O. S. 2009. Tekhnologiya razrabotki semanticheskogo slovary informatzionnogo monitoringa [Technology of development of semantic dictionary of information monitoring system]. PhD Thesis. Moscow: IPI RAN. 23 p.

**Описание ГОСТа:**

GOST 8.586.5-2005. 2007. Metodika vypolneniya izmereniy. Izmerenie raskhoda i kolichestva zhidkostey i gazov s pomoshch'yu standartnykh suzhayushchikh ustroystv [Method of measurement. Measurement of flow rate and volume of liquids and gases by means of orifice devices]. Moscow: Standardinform Pubs. 10 p.

**Описание патента:**

Bolshakov, M. V., A. V. Kulakov, A. N. Lavrenov, and M. V. Palkin. 2006. Sposob orientirovaniya po krenu letatel'nogo apparata s opticheskoy golovkoy samonavedeniya [The way to orient on the roll of aircraft with optical homing head]. Patent RF No. 2280590.

10. Присланные в редакцию материалы авторам не возвращаются.
11. При отправке файлов по электронной почте просим придерживаться следующих правил:
  - указывать в поле subject (тема) название журнала и фамилию автора;
  - использовать attach (присоединение);
  - в состав электронной версии статьи должны входить: файл, содержащий текст статьи, и файл(ы), содержащий(е) иллюстрации.
12. Журнал «Системы и средства информатики» является некоммерческим изданием. Плата за публикацию не взимается, гонорар авторам не выплачивается.

**Адрес редакции журнала «Системы и средства информатики»:**

Москва 119333, ул. Вавилова, д. 44, корп. 2, ФИЦ ИУ РАН

Тел.: +7 (499) 135-86-92 Факс: +7 (495) 930-45-05

e-mail: [rust@ipiran.ru](mailto:rust@ipiran.ru) (Сейфуль-Мулюков Рустем Бадриевич)

<http://www.ipiran.ru/journal/collected>

---

## Requirements for manuscripts submitted to Journal “Systems and Means of Informatics”

---

Journal “Systems and Means of Informatics” publishes theoretical, review, and discussion articles on the research and development in the field of information technology.

The journal is published in Russian. By a special decision of the editorial board, some articles can be published in English.

Topics covered include the following areas:

- information and communication systems and tools of their design;
- architecture and software of computational complexes and networks; and
- methods and tools of information protection.

1. The Journal publishes original articles which have not been published before and are not intended for simultaneous publication in other editions. An article submitted to the Journal must not violate the Copyright law. Sending the manuscript to the Editorial Board, the authors retain all rights of the owners of the manuscript and transfer the nonexclusive rights to publish the article in Russian (or the language of the article, if not Russian) and its distribution in Russia and abroad to the Founders and the Editorial Board. Authors should submit a letter to the Editorial Board in the following form:

***Agreement on the transfer of rights to publish:***

*“We, the undersigned authors of the manuscript “. . . ,” pass to the Founder and the Editorial Board of the Journal “Systems and Means of Informatics” the nonexclusive right to publish the manuscript of the article in Russian (or in English) in both print and electronic versions of the Journal. We affirm that this publication does not violate the Copyright of other persons or organizations.*

*Author(s) signature(s): (name(s), address(es), date).”*

This agreement should be submitted in paper form or in the form of a scanned copy (signed by the authors).

The Editorial Board has the right to request from the authors an official expert conclusion that the submitted article has no classified data prohibited for publication.

2. A submitted article should be attached with **the data on the author(s)** (see item 8). If there are several authors, the contact person should be indicated who is responsible for correspondence with the Editorial Board and other authors about revisions and final approval of the proofs.
3. The Editorial Board of the Journal examines the article according to the established reviewing procedure. If authors receive their article for correction after reviewing, it does not mean that the article is approved to be published. The corrected article should be sent to the Editorial Board for the subsequent review and approval.
4. The decision on the article publication or its rejection is communicated to the authors. The Editorial Board may also send the reviews on the submitted articles to the authors. Any discussion upon the rejected articles is not possible.
5. The edited articles will be sent to the authors for proofread. The comments of the authors to the edited text of the article should be sent to the Editorial Board as soon as possible.
6. The manuscript of the article should be presented electronically in the MS WORD (.doc or .docx) or L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X (.tex) formats, and additionally in the .pdf format. All documents

may be sent by e-mail or provided on a CD or diskette. A hard copy submission is not necessary.

7. The recommended typesetting instructions for manuscript.

Pages parameters: format A4, portrait orientation, document margins (cm): left — 2.5, right — 1.5, above — 2.0, below — 2.0, footer 1.3.

Text: font — Times New Roman, font size — 14, paragraph indent — 0.5, line spacing — 1.5, justified alignment.

The recommended manuscript size: not more than 15 pages of the specified format. If the specified size exceeded, the editorial board is entitled to require the author to reduce the manuscript.

Use only standard abbreviations. Avoid abbreviations in the title and abstract. The full term for which an abbreviation stands should precede its first use in the text unless it is a standard unit of measurement.

All pages of the manuscript should be numbered.

The templates for the manuscript typesetting are presented on site:

<http://www.ipiran.ru/publication/collected/template.doc>

8. Articles should enclose data both in **Russian and English**:

- title;
- author's name and surname;
- affiliation — organization, its address with ZIP code, city, country, and official e-mail address;
- data on authors according to the format (see site):  
[http://www.ipiran.ru/journal/collected/2012.22.02\\_rus/authors.asp](http://www.ipiran.ru/journal/collected/2012.22.02_rus/authors.asp) and  
[http://www.ipiran.ru/journal/collected/2012.22.02\\_eng/authors.asp](http://www.ipiran.ru/journal/collected/2012.22.02_eng/authors.asp);
- abstract (not less than 100 words) both in Russian and in English. Abstract is a short summary of the article that can be published separately. The abstract is the main source of information on the article and it could be included in leading information systems and data bases. The abstract in English has to be an original text and should not be an exact translation of the Russian one. Good English is required. In abstracts, avoid references and formulae.
- Indexing is performed on the basis of keywords. The use of keywords from the internationally accepted thematic Thesauri is recommended.  
Important! Keywords must not be sentences.
- Acknowledgments.

9. References. Russian references have to be presented both in English translation and in Latin transliteration.

Please take into account the following examples of Russian references appearance:

**Article in journal:**

Zhang, Z., and D. Zhu. 2008. Experimental research on the localized electrochemical micromachining. *Rus. J. Electrochem.* 44(8):926–930. doi:10.1134/S1023193508080077.

**Journal article in electronic format:**

Swaminathan, V., E. Lepkoswka-White, and B.P. Rao. 1999. Browsers or buyers in cyberspace? An investigation of electronic factors influencing electronic



exchange. *JCMC* 5(2). Available at: <http://www.ascusc.org/jcmc/vol5/issue2/> (accessed April 28, 2011).

**Conference proceedings:**

Usmanov, T. S., A. A. Gusmanov, I. Z. Mullagalin, R. Ju. Muhametshina, A. N. Chervyakova, and A. V. Sveshnikov. 2007. Osobennosti proektirovaniya razrabotki mestorozhdeniy s primeneniem gidrorazryva plasta [Features of the design of field development with the use of hydraulic fracturing]. *Trudy 6-go Mezhdunarodnogo Simpoziuma "Novye resursoberegayushchie tekhnologii nedropol'zovaniya i povyshe-niya neftegazootdachi"* [6th Symposium (International) "New Energy Saving Subsoil Technologies and the Increasing of the Oil and Gas Impact" Proceedings]. Moscow. 267–272.

**Books and other monographs:**

Lindorf, L. S., and L. G. Mamikonians, eds. 1972. *Ekspluatatsiya turbogenera-torov s neposredstvennym okhlazhdeniem* [Operation of turbine generators with direct cooling]. Moscow: Energy Publs. 352 p.

**Dissertation and Thesis:**

Kozhunova, O. S. 2009. Tekhnologiya razrabotki semanticheskogo slovary informat-sionnogo monitoringa [Technology of development of semantic dictionary of information monitoring system]. PhD Thesis. Moscow: IPI RAN. 23 p.

**State standards and patents:**

GOST 8.586.5-2005. 2007. Metodika vypolneniya izmereniy. Izmerenie raskhoda i kolichestva zhidkostey i gazov s pomoshch'yu standartnykh suzhayushchikh ustroystv [Method of measurement. Measurement of flow rate and volume of liquids and gases by means of orifice devices]. M.: Standardinform Publs. 10 p.

Bolshakov, M. V., A. V. Kulakov, A. N. Lavrenov, and M. V. Palkin. 2006. Sposob orientirovaniya po krenu letatel'nogo apparata s opticheskoy golovkoy samonavedeniya [The way to orient on the roll of aircraft with optical homing head]. Patent RF No. 2280590.

References in Latin transcription are presented in the original language.

References in the text are numbered according to the order of their first appearance; the number is placed in square brackets. All items from the reference list should be cited.

10. Manuscripts and additional materials are not returned to Authors by the Editorial Board.
11. Submissions of files by e-mail must include:
  - the journal title and author's name in the "Subject" field;
  - an article and additional materials have to be attached using the "attach" function;
  - an electronic version of the article should contain the file with the text and a separate file with figures.
12. "System and Means of Informatics" journal is not a profit publication. There are no charges for the authors as well as there are no royalties.

**Editorial Board address:**

FRC CSC RAS, 44, block 2, Vavilov Str., Moscow 119333, Russia

Ph.: +7 (499) 135 86 92, Fax: +7 (495) 930 45 05

e-mail: [rust@ipiran.ru](mailto:rust@ipiran.ru) (to Prof. Rustem Seyful-Mulyukov)

[http://www.ipiran.ru/english/journal\\_systems.asp](http://www.ipiran.ru/english/journal_systems.asp)

# SYSTEMS AND MEANS OF INFORMATICS (SISTEMY I SREDSTVA INFORMATIKI)

SCIENTIFIC JOURNAL

**Volume 26 No.4 Year 2016**

**Editor-in-Chief and Chair of Editorial Council**

Academician I. A. Sokolov

## IN THIS ISSUE:

METHOD OF INCREASING INFORMATION PERTINENCE FOR E-COMMERCE RECOMMENDER SYSTEMS BASED ON IMPLICIT DATA <i>S. A. Philippov and V. N. Zakharov</i>	4
MODELS OF FAULT-TOLERANT SELF-TIMED CIRCUITS <i>Yu. A. Stepchenkov, A. N. Kamenskih, S. F. Tyurin, and Yu. V. Rogdestvenski</i>	19
SECURITY EVALUATION IN SECURE ARCHITECTURE OF DISTRIBUTED INFORMATION SYSTEMS <i>A. A. Grusho, N. A. Grusho, and E. E. Timonina</i>	31
ON SYSTEM-TECHNICAL AND REGULATORY-METHODOLOGICAL PROBLEMS OF DATA SECURITY IN CLOUD AUTOMATED INFORMATION SYSTEMS USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE TECHNOLOGIES <i>V. E. Gavrilov and A. A. Zatsarinny</i>	38
METHODOLOGY OF CREATING WEB-SERVICE INTERACTIONS IN THE SYSTEM OF DISTRIBUTED SITUATIONAL CENTERS <i>K. I. Volovich, S. A. Denisov, V. A. Kondrashev, and A. P. Suchkov</i>	51
APPLICATION OF THE CUDA ARCHITECTURE FOR IMPLEMENTATION OF GRID-BASED ALGORITHMS FOR THE METHOD OF MOVING SEPARATION OF MIXTURES <i>A. K. Gorshenin and V. Yu. Kuzmin</i>	60
PROFIT MAXIMIZATION IN $G/M/1$ QUEUING SYSTEM ON A SET OF THRESHOLD STRATEGIES WITH TWO SWITCH POINTS <i>Ya. M. Agalarov, M. Ya. Agalarov, and V. S. Shorgin</i>	74
METHOD OF WEIGHTED DISCRIMINANT SYSTEMS FOR THE CLASSIFICATION OF OBJECTS WITH MISSING DATA <i>T. V. Zakharova and S. E. Kinzhitaeva</i>	89