

# **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**  
**Институт проблем информатики 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 И. Ушаков (I. Ushakov, 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.т.н. В. Д. Ильин  
проф., д.ф.-м.н. Л. А. Калининченко  
д.т.н. В. А. Козмидиади  
проф., д.т.н. К. К. Колин  
проф., д.ф.-м.н. В. Ю. Королев  
проф., д.ф.-м.н. А. В. Печинкин  
проф., д.г.-м.н. Р. Б. Сейфуль-Мулюков  
проф., д.т.н. И. Н. Сеницын  
к.т.н. А. В. Филин  
к.ф.-м.н. С. А. Христочевский

## **Редакция**

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

© Институт проблем информатики Российской академии наук, 2014

Журнал входит в систему Российского индекса научного цитирования (РИНЦ):

**[http://elibrary.ru/title\\_about.asp?id=28980](http://elibrary.ru/title_about.asp?id=28980)**

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» ВИНИТИ  
и в системе Google Scholar

Журнал «Системы и средства информатики»  
включен в «Перечень российских рецензируемых журналов,  
в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций  
на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук», утвержденный ВАК

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

# СИСТЕМЫ И СРЕДСТВА ИНФОРМАТИКИ

Том 24 № 4 Год 2014

## СОДЕРЖАНИЕ

Модель метаданных для семантического поиска реализаций потоков работ, выраженных в виде правил <b>Н. А. Скворцов, А. Е. Вовченко, Л. А. Калиниченко, Д. Ю. Ковалев, С. А. Ступников</b>	<b>4</b>
Методы построения отображений коллекций, представленных в нетрадиционных моделях данных, в интегрированное представление <b>С. А. Ступников, А. Е. Вовченко</b>	<b>29</b>
Построение имитационной модели для решения задач планирования вычислительных ресурсов <b>М. Г. Коновалов</b>	<b>45</b>
О работах в области моделирования информационных потоков в современных высокочастотных финансовых приложениях <b>В. Ю. Королев, А. Ю. Корчагин, И. А. Соколов, А. В. Черток</b>	<b>63</b>
Свойства приращений оконной дисперсии миограммы как случайного процесса <b>М. Ш. Хазиахметов, Т. В. Захарова, О. В. Шестаков</b>	<b>86</b>
Метод распространения с помощью атаки «человек посередине» в протоколе DHCP <b>М. В. Левыкин, М. И. Троненко, И. В. Шидловский-Москвин</b>	<b>100</b>
Влияние характеристик внешней памяти суперкомпьютерных комплексов на выполнение параллельных программ <b>О. С. Аладышев, Е. А. Киселёв, Г. И. Савин, П. Н. Телегин, Б. М. Шабанов</b>	<b>111</b>
Настраиваемая схема кодирования символов переменным числом октетов — ACE <b>И. М. Адамович, Д. В. Земсков</b>	<b>124</b>

# СИСТЕМЫ И СРЕДСТВА ИНФОРМАТИКИ

Том 24 № 4 Год 2014

## СОДЕРЖАНИЕ

Методы оптимизации систем поддержания когерентности на основе наблюдения <b>Б. З. Шмейлин</b>	<b>135</b>
О новой концепции информатизации образования <b>В. В. Вихрев, А. С. Христочевская, С. А. Христочевский</b>	<b>157</b>
О механизме реализации коэволюционной модели жизненного цикла разработки компьютерных программ для обучения <b>В. В. Вихрев</b>	<b>168</b>
Специфика показателей национальной безопасности в контексте ее информационного мониторинга <b>Г. В. Лукьянов, Д. А. Никишин, Г. Ф. Веревкин, В. В. Косарик</b>	<b>186</b>
Некоторые подходы к формированию нормативно-технической базы для создания единого информационного пространства России <b>А. А. Зацаринный, Э. В. Киселев</b>	<b>206</b>
Онтология поддержки непрерывности ИТ-услуг в информационно-телекоммуникационных системах <b>И. И. Быстров, В. Н. Веселов, С. И. Радоманов</b>	<b>221</b>
Informatization of the normalized economic mechanism: E-services for resource planning <b>A. V. Ilyin and V. D. Ilyin</b>	<b>242</b>
Об авторах	<b>257</b>
Научные контакты	<b>260</b>
Авторский указатель за 2014 г.	<b>265</b>
2014 Author Index	<b>272</b>
Правила подготовки рукописей статей	<b>279</b>
Requirements for manuscripts	<b>283</b>

## МОДЕЛЬ МЕТАДАНЫХ ДЛЯ СЕМАНТИЧЕСКОГО ПОИСКА РЕАЛИЗАЦИЙ ПОТОКОВ РАБОТ, ВЫРАЖЕННЫХ В ВИДЕ ПРАВИЛ\*

*Н. А. Скворцов<sup>1</sup>, А. Е. Вовченко<sup>2</sup>, Л. А. Калининко<sup>3</sup>, Д. Ю. Ковалев<sup>4</sup>,  
С. А. Ступников<sup>5</sup>*

**Аннотация:** Конструирование потоков работ и накопление доступных методов научными сообществами предполагает спецификацию их в открытой среде и организацию их поиска с целью использования при решении задач. В данной работе для спецификации потоков работ используются диалекты языка правил RIF (Rule Interchange Format), а для организации поиска в предметной области элементы потоков работ аннотируются метаданными. Модель метаданных, необходимых для семантического поиска, включает описание структуры скелета потока работ, связывание элементов потоков работ с понятиями предметной области, требования к качеству и происхождению данных и методов. Метаданные определяются в терминах соответствующих онтологий. Пример демонстрирует поиск реализаций потоков работ в коллекции методов для составления потока работ из существующих релевантных компонентов.

**Ключевые слова:** потоки работ на правилах; метаданные; семантический поиск

**DOI:** 10.14357/08696527140401

### 1 Введение

В сообществах, представляющих различные направления науки, разрабатывается и применяется собственный ассортимент методов, включающий оценку существенных свойств и параметров объектов, выявление особенных объектов, нахождение фактов, подтверждающих или опровергающих экспериментальные

---

\*Работа выполнена при поддержке РФФИ (проекты 13-07-00579, 14-07-00548), Президиума РАН (Программа фундаментальных исследований Президиума РАН, тема 16-3 «Фундаментальные проблемы системного программирования»), ИПИ РАН (тема 38.25 «Спецификация и решение задач анализа данных в концептуальных терминах предметных областей с интенсивным использованием данных» государственного задания ФГБУН ИПИ РАН).

<sup>1</sup>Институт проблем информатики Российской академии наук, nskv@ipi.ac.ru

<sup>2</sup>Институт проблем информатики Российской академии наук, itsnein@gmail.com

<sup>3</sup>Институт проблем информатики Российской академии наук; Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, leonidk@ipi.ac.ru

<sup>4</sup>Институт проблем информатики Российской академии наук, dm.kovalev@gmail.ru

<sup>5</sup>Институт проблем информатики Российской академии наук, ssa@ipi.ac.ru

модели и гипотезы. Большая часть этих методов достаточно постоянна для определенной предметной области. Сырые данные подвергаются автоматической обработке некоторым набором методов, а затем результаты их применения используются для специализированных исследований, также использующих свои наборы методов. Разрабатывать все применяемые методы каждый раз при решении новой научной задачи нет смысла, если в экспертном сообществе предметной области присутствуют доступные и подходящие реализации необходимых методов. Поэтому обработка больших объемов данных и расширение направлений их обработки при научных исследованиях заставляет подходить к множеству средств обработки данных как к коллекциям научных методов.

Для организации обработки данных целесообразно разрабатывать потоки работ, которые представляют собой спецификации порядка обработки данных и используют существующие ресурсы, сервисы, другие потоки работ или их фрагменты. Спецификации потоков работ определяют, какие входные данные необходимы для работы методов, что и по каким алгоритмам они вычисляют, в какой последовательности применяются и какие результаты выдают. Подход к обработке данных и решению задач над данными с конструированием потоков работ удобен как для составления наборов методов для автоматической обработки данных, так и их применения для решения задач над данными.

В данной статье, являющейся расширением и дополнением исследования [1], для спецификации потоков работ используются языки и технологии, применяемые в рамках Семантического веба. Основным средством спецификации потоков работ являются диалекты языка правил RIF [2]. Концептуальные схемы предметных областей, над которыми разрабатываются спецификации деятельности, описываются средствами языка онтологий OWL 2.0 [3] и импортируются в спецификации потоков работ [4].

Поиск реализаций потоков работ, соответствующих спецификациям, производится среди описаний потоков работ и их фрагментов в доступных коллекциях научных методов. Для возможности семантического поиска в таких коллекциях реализации потоков работ помимо спецификации их структуры сопровождаются определенным набором метаданных, несущих информацию о связи потоков работ с понятиями предметной области, о качестве и происхождении используемых данных и методов [5]. Эта информация обеспечивает не только возможность оценки потоков работ и их фрагментов с точки зрения структуры, но и учет семантики предметной области и требований к качеству и надежности работы научных методов.

Принципы семантического поиска подходящих реализаций потоков работ и их фрагментов на основе метаданных, а также модель необходимых метаданных являются предметом исследования данной статьи. В следующем разделе приведен обзор проектов, разрабатывающих средства накопления потоков работ и методы их поиска в коллекциях. Затем в разд. 3 определяются требования к спецификациям потоков работ для возможности поиска и повторного использования адекватных реализаций при решении задач и описывается модель потоков работ

на правилах и принципы связывания метаданных со спецификациями потоков работ. В разд. 4 представлена модель метаданных, используемая в исследовании. Описание подхода к поиску потоков работ по метаданным приведено в разд. 5. В разд. 6 рассматривается пример сценария семантического поиска релевантных потоков работ по метаданным.

## **2 Родственные работы**

Коллекции научных методов и потоки работ разрабатываются и занимают свое место в инструментарии научного сообщества в первую очередь в науках с интенсивным использованием данных.

Так, в астрономии работают программные сервисы, в которых есть возможность реализовывать потоки работ, сохранять их в виде скриптов на внутренних языках систем. По такому принципу организован онлайн-сервис Aladin [6], предоставляющий средства визуализации данных Страсбургского центра данных, а также свободно распространяемый продукт Topcat [7], предназначенный для работы с таблицами и включающий средства обработки таблиц, создания подмножеств данных, ведения статистики, визуализации и прочие. Сеть AstroGrid [8] представляет собой инфраструктуру для решения задач на множестве узлов, предоставляющих всевозможные сервисы и ресурсы, которые можно найти на основе метаданных через общий реестр. Имеются средства разработки приложений над доступными сервисами. На сегодня работы по развитию проекта закрыты в первую очередь по причине медленного развития сети, организация узлов сети оказывается сложна для широкого распространения в астрономическом сообществе. Описанные инструменты не имеют средств поиска потоков работ. В Astrogrid разработанные приложения могут быть описаны метаданными и опубликованы в реестре в качестве сервисов.

Распространенным средством разработки потоков работ стал инструмент Taverna [9], разработанный группой myGrid в первую очередь для сообщества исследователей в области биоинформатики, но используемых и другими сообществами исследователей. Потоки работ здесь конструируются в простой модели с использованием блоков из библиотек сервисов.

Помимо общеупотребимых сервисов разрабатываются специализированные библиотеки для определенных научных областей. В частности, накапливаются библиотеки сервисов в биоинформатике, астрономии, мультимедиа и других областях. Коллекция научных потоков работ MyExperiment [10], среда поддержки которой также разработана группой myGrid, объединяет тысячи пользователей и потоков работ, а также десятки проектов, предоставляющих и использующих накопленные потоки работ, в основном разработанные в Taverna. Среда MyExperiment организована как социальная сеть, позволяющая регистрировать исследователей, включать их в различные тематические группы, публиковать потоки работ, реализованные в различных сторонних системах, описывать эксперименты, связанные с вызовом потоков работ, составлять объекты исследования,

состоящие из потоков работ, документов, файлов данных. Среда MyExperiment обеспечивает поиск потоков работ по метаданным, предоставляет их описание, позволяет их запускать. Однако у данной среды есть ряд недостатков, препятствующих повторному использованию потоков работ. Во-первых, потоки работ могут специфицироваться в различных внешних редакторах и форматах. Нет общего языка спецификаций потоков работ, реализуемых в разных системах, внутренняя структура потоков работ не имеет интерфейса доступа. Во-вторых, многие потоки работ в MyExperiment обращаются к конкретным источникам данных и не имеют возможности подмены источников. В коллекции есть разработки, которые по своей сути являются не реализациями методов, а сервисами, предоставляющими данные из специфических источников данных по некоторым входным параметрам. В-третьих, для обеспечения поиска потоков работ в среде поддерживаются только вербальные пояснения к потокам работ в целом и теги.

В Taverna поддерживаются спецификации происхождения данных. Однако предназначены метаданные о происхождении только для записи пути прохождения данных внутри исполненного потока работ. Достоверность данных источника данных и реализаций методов для использования в решении задач невозможно отследить без истории их получения и преобразования от момента создания, к тому же нет доступа через интерфейсы MyExperiment к информации о пути прохождения данных в потоке работ.

С системами Taverna и MyExperiment связаны проекты, предназначенные для поддержки жизненного цикла потоков работ и дополняющие их функциональность. Проект wf4ever [11] предоставляет набор средств для спецификации происхождения данных, внутренней структуры потоков работ, поддержки их долговременного хранения, развития, многоверсионности, проверки на доступность и совместимость источников данных. Для этого предоставляются необходимые структуры данных и интерфейсы пользователя. Спецификации предметов исследования и потоков работ можно импортировать из MyExperiment, дополнять спецификациями, предоставляемыми проектом, и использовать набор сервисов для поддержки жизненного цикла потоков работ. Проект не предполагает продвижения в сторону семантических подходов к обеспечению доступа к потокам работ, а направлен больше на разработку сервисов анализа самих потоков.

Операции жизненного цикла сервисов и потоков работ, разработанные группой myGrid, включают реализацию и идентификацию повторно используемых сервисов и потоков работ, регистрацию доступных сервисов и потоков работ для использования в сообществах, аннотирование зарегистрированных спецификаций, поиск среди доступных сервисов и потоков работ потребителями, повторное использование обнаруженных сервисов и потоков работ, ведение истории их повторного использования [12].

Одной из ключевых функциональных возможностей сред поддержки научных исследований, накапливающих сервисы и потоки работ, является их поиск. Подходы к поиску потоков работ делятся, по существу, на два основных направления:

- (1) поиск по метаданным, аннотирующим потоки работ;
- (2) оценка близости структур потоков работ.

В целом, в большинстве проектов, посвященных поиску потоков работ и принадлежащих первому направлению, состав метаданных ограничивается набором predetermined свойств для работы с простыми сопроводительными данными: именами, вербальными определениями, информацией об авторах, версиях, правах, дате создания и другими достаточно ограниченными описаниями [13]. Такие подходы к спецификации метаданных представляются недостаточными для выразительного семантического описания и поиска потоков работ.

К первому направлению также относятся исследования поиска потоков работ в разработках myGrid [12]. При регистрации в репозитории myGrid потоки работ аннотируются описаниями четырех уровней:

- (1) вербальным описанием;
- (2) описанием интерфейса потока работ как сервиса в терминах контролируемого словаря;
- (3) описанием компонентов потока работ в терминах контролируемого словаря;
- (4) описанием операций, производимых компонентами.

Эти описания позволяют производить поэтапный поиск потоков работ — от оценки релевантности по вербальному описанию до проверки функциональности элементов найденных потоков работ.

Проекты, посвященные оценке близости потоков работ по их графовой структуре, часто используют эвристические методы. Целый класс проектов основан на разновидностях подходов СВР (Case-Based Reasoning) [14], основанных на понятиях близости и расстояния между наборами значений свойств объектов, используемых соответственно для оценки близости объектов и их адаптации к запросу. В простых случаях они не учитывают графовую структуру потоков работ [15]. В большинстве работ при определенной модели графовых структур потоков работ сравниваются только текстовые метки [16]. В [17] потоки работ представлены в виде аннотированных графов и разработана модель вычисления меры близости, учитывающая как структуру потоков работ, так и связанные с ней текстовые описания.

Еще одно распространенное направление — process mining [18] — специализируется на анализе лог-файлов. В исследованиях используются модели процессов, являющиеся спецификациями структуры потоков работ. Записи логов исполняемых действий или происходящих событий сопоставляются со спецификациями моделей процессов. На основе лог-файлов решаются следующие виды задач:

- *задача обнаружения* (discovery) потоков работ — восстановление фактической структуры потока работ по лог-файлам работы его экземпляра. Таким образом могут быть обнаружены потоки работ, не имеющие формальных спецификаций модели процесса;



- *задача установления конформности* (conformance) потока работ заключается в проверке соответствия модели потока работ данным, получаемым из лог-файлов о работе его реализации;
- *задача усовершенствования* (enhancement) модели потока работ отличается от задачи установления конформности тем, что модель не только оценивается на соответствие реальным событиям, но и меняется для более точного соответствия.

Перечисленные подходы полезны для поиска потоков работ по спецификации их структуры, для описания и дальнейшего повторного использования доступных потоков работ, не имеющих формальных спецификаций, но генерирующих лог-файлы во время своей работы, для контроля соответствия реализованных и найденных потоков работ спецификациям.

### **3 Требования к спецификациям потоков работ и используемая модель спецификаций**

Для создания инфраструктур поддержки научных исследований на основе доступных сервисов и потоков работ информационные ресурсы и реализации научных методов должны изначально разрабатываться с учетом такой возможности, систематизироваться и описываться семантически в терминах предметной области. Это позволяет упростить интеграцию информационных и методических ресурсов. Реализации научных методов необходимо разрабатывать таким образом, чтобы упростить или даже автоматизировать их семантический поиск и использование в соответствии со спецификациями предметной области, развивать инфраструктуру предметных областей и собирать в них коллекции научных данных и методов. В этой связи в основе разработки ресурсов научных данных, методов и потоков работ должны лежать определенные принципы.

Для развития семантических подходов к решению научных задач данные, информационные ресурсы и реализации научных методов необходимо связывать со спецификациями предметной области. Под спецификацией предметной области, доступной и принимаемой сообществом исследователей, можно понимать набор связанных формальных онтологий предметной области исследования и смежных с ней областей. В соответствии с онтологиями могут создаваться концептуальные схемы предметной области, необходимые для организации информационных структур и спецификации методов, используемых в обработке данных. Спецификации методов и потоков работ должны быть декларативно определены в предметной области. Описание структуры сервисов и потоков работ должно содержать подробные спецификации пред- и постусловий их выполнения. Агентами научного сообщества могут выступать как исследователи, так и информационные системы. Поэтому спецификации, описывающие методы и данные, должны обеспечивать понимание человеком и возможность машинной обработки.

Научные методы и данные должны быть доступны для использования научным сообществом, работающим и решающим задачи в данной предметной области. Для этого они должны быть надлежащим образом специфицированы и опубликованы в общедоступных коллекциях. Коллекции обеспечиваются средствами семантического поиска.

Важными принципами составления спецификаций научных методов и потоков работ являются их абстрактность по отношению к реализациям и независимость от конкретных источников данных. Подмена источников данных другими релевантными источниками надлежащего качества должна быть проста и не должна сказываться на работоспособности методов.

При повторном использовании реализаций методов и потоков работ необходимо быть уверенными в надежности их работы и достоверности используемых данных. Для этого и данные, и методы необходимо сопровождать информацией об их происхождении. Она включает аутентификацию, источники, версии, трансформации от создания до момента использования. С другой стороны, реализации методов либо системы, в которых они реализуются, должны сохранять информацию о происхождении обрабатываемых данных и обеспечивать дополнение этой информации в соответствии с манипуляциями, производимыми ими над данными. Достоверность данных и надежность методов также определяются их качеством: точностью, полнотой, актуальностью открытых используемых данных и получаемых результатов, обеспечиваемых научными методами.

Для обеспечения повторного использования методов и потоков работ спецификации могут включать требования к средам реализации спецификаций с указанием поддерживаемых стандартов, протоколов, моделей данных. Для проверки правильности реализации функционирование сервисов и потоков работ может проверяться наборами тестов, сопровождающими спецификации и учитывающими максимальное количество особых случаев.

Предъявленные требования к спецификациям выполняются с использованием модели, используемой для спецификации потоков работ в данной статье. Модель потоков работ на правилах в диалектах языка RIF обеспечивает соответствие требованиям декларативности и глубины формальной спецификации, абстрактности спецификаций, требованиям независимости от конкретных информационных источников. Использование средств Семантического веба обеспечивает понимание человеком и автоматическую обработку спецификаций.

Схема данных определяется в модели языка OWL 2.0. Язык правил используется для спецификации действий, производимых над схемой данных при решении задач, и для оркестровки потоков работ, определяющей условия и последовательность выполняемых действий.

Потоки работ специфицируются в мультидиалектной среде [4]. Определенные в концептуальных схемах сущности могут использоваться в качестве предикатов в правилах. Спецификации разных деятельности в составе потоков работ могут формулироваться в разных диалектах правил. Оркестровка потока работ выражается посредством продукционных правил (в диалекте RIF PRD (Production

Rule Dialect)). В продукционных правилах могут использоваться предикаты, определенные в других диалектах при спецификации деятельности. Для спецификации управляющих конструкций потоков работ определяется пространство имен со специальными предикатами:

- `variable-definition` и `variable-value` для организации потоков данных на основе переменных и их значений;
- `parameter-definition` и `parameter-value` для организации входных и выходных параметров потоков работ и значений параметров;
- `end-of-task` — индикатор завершения работы деятельности.

Спецификации потоков работ в подавляющем большинстве случаев представляют собой композицию образцов управления [19] (последовательности, условий, разбиения, соединения и др.), однако спецификации управляющих потоков могут быть и произвольными. Использование образцов позволяет упростить интеграцию за счет типичных частей спецификации. Так, следующая спецификация определяет образец разбиения потока, в котором деятельность В и С выполняются одновременно после выполнения деятельности А [4] (используется презентационный синтаксис RIF [20]):

```
Group (
  If Not(External(wkfl:end-of-task(A)))
  Then Do (Act(A)
    Assert(External(wkfl:end-of-task(A))))
  If And(Not(External(wkfl:end-of-task(B)))
    External(wkfl:end-of-task(A)))
  Then Do (Act(B)
    Assert(External(wkfl:end-of-task(B))))
  If And(Not(External(wkfl:end-of-task(C)))
    External(wkfl:end-of-task(A)))
  Then Do (Act(C)
    Assert(External(wkfl:end-of-task(C))))
)
```

Реализации потоков работ могут либо разрабатываться при помощи трансляции спецификаций правил в языки конкретных систем, работающих с определенными диалектами правил, либо выбираться из существующих релевантных потоков работ, их фрагментов, отдельных деятельностей и сервисов.

Заметим, что не все описанные выше принципы учитываются только использованием спецификаций на правилах. Для связывания со спецификациями дополнительной информации, такой как описания Dublin Core или аннотационные свойства OWL [21], в языке предусмотрен механизм аннотирования.

Аннотации могут сопровождать любой класс конструкций RIF в спецификациях правил. Аннотации — это фреймы со свойствами, которые должны быть

сохранены при любых манипуляциях спецификациями, но не добавляют семантики с точки зрения правил. Так, группа правил, приведенная выше, может быть аннотирована идентификатором `Split1` в текущем пространстве имен и фреймом, определяющим дополнительную информацию в слоте `type` со значением `ParallelSplit`:

```
(* Split1 Split1 [ rdf:type -> wf:ParallelSplit ] *)  
( Group ... )
```

При реализации правил в конкретной системе вывода спецификации метаданных игнорируются. Тем не менее они могут обладать семантикой, не зависящей от правил. Обычно аннотации в RIF определяются в терминах специализированного словаря, специфицирующего набор предопределенных свойств. Состав метаданных в настоящем исследовании не ограничивается набором определенных свойств, а включает в себя более развитые описания. Необходимые метаданные определяются в терминах онтологий, которые могут отличаться для разных предметных областей.

В следующем разделе описывается состав метаданных потоков работ, необходимых для организации семантического поиска потоков работ по метаданным. Спецификации связи данных и реализуемых методов с понятиями предметной области, требований к качеству требуют определения соответствующих онтологий.

#### **4 Модель метаданных, ориентированная на семантический поиск реализаций потоков работ**

В качестве словарей метаданных в спецификациях используются онтологии предметных областей, а также онтологии, определяющие свойства элементов потоков работ в различных ракурсах рассмотрения, таких как качество и происхождение данных и методов.

Аннотации, которые определяют метаданные, целесообразно связывать со следующими элементами потоков работ, выраженных правилами:

- потоки работ в целом;
- входные и выходные параметры потоков работ;
- деятельности внутри потоков работ;
- входные и выходные параметры деятельностей;
- переменные, определяющие потоки данных;
- отдельные правила или группы правил, определяющие фрагменты потока работ;
- группы правил, определяющие образцы потоков работ [19] (как это сделано на примере в разд. 2).

Для реализации семантических подходов к поиску потоков работ, релевантных решаемой задаче, в первую очередь необходимо развивать спецификации предметной области, в которой собирается коллекция методов. Поиск потоков работ и сервисов, отвечающих требованиям задачи, необходимо связывать с онтологией предметной области, которой принадлежит коллекция и в которой решается задача. Для этого элементы спецификаций, описывающие потоки работ, объявляются экземплярами классов понятий онтологии предметной области. Отнесение метаобъекта спецификации к классу понятия в терминах онтологий OWL реализуется посредством отношения `rdf:type` в RDF-графе. Для более сложных описаний в терминах онтологии метаобъекты могут становиться экземплярами неименованных классов RDF, определенных как подпонятия понятий онтологии, но без введения новых понятий и свойств в онтологию.

Связывание метаданных с потоками работ и поиск релевантных элементов потоков работ далее рассмотрим на примере. В работе [4] описывается задача составления портфелей ценных бумаг, временные ряды котировок которых слабо коррелируют друг с другом, и выбора лучшего из них по определенным критериям.

Для решения данной задачи разрабатываются спецификации потока работ, включающего следующие подзадачи:

- поиск максимальных портфелей-кандидатов со слабо зависимыми друг от друга временными рядами котировок бумаг;
- оценка бумаг, входящих в портфели, с точки зрения разных критериев, в частности финансово-экономического;
- оценка портфелей по соответствующим критериям как обобщение оценок бумаг, входящих в них;
- обобщение нескольких критериев оценки портфелей в общую оценку и выбор лучшего портфеля.

Для реализации потока работ используются данные об истории цен на бумаги, принадлежность компаний индексу S&P 500 (индекс оценивается на основе данных о капитализации пятисот крупных американских компаний), оценка соотношения доходности и риска, мониторинг тональности высказываний инвесторов об определенных бумагах. Оценка по разным критериям выполняется в потоке работ параллельными ветвями.

При разработке спецификации потока работ, решающего данную задачу, правила необходимо связывать со спецификациями предметной области. Предметная область данной задачи использует понятия фондовых рынков. Для описания предметной области используем онтологию на языке OWL:

```
Class(Portfolio)
ObjectProperty(includesSecurity)
    ObjectPropertyDomain(includesSecurity Portfolio)
    ObjectPropertyRange(includesSecurity Security)
```

```
ObjectProperty(hasMetric)
  ObjectPropertyDomain(hasMetric Portfolio)

Class(Security)
ObjectProperty(hasIdentifier)
  FunctionalObjectProperty(hasIdentifier)
  ObjectPropertyDomain(hasIdentifier Security)
  ObjectPropertyRange(hasIdentifier Ticker)
ObjectProperty(listedIn)
  ObjectPropertyDomain(listedIn Security)
  ObjectPropertyRange(listedIn StockMarketIndex)
ObjectProperty(hasRate)
  ObjectPropertyDomain(hasRate Security)
  ObjectPropertyRange(hasRate StockMarketRate)
ObjectProperty(hasMetric)
  ObjectPropertyDomain(hasMetric Security)
  ObjectPropertyRange(hasMetric Metric)
ObjectProperty(correlatesWith)
  ObjectPropertyDomain(correlatesWith Security)
  ObjectPropertyRange(correlatesWith Security)

Class(StockMarketRate)
ObjectProperty(onDate)
  FunctionalObjectProperty(onDate)
  ObjectPropertyDomain(onDate StockMarketRate)
  ObjectPropertyRange(onDate Date)

Class(Metric)
ObjectProperty(isMetricOfSecurity)
Class(Correlation)
  SubClassOf(Correlation Metric)
  SubClassOf(Correlation
    ObjectAllValuesFrom(isMetricOfSecurity Security))
Class(FinancialMetric)
  SubClassOf(FinancialMetric Metric)
Class(SocialMetric)
  SubClassOf(SocialMetric Metric)
```

Онтология<sup>1</sup> фондовых рынков, кроме прочего, определяет следующие необходимые в данной задаче понятия:

- **Portfolio** — портфель, составленный из ценных бумаг определенного списка компаний; с ним также могут быть связаны метрики оценки портфеля;

---

<sup>1</sup><http://ontology.ipi.ac.ru/ontologies/stockmarket.owl>.

- **Security** — ценные бумаги компании, участвующие в фондовом рынке; у них есть идентификаторы, они могут принадлежать списку фондового индекса; бумаги оцениваются котировками, метриками надежности, могут иметь зависимость от других бумаг;
- **StockMarketRate** — котировка бумаги, зависящая от времени;
- **Metric** — метрика для оценки надежности ценной бумаги или портфеля; одной из метрик оценки надежности бумаги является корреляция ее котировки с другими бумагами.

Особо отметим, что представленная онтология определяет понятия и связи предметной области, в отличие от спецификации концептуальной схемы [22], определяющей представление данных при решении задачи в потоке работ на правилах, хотя и онтология, и концептуальная схема используют выразительные средства языка OWL. Описания концептуальной схемы недостаточны для использования в метаданных о предметной области, так как многие понятия и отношения предметной области сведены в ней к примитивным типам данных (числовому, строковому). Фактически при этом понятия подразумеваются, но явно не описаны. Подробнее различия и связи онтологий и концептуальных схем предметных областей обсуждаются в [23].

Одновременно с онтологией предметной области для определения метаданных потоков работ используются другие онтологии, позволяющие выражать в метаданных различные аспекты описываемых элементов потоков работ.

Спецификации правил RIF четко не разделяют определенный ими поток работ на элементы, принадлежащие его графовой структуре. Для спецификации одной деятельности или потока данных может использоваться набор правил, и по самим спецификациям не всегда возможно определить, какой графовой структуре принадлежит то или иное правило. Для связывания правил с видами элементов потоков работ используется онтология структуры потоков работ<sup>1</sup>, фрагмент которой приведен ниже:

```
Class(Workflow)
ObjectProperty(hasTask)
  ObjectPropertyDomain(hasTask Workflow)
  ObjectPropertyRange(hasTask Task)

Class(Task)
ObjectProperty(hasParameter)
  ObjectPropertyDomain(hasParameter Task)
  ObjectPropertyRange(hasParameter TaskParameter)
InverseObjectProperties(isParameterOf hasParameter)
ObjectProperty(hasInputParameter)
SubObjectPropertyOf(hasInputParameter hasParameter)
```

<sup>1</sup><http://ontology.ipi.ac.ru/ontologies/wf.owl>.

```
ObjectPropertyDomain(hasInputParameter Task)
ObjectPropertyRange(hasInputParameter InputParameter)
InverseObjectProperties(isInputParameterOf hasInputParameter)
ObjectProperty(hasOutputParameter)
SubObjectPropertyOf(hasOutputParameter hasParameter)
ObjectPropertyDomain(hasOutputParameter Task)
ObjectPropertyRange(hasOutputParameter OutputParameter)
InverseObjectProperties(isOutputParameterOf hasOutputParameter)

Class(TaskParameter)
Class(InputParameter)
SubClassOf(InputParameter TaskParameter)
Class(OutputParameter)
SubClassOf(OutputParameter TaskParameter)

Class(ControlFlowPattern)
SubClassOf(ControlFlowPattern Task)
Class(ExclusiveChoice)
SubClassOf(ExclusiveChoice ControlFlowPattern)
Class(ParallelSplit)
SubClassOf(ParallelSplit ControlFlowPattern)
SubClassOf(ParallelSplit ObjectExactCardinality
(1 hasInputParameter InputParameter))
SubClassOf(ParallelSplit ObjectMinCardinality
(2 hasOutputParameter OutputParameter))
Class(Synchronization)
SubClassOf(Synchronization ControlFlowPattern)
SubClassOf(Synchronization ObjectMinCardinality
(2 hasInputParameter InputParameter))
SubClassOf(Synchronization ObjectExactCardinality
(1 hasOutputParameter OutputParameter))
Class(SimpleMerge)
SubClassOf(SimpleMerge ControlFlowPattern)
```

В приведенном фрагменте онтологии структуры потока работ определены понятия:

- **Workflow** — потоки работ в целом, состоящие из наборов деятельностей;
- **Task** — деятельности, которые могут иметь входные и выходные параметры;
- **TaskParameter** — параметры деятельности;
- **ControlFlowPattern** — образцы управляющих конструкций потоков работ и, в частности, разбиение (**ParallelSplit**) и объединение (**Synchronization**) потоков.



Помимо этого, онтология определяет разновидности деятельности, такие как начало и завершение потока, понятие подпотока, другие образцы управляющих потоков и понятия структурных элементов потоков работ.

Для обеспечения надежности данных и методов наряду с модулями онтологии предметной области и структурных элементов потоков работ спецификации метаданных необходимо пополнять также информацией в терминах специализированных онтологий, описывающих требования к происхождению данных и их качеству.

В качестве онтологии происхождения данных в соответствии с рекомендацией W3C (World Wide Web Consortium) используется онтология PROV-O [24]. В ее основе лежат понятия агента (Agent), деятельности (Activity) и сущности (Entity). Агентами могут быть человек (Person), организация (Organization) или программа (SoftwareAgent). Вариации отношений их экземпляров друг с другом описывают различные события и ситуации, которые необходимо фиксировать при преобразовании, перемещении, изменении статуса данных. Например, метаданные об исходных данных, которые использовались процессом, выражаются отношением `used`, связывающим агента и деятельность; информация об инструменте, который был использован для генерации результата, выражается отношением `wasAttributedTo`, связывающим сущность и программу, и т. д. Посредством такой онтологии можно задавать метаданные об авторстве и принадлежности данных и методов, проследивать историю преобразования данных от первоначального источника до текущего состояния, сопровождать реальные данные и методы другой подобной информацией. Также в терминах онтологии происхождения выразимы требования к средам воспроизведения, необходимым для реализации спецификаций.

Для определения требований к точности, полноте и другим аспектам качества данных, а также входных данных и ожидаемых результатов работы методов можно использовать онтологию качества данных DQ (Data Quality) [25]. Она содержит набор факторов качества данных, определяемых измерениями в многомерном пространстве значений, и метриками качества в этих измерениях. С одним объектом может одновременно быть связано несколько значений качества в разных измерениях. Примерами измерений качества являются требования полноты данных (Completeness), объема данных (Data Volume), возраста данных (Timeliness), точности (Accuracy), целостности (Consistency), меры доверия (Confidence). Однако состав измерений и метрики, используемые для их реализации, могут сильно зависеть от предметной области исследования. Они согласуются и специфицируются сообществом, работающим в предметной области.

В терминах онтологий приведем метаданные, связанные со следующей спецификацией выходного параметра `ps` деятельности `getPortfolios` [4]:

```
( If Not(wkfl:end-of-task(getPortfolios))
  Then Do(Modify(external(wkfl:variable-value(ps
```

```
    svc:getPortfolios()))
    Assert(wkfl:end-of-task(getPortfolios)) ) )
)
```

Метаданные определяются перед соответствующим элементом спецификаций:

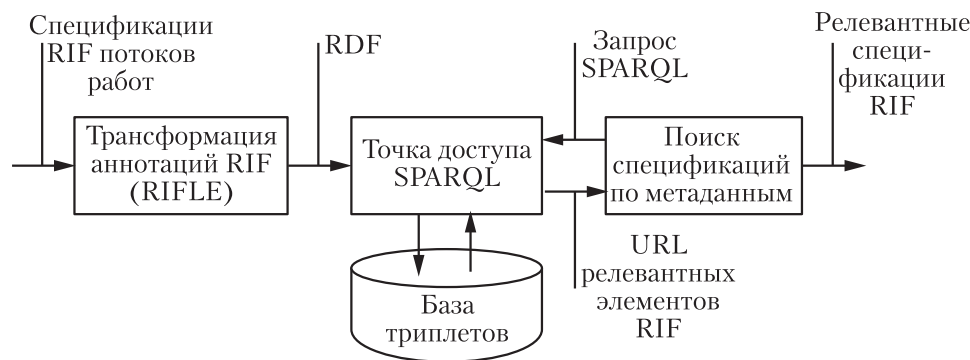
```
(* getPortfolios_ps
   getPortfolios_ps [rdf:type -> wf:OutputParameter,
                     wf:isOutputParameterOf -> getPortfolios,
                     rdf:type -> pont:Portfolio,
                     prov:wasGeneratedBy -> getPortfolios,
                     prov:wasAttributedTo -> fsv:FinanceServices]
*) ps
```

Данная спецификация метаданных определена для параметра **ps** в правиле, соответствующем деятельности потока работ. В первую очередь она определяет в текущем пространстве имен уникальный идентификатор **getPortfolios\_ps** данного элемента правила RIF. С этим идентификатором связываются метаданные в терминах определенных выше онтологий (пространство имен **pont** соответствует онтологии предметной области, **wf** — онтологии структуры потоков работ, **prov** — онтологии происхождения данных; **fsv** — пространство спецификаций программы, используемой для генерации портфелей). Посредством RDF-отношения **type** определяется, что элемент с данным идентификатором является выходным параметром деятельности, связь с деятельностью определяется отношением **isOutputParameterOf** к метаобъекту с идентификатором **getPortfolios**. Он описывает объекты класса **Portfolio**, генерируемые программой **FinanceServices**, т. е. возвращаемые деятельностью данные представляют собой портфели ценных бумаг, сгенерированные определенной программой. Идентификаторы **getPortfolios** и **FinanceServices** должны быть определены подобным образом в метаданных, связанных соответствующими спецификациями правил.

Таким образом, метаописание позволяет идентифицировать элементы спецификации в глобальном информационном пространстве, связывать спецификации правил с предметной областью, в которой решается задача, определять части правил, которые соответствуют элементам структуры потоков работ, а также семантически связывать элементы друг с другом с помощью выражений в терминах онтологий.

## 5 Поиск по метаданным

Спецификации правил, выражающие семантику поведения объектов в потоках работ, ортогональны сопровождающим их метаданным, поэтому правила и метаданные могут обрабатываться независимыми инструментами. Спецификации правил используются для реализации потоков работ в определенных системах



**Рис. 1** Архитектура подсистемы поиска спецификаций

в соответствии с семантикой используемых диалектов или для связывания со спецификациями существующих реализаций. Метаданные используются для поиска и предварительного связывания соответствующих элементов спецификаций.

На рис. 1 показана архитектура средств поиска потоков работ по метаданным. Спецификации RIF существующих потоков работ, аннотированные идентификаторами и метаданными в терминах онтологий, обрабатываются средствами библиотеки RIFLE [26] для выделения в них аннотаций. Спецификации фреймов, содержащие значения метаданных, преобразуются в триплеты RDF в соответствии с рекомендациями W3C [27]. Фрейм с набором значений атрибутов  $s[p_1 \rightarrow o_1 \ p_2 \rightarrow o_2 \ \dots \ p_n \rightarrow o_n]$  соответствует триплетам, связанным с одним ресурсом  $\{s \ p_1 \ o_1; \ p_2 \ o_2; \ \dots; \ p_n \ o_n\}$ . Метаданные трансформируются в триплеты и через точку доступа SPARQL [28] сохраняются в базе триплетов с использованием библиотеки JENA [29]. База триплетов собирает в виде единого RDF-графа набор метаданных и идентификаторов, по которым можно установить, с какими именно элементами спецификаций потоков работ на правилах связаны определенные метаданные. В качестве RDF-словарей используется представленный выше набор онтологий, во многом зависящий от предметной области и определяющий состав метаданных. Поиск адекватных задаче спецификаций потоков работ и их фрагментов производится над базой триплетов, содержащей метаданные. Для поиска спецификаций в терминах онтологий, используемых в метаданных, формируются запросы SPARQL к данной точке доступа, имеющие целью найти идентификаторы спецификаций подходящих элементов потоков работ. По URI (Uniform Resource Identifier), соответствующим идентификаторам, выделяются спецификации RIF, релевантные задаче.

Следует заметить, что в аннотациях RIF нельзя использовать переменные, поэтому невозможно выразить неименованные узлы в RDF и с URI, соответствующими идентификаторам в аннотациях RIF, связываются напрямую только значения свойств определенного типа данных или другие URI.

Для примера со спецификацией метода оценки ценной бумаги по финансово-экономическим критериям в базе триплетов связаны следующие метаданные:

```
res1:getSecurityFinancialMetrics
  rdf:type wf:Task;
  wf:hasInputParameter res1:finMetricPar;
  wf:hasOutputParameter res1:securityPar.
res1:securityPar
  rdf:type pont:Security;
  rdf:type wf:InputParameter;
  pont:hasMetric res1:finMetric.
res1:finMetric
  rdf:type pont:FinancialMetric;
  rdf:type wf:OutputParameter;
```

Они описывают деятельность `getSecurityFinancialMetrics` некоторого потока работ, имеющую входной параметр `securityPar`, являющийся описанием ценной бумаги, и выходной параметр `finMetric`, являющийся финансовой оценкой данной бумаги.

Запросы на языке SPARQL формулируются в соответствии с требованиями задачи, которая должна быть решена в предметной области, либо с требованиями спецификации потока работ, который необходимо реализовать посредством повторного использования существующих потоков работ, их фрагментов и доступных сервисов.

Требования к искомому потокам работ в коллекции научных методов могут затрагивать как семантику потока работ в целом или структуру и семантику элементов, выраженные в терминах онтологий, так и надежность применяемых методов, достоверность используемых данных и получаемых результатов. Благодаря использованию разработанной модели метаданных в запросе могут быть учтены методы, процессы, применяющиеся в данной предметной области, семантика входных/выходных параметров потоков работ и потоков на разных этапах решения задач, требуемая точность, контроль требований к реальным источникам данных и другие аспекты.

Решение научных задач предметной области может конструироваться из отдельных фрагментов потоков работ и из существующих сервисов. Фрагмент обработки данных может оказаться частью реализации потока работ, решающего в целом отличную задачу. Для этого требования в запросах формулируются как к потокам работ в целом, так и к параметрам деятельности в составе потоков работ.

Для решения описанной выше задачи оценки портфелей ценных бумаг необходимо выбрать компоненты, реализующие оценки по каким-либо параметрам уже сформированных портфелей. При этом оцениваться должна каждая бумага в портфеле в отдельности и применяется обобщающая оценка для всего портфеля. Зададим запрос SPARQL для поиска компонентов потоков работ,

реализующих оценки по каким-либо параметрам выбранных ранее портфелей ценных бумаг.

```
select distinct ?task1 ?task2 where {
  ?in1 wf:isInputParameterOf ?task1.
  ?in1 rdf:type pont:Security.
  ?in1 pont:hasMetric ?out1.
  ?out1 wf:isOutputParameterOf ?task1.
  ?out1 rdf:type pont:Metric.

  ?in2 pont:includesSecurity ?in1.

  ?in2 wf:isInputParameterOf ?task2.
  ?in2 rdf:type pont:Portfolio.
  ?in2 pont:hasMetric ?out2.
  ?out2 wf:isOutputParameterOf ?task2.
  ?out2 rdf:type pont:Metric.
}
```

По условию запроса необходимо найти связанные деятельности, одна из которых принимает на вход объекты ценных бумаг, вычисляет для них некоторую оценку, а вторая деятельность принимает на вход портфель, которому принадлежат данные бумаги, и вычисляет обобщающую оценку портфеля в целом. В результате обращения к базе триплетов система возвращает URI элементов потоков работ, удовлетворяющих представленному запросу:

```
<sparql xmlns=http://www.w3.org/2005/sparql-results#>
  <head>
    <variable name="task1"/>
    <variable name="task2"/>
  </head>
  <results>
    <result>
      <binding name="task1"><uri>&res1#getPositiveTweetRatio</uri>
      </binding>
      <binding name="task2"><uri>
        &res1#computePortfolioTwitterMetrics</uri>
      </binding>
    </result>
    <result>
      <binding name="task1"><uri>
        &res2#getSecurityFinancialMetrics</uri>
      </binding>
      <binding name="task2"><uri>
        &res2#computePortfolioFinancialMetrics</uri>
      </binding>
    </result>
  </results>
</sparql>
```

```

    </binding>
  </result>
</results>
</sparql>

```

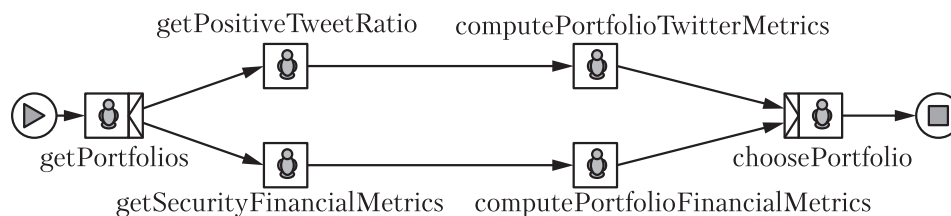
По возвращенным идентификаторам компонентов существующих потоков работ получаем доступ к их спецификациям и полным описаниям деятельности, включая их метаданные:

- `getPositiveTweetRatio` — вычисляет тональность сообщений о ценной бумаге в Twitter;
- `computePortfolioTwitterMetrics` — на основе тональности сообщений о ценных бумагах вычисляет тональность отношения к содержащему их портфелю;
- `getSecurityFinancialMetrics` — вычисляет метрику надежности ценной бумаги, учитывающую выгоду и риски на основе истории котировок;
- `computePortfolioFinancialMetrics` — для портфеля в целом, содержащего ценные бумаги, вычисляет обобщенную финансовую метрику.

Таким образом, найдены спецификации деятельности, которые можно использовать повторно для реализации оценки ценных бумаг и портфелей при решении задачи выбора наилучшего портфеля. Для адаптации спецификаций потока работ к найденным компонентам необходимо использовать управляющую конструкцию разбиения потока для одновременного вычисления обеих оценок портфелей, а затем слияния потоков и вычисления обобщающей оценки портфелей. Структура потока работ, использующего найденные спецификации, будет такой, как представлено на рис. 2 [4].

Помимо поиска наличие метаданных о графовой структуре потоков работ, сопровождающих спецификации правил, позволяет применять эвристические методы оценки близости спецификаций потоков работ и методы проверки конформности спецификаций и их реализаций.

Представленную модель метаданных целесообразно использовать для проверки совместимости семантики данных и интероперабельности фрагментов при их объединении. Для этого необходимо проверять корректность включения подпроцессов по понятиям и сформулированным в метаданных требованиям к входным



**Рис. 2** Поток работ для решения задачи выбора лучшего портфеля ценных бумаг

и выходным параметрам, соответствие семантики данных и входных / выходных параметров. Ограничение потока данных или постусловие выхода предыдущего компонента должно быть строже предусловия входа последующего компонента.

## 6 Заключение

В данном исследовании был разработан подход к сопровождению спецификаций потоков работ на правилах RIF метаданными в терминах онтологий OWL. Описана модель метаданных, включающая семантические описания компонентов потоков работ понятиями предметной области, требования к качеству данных и спецификации качества результатов работы деятельности и потоков работы в целом, информацию о происхождении данных и методов в соответствии с рекомендациями W3C. Подход к поиску потоков работ и их фрагментов по метаданным проиллюстрирован на примере. При этом запросы могут включать требования ко всем аспектам, затрагиваемым в разработанной модели метаданных. Использование языков правил для спецификации потоков работ дает богатые возможности для повышения выразительности спецификаций и их повторного использования. В статье представлены требования, которые предъявляются к спецификациям потоков работ для их поиска и повторного использования и покрываются моделью потоков работ на правилах в совокупности с моделью метаданных.

## Литература

1. Скворцов Н. А. Подход к поиску потоков работ по метаданным // Электронные библиотеки: перспективные методы и технологии: Тр. XVI Всеросс. науч. конф. RCDL'2014. — Дубна: ОИЯИ, 2014. С. 242–248.
2. RIF overview. — W3C, 2013. <http://www.w3.org/TR/rif-overview>.
3. OWL 2 Web Ontology Language document overview. — 2nd ed. — W3C, 2011. <http://www.w3.org/TR/owl-overview>.
4. Kalinichenko L., Stupnikov S., Vovchenko A., Kovalev D. Multi-dialect workflows // Advances in databases and information systems / Eds. Y. Manolopoulos, G. Trajcevski, M. Kon-Popovska. Lecture notes in computer science ser. — Berlin–Heidelberg: Springer, 2014. Vol. 8716. P. 352–365. doi: 10.1007/978-3-319-10933-6\_26.
5. Скворцов Н. А., Брюхов Д. О., Калиниченко Л. А., Ковалёв Д. Ю., Ступников С. А. Метаданные о научных методах для обеспечения их повторного использования и воспроизводимости результатов // Электронные библиотеки: перспективные методы и технологии: Тр. XV Всеросс. науч. конф. RCDL'2013. — Ярославль: ЯрГУ, 2013. С. 70–78.
6. Aladin. <http://aladin.u-strasbg.fr/aladin.gml>.
7. Topcat. <http://www.star.bris.ac.uk/~mbt/topcat>.
8. Walton N. A., Gonzalez-Solarez E., Dalla S., Richards A., Tedds J. AstroGrid: A place for your science // Astron. Geophys., 2006. Vol. 47. No. 3. P. 22–24. doi: 10.1111/j.1468-4004.2006.47322.x.



9. Hull D., Wolstencroft K., Stevens R., Goble C. A., Pocock M. R., Li P., Oinn T. Taverna: A tool for building and running workflows of services // *Nucleic Acids Res.*, 2006. Vol. 34. P. 729–732. doi: 10.1093/nar/gkl320.
10. Goble C. A., De Roure D. C. myExperiment: Social networking for workflow-using e-scientists // 2nd Workshop on Workflows in Support of Large-Scale Science (WORKS'07) Proceedings. — ACM Press, 2007. P. 1–2. doi: 10.1145/1273360.1273361.
11. Wf4ever project. <http://www.wf4ever-project.org>.
12. Wroe C., Goble C., Goderis A., Lord P., Miles S., Papay J., Alper P., Moreau L. Recycling workflows and services through discovery and reuse // *Concurr. Comp. Pract. Exp.*, 2007. Vol. 19. No. 2. P. 181–194. doi: 10.1002/cpe.1050.
13. Tejo-Alonso C., Berrueta D., Polo L., Fernández S. Metadata for web ontologies and rules: Current practices and perspectives // *Metadata and semantic research* / Eds. E. Garcia-Barriocanal, Z. Cebeci, M. C. Okur, A. Öztürk. Communications in computer and information science ser. — Berlin–Heidelberg: Springer-Verlag, 2011. Vol. 240. P. 56–67. doi: 10.1007/978-3-642-24731-6\_6.
14. Burkhard H. D., Richter M. M. On the notion of similarity in case based reasoning and fuzzy theory // *Soft computing in case based reasoning*. — London, U.K.: Springer, 2000. P. 29–45. doi: 10.1007/978-1-4471-0687-6\_2.
15. Bergmann R., Fressmann A., Maximini K., Maximini R., Sauer T. Case-based support for collaborative business // *Advances in case-based reasoning* / Eds. T. Roth-Berghofer, M. H. Göker, H. A. Güvenir. Lecture notes in computer science ser. — Berlin–Heidelberg: Springer, 2006. Vol. 4106. P. 519–533. doi: 10.1007/11805816\_38.
16. Leake D. B., Kendall-Morwick J. Towards case-based support for e-Science workflow generation by mining provenance // *Advances in case-based reasoning* / Eds. K.-D. Althoff, R. Bergmann, M. Minor, A. Hanft. Lecture notes in computer science ser. — Berlin–Heidelberg: Springer, 2008. Vol. 5239. P. 269–283. doi: 10.1007/978-3-540-85502-6\_18.
17. Bergmann R., Gil Y. Retrieval of semantic workflows with knowledge intensive similarity measures // *Case-based reasoning research and development* / Eds. A. Ram, N. Wiratunza. Lecture notes in computer science ser. — Berlin–Heidelberg: Springer, 2011. Vol. 6880. P. 17–31. doi: 10.1007/978-3-642-23291-6\_4.
18. Van der Aalst W. M. P. Process mining: Discovery, conformance and enhancement of business processes. — Heidelberg: Springer, 2011. 352 p. doi: 10.1007/978-3-642-19345-3.
19. Russell N., ter Hofstede A. H. M., van der Aalst W. M. P., Mulyar N. Workflow control-flow patterns: A revised view. — BPM Center Report BPM-06-22, BPMcenter.org, 2006. doi: 10.1.1.93.6974.
20. RIF Production Rule Dialect. — 2nd ed. — W3C, 2013. <http://www.w3.org/TR/rif-prd>.
21. OWL Web Ontology Language Reference. — W3C, 2004. <http://www.w3.org/TR/owl-ref>.
22. Kalinichenko L. A., Stupnikov S. A., Vovchenko A. E., Kovalev D. Yu. Conceptual declarative problem specification and solving in data intensive domains // *Информатика и её применения*, 2013. Т. 7. Вып. 4. С. 112–139. doi: 10.14357/19922264130412.



23. *Вовченко А. Е., Захаров В. Н., Калинин Л. А., Ковалёв Д. Ю., Рябухин О. В., Скворцов Н. А., Ступников С. А.* От спецификаций требований к концептуальной схеме // Электронные библиотеки: перспективные методы и технологии: Тр. XII Всеросс. науч. конф. RCDL'2010. — Казань: КФУ, 2010. С. 375–381.
24. The PROV Ontology. W3C Recommendation. — W3C, 2013. <http://www.w3.org/TR/prov-o>.
25. *Geisler S., Weber S., Quix C.* Ontology-based data quality framework for data stream applications // 16th Conference (International) on Information Quality (ICIQ-11) Proceedings. — Adelaide, Australia: MIT Information Quality (MITIQ) Program, 2011. P. 145–159.
26. RIFle. <https://bitbucket.org/fundacionctic/rifle/wiki/Home>.
27. RIF RDF and OWL compatibility. — W3C, 2013. <http://www.w3.org/TR/rif-rdf-owl>.
28. SPARQL Query Language for RDF. — W3C, 2008. <http://www.w3.org/TR/rdf-sparql-query>.
29. Apache JENA. <http://jena.apache.org>.

*Поступила в редакцию 09.10.14*

---

## A METADATA MODEL FOR SEMANTIC SEARCH OF RULE-BASED WORKFLOW IMPLEMENTATIONS

*N. A. Skvortsov<sup>1</sup>, A. E. Vovchenko<sup>1</sup>, L. A. Kalinichenko<sup>1,2</sup>, D. Yu. Kovalev<sup>1</sup>,  
and S. A. Stupnikov<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Institute of Informatics Problems, Russian Academy of Sciences, 44-2 Vavilov Str., Moscow 119333, Russian Federation

<sup>2</sup>Faculty of Computational Mathematics and Cybernetics, M. V. Lomonosov Moscow State University, 1-52 Leninskiye Gory, GSP-1, Moscow 119991, Russian Federation

**Abstract:** Development of workflows and accumulation of open methods by scientific communities assumes their specification in open environment and their search to use them for problem solving. In this work, the Rule Interchange Format (RIF) dialects are used for workflow specification. Workflow elements are annotated with metadata to make their search in a subject domain possible. The metadata model required for semantic search includes description of workflow skeleton structure, binding of workflow elements with concepts of the domain, quality and provenance requirements to data and methods. Metadata are defined in terms of corresponding ontologies. Search for workflow implementations in a collection of methods for construction of a workflow on the basis of existing relevant components is demonstrated by an example.

**Keywords:** rule-based workflows; metadata; semantic search; ontology

**DOI:** 10.14357/08696527140401

## Acknowledgments

This work was supported by the Russian Foundation for Basic Research (projects 13-07-00579 and 14-07-00548), the Presidium of the Russian Academy of Sciences (Basic Research Program of the Presidium of the Russian Academy of Sciences, theme 16-3 “Fundamental Problems of System Programming”), and IPI RAN (topic 38.25 “Specification and solution data analysis problems in conceptual terms of subject areas with intensive use of data,” IPI RAN state task).

## References

1. Skvortsov, N. A. 2014. Podkhod k poisku potokov rabot po metadannym [An approach to search for workflows by metadata]. *Tr. 16-y Vseross. nauch. konf. “Elektronnyye Biblioteki: Perspektivnyye Metody i Tekhnologii, Elektronnyye Kollektzii” RCDL 2014* [16th Russian Conference “Digital Libraries: Advanced Methods and Technologies” RCDL’2014 Proceedings]. Dubna: Joint Institute of Nuclear Research. 242–248.
2. W3C. RIF overview. Available at: <http://www.w3.org/TR/rif-overview/> (accessed October 10, 2014).
3. W3C. OWL 2 Web Ontology Language Document Overview. 2nd ed. Available at: <http://www.w3.org/TR/owl-overview/> (accessed October 10, 2014).
4. Kalinichenko, L. A., S. A. Stupnikov, A. E. Vovchenko, and D. Yu. Kovalev. 2014. Multi-dialect workflows. *Advances in databases and information systems*. Eds. Y. Manolopoulos, G. Trajcevski, and M. Kon-Popovska. Lecture notes in computer science ser. Berlin–Heidelberg: Springer. 8716:352-365. doi: 10.1007/978-3-319-10933-6\_26.
5. Skvortsov, N. A., D. O. Briukhov, L. A. Kalinichenko, D. Yu. Kovalev, and S. A. Stupnikov. 2013. Metadannye o nauchnykh metodakh dlya obespecheniya ikh povtornogo ispol’zovaniya i vosproizvodimosti rezul’tatov [Scientific methods metadata for provision of the methods reuse and result reproducibility]. *Tr. 15-y Vseross. nauch. konf. “Elektronnyye Biblioteki: Perspektivnyye Metody i Tekhnologii, Elektronnyye Kollektzii” RCDL-2013* [15th Russian Conference “Digital Libraries: Advanced Methods and Technologies” RCDL’2013 Proceedings]. Yaroslavl: Yaroslavl State University. 70–78.
6. Aladin. Available at: <http://aladin.u-strasbg.fr/aladin.gml> (accessed October 10, 2014).
7. Topcat. Available at: <http://www.star.bris.ac.uk/~mbt/topcat/> (accessed October 10, 2014).
8. Walton, N. A., E. Gonzalez-Solarez, S. Dalla, A. Richards, and J. Tedds. 2006. AstroGrid: A place for your science. *Astron. Geophys.* 47(3):22–24. doi: 10.1111/j.1468-4004.2006.47322.x.
9. Hull, D., K. Wolstencroft, R. Stevens, C. A. Goble, M. R. Pocock, P. Li, and T. Oinn. 2006. Taverna: A tool for building and running workflows of services. *Nucleic Acids Res.* 34(2):729–732. doi: 10.1093/nar/gkl320.
10. Goble, C. A., and D. C. De Roure. 2007. myExperiment: Social networking for workflow-using e-scientists. *2nd Workshop on Workflows in Support of Large-*

- Scale Science (WORKS'07) Proceedings*. ACM Press. 1–2. doi: 10.1145/1273360.1273361.
11. Wf4ever project. Available at: <http://www.wf4ever-project.org/> (accessed October 10, 2014).
  12. Wroe, C., C. Goble, A. Goderis, P. Lord, S. Miles, J. Papay, P. Alper, and L. Moreau. 2007. Recycling workflows and services through discovery and reuse. *Concurr. Comp. Pract. Exp.* 19(2):181–194. doi: 10.1002/cpe.1050.
  13. Tejo-Alonso, C., D. Berrueta, L. Polo, and S. Fernández. 2011. Metadata for web ontologies and rules: Current practices and perspectives. *Metadata and semantic research*. Eds. E. Garcia-Barriocanal, Z. Cebeci, M. C. Okur, and A. Öztürk. Communications in computer and information science ser. Berlin–Heidelberg: Springer-Verlag. 240:56–67. doi: 10.1007/978-3-642-24731-6\_6.
  14. Burkhard, H. D., and M. M. Richter. 2000. On the notion of similarity in case based reasoning and fuzzy theory. *Soft computing in case based reasoning*. London: Springer. 29–45. doi: 10.1007/978-1-4471-0687-6\_2.
  15. Bergmann, R., A. Fressmann, K. Maximini, R. Maximini, and T. Sauer. 2006. Case-based support for collaborative business. *Advances in case-based reasoning*. Eds. T. Roth-Berghofer, M. H. Göker, and H. A. Güvenir. Lecture notes in computer science ser. Berlin–Heidelberg: Springer. 4106:519–533. doi: 10.1007/11805816\_38.
  16. Leake, D. B., and J. Kendall-Morwick. 2008. Towards case-based support for e-Science workflow generation by mining provenance. *Advances in case-based reasoning*. Eds. K.-D. Althoff, R. Bergmann, M. Minor, and A. Hanft. Lecture notes in computer science ser. Berlin–Heidelberg: Springer. 5239:269–283. doi: 10.1007/978-3-540-85502-6\_18.
  17. Bergmann, R., and Y. Gil. 2011. Retrieval of semantic workflows with knowledge intensive similarity measures. *Case-based reasoning research and development*. Eds. A. Ram and N. Wiratunza. Lecture notes in computer science ser. Berlin–Heidelberg: Springer. 6880:17–31. doi: 10.1007/978-3-642-23291-6\_4.
  18. Van der Aalst, W. M. P. 2011. *Process mining: Discovery, conformance and enhancement of business processes*. Heidelberg: Springer. 352 p. doi: 10.1007/978-3-642-19345-3.
  19. Russell, N., A. H. M. ter Hofstede, W. M. P. Van der Aalst, and N. Mulyar. 2006. *Workflow control-flow patterns: A revised view*. BPM Center Report BPM-06-22, BPMcenter.org. doi: 10.1.1.93.6974.
  20. W3C. 2013. RIF Production Rule Dialect. 2nd ed. Available at: <http://www.w3.org/TR/rif-prd/> (accessed October 10, 2014).
  21. W3C. 2004. OWL Web Ontology Language Reference. Available at: <http://www.w3.org/TR/owl-ref/> (accessed October 10, 2014).
  22. Kalinichenko, L. A., S. A. Stupnikov, A. E. Vovchenko, and D. Yu. Kovalev. 2013. Conceptual declarative problem specification and solving in data intensive domains. *Informatics and Applications — Inform Appl.* 7(4):112–139. doi: 10.14357/19922264130412.
  23. Vovchenko, A. E., V. N. Zakharov, L. A. Kalinichenko, D. Yu. Kovalev, O. V. Ryabukhin, N. A. Skvortsov, and S. A. Stupnikov. 2014. Ot spetsifikatsiy trebovaniy k kontseptual'noy skheme [From specifications of requirements to conceptual schema]. *Tr. 12-y Vseross. nauch. konf. "Elektronnye Biblioteki: Perspektivnyye*

*Metody i Tekhnologii, Elektronnyye Kollektzii*” RCDL’2010 [12th Russian Conference “Digital Libraries: Advanced Methods and Technologies” RCDL-2010 Proceedings]. Kazan: Kazan Federal University. 375–381.

24. W3C. *The PROV Ontology. W3C Recommendation*. Available at: <http://www.w3.org/TR/prov-o/> (accessed October 10, 2014).
25. Geisler, S., S. Weber, and C. Quix. 2011. Ontology-based data quality framework for data stream applications. *16th Conference (International) on Information Quality (ICIQ-11)*. Adelaide, Australia: MIT Information Quality (MITIQ) Program. 145–159.
26. RIFle. Available at: <https://bitbucket.org/fundacionctic/rifle/wiki/Home> (accessed October 10, 2014).
27. W3C. RIF RDF and OWL Compatibility. Available at: <http://www.w3.org/TR/rif-rdf-owl/> (accessed October 10, 2014).
28. W3C. SPARQL Query Language for RDF. Available at: <http://www.w3.org/TR/rdf-sparql-query/> (accessed October 10, 2014).
29. Apache JENA. Available at: <http://jena.apache.org/> (accessed October 10, 2014).

*Received October 9, 2014*

## **Contributors**

**Skvortsov Nikolay A.** (b. 1973) — scientist, Institute of Informatics Problems, Russian Academy of Sciences, 44-2 Vavilov Str., Moscow 119333, Russian Federation; [nskv@ipi.ac.ru](mailto:nskv@ipi.ac.ru)

**Vovchenko Alexey E.** (b. 1984) — Candidate of Science (PhD) in technology, senior scientist, Institute of Informatics Problems, Russian Academy of Sciences, 44-2 Vavilov Str., Moscow 119333, Russian Federation; [itsnein@gmail.com](mailto:itsnein@gmail.com)

**Kalinichenko Leonid A.** (b. 1937) — Doctor of Science in physics and mathematics, professor, Honored Scientist of RF; Head of Laboratory, Institute of Informatics Problems, Russian Academy of Sciences, 44-2 Vavilov Str., Moscow 119333, Russian Federation; professor, Faculty of Computational Mathematics and Cybernetics, M. V. Lomonosov Moscow State University, 1-52 Leninskiye Gory, GSP-1, Moscow 119991, Russian Federation; [leonidk@ipi.ac.ru](mailto:leonidk@ipi.ac.ru)

**Kovalev Dmitry Yu.** (b. 1988) — programmer, Institute of Informatics Problems, Russian Academy of Sciences, 44-2 Vavilov Str., Moscow 119333, Russian Federation; [dm.kovalev@gmail.ru](mailto:dm.kovalev@gmail.ru)

**Stupnikov Sergey A.** (b. 1978) — Candidate of Science (PhD) in technology, senior scientist, Institute of Informatics Problems, Russian Academy of Sciences, 44-2 Vavilov Str., Moscow 119333, Russian Federation; [ssa@ipi.ac.ru](mailto:ssa@ipi.ac.ru)

## МЕТОДЫ ПОСТРОЕНИЯ ОТОБРАЖЕНИЙ КОЛЛЕКЦИЙ, ПРЕДСТАВЛЕННЫХ В НЕТРАДИЦИОННЫХ МОДЕЛЯХ ДАННЫХ, В ИНТЕГРИРОВАННОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ\*

*С. А. Ступников<sup>1</sup>, А. Е. Вовченко<sup>2</sup>*

**Аннотация:** Рассмотрены вопросы преобразования коллекций, представленных в нетрадиционных моделях данных, таких как графовые, триплетные, модели «ключ–значение», в их интегрированное представление в реляционной модели данных. Общим контекстом, в котором находится работа, является создание комбинированной виртуально-материализованной архитектуры среды интеграции неоднородных коллекций разноструктурированных данных. Рассмотренные подходы к преобразованию коллекций являются основой для материализованной интеграции информационных ресурсов в реляционных хранилищах данных над Hadoop.

**Ключевые слова:** интеграция баз данных; графовые модели данных; RDF; NoSQL; трансформация коллекций данных

**DOI:** 10.14357/08696527140402

### 1 Введение

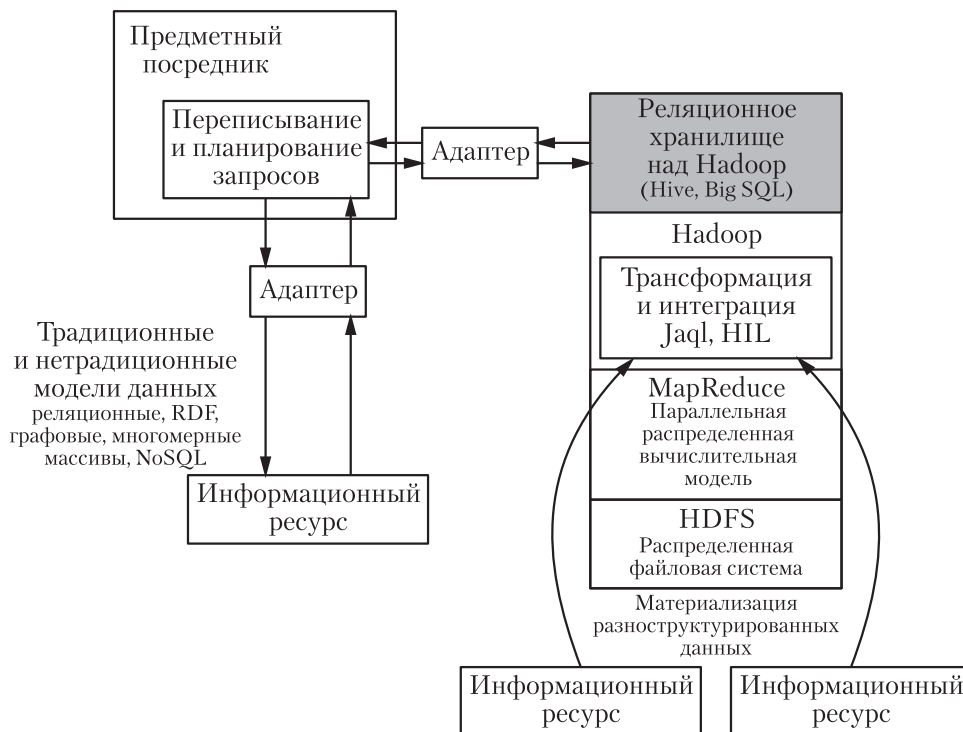
Растущее разнообразие моделей данных в информационных технологиях, наблюдаемое в настоящее время, требует создания подходов к интеграции моделей и коллекций данных, представленных в этих моделях. Методы создания унифицированного представления различных видов нетрадиционных моделей в канонической информационной модели (общем языке, унифицирующем языки разнообразных моделей данных) в последнее время активно исследовались в ИПИ РАН. Были рассмотрены подходы к унификации моделей данных различных классов: семантических (OWL (Web Ontology Language), RDF (Resource Description Framework) [1]), графовых [2], многомерных массивов, NoSQL (Not only SQL — structured query language) моделей [3]. Была предложена также архитектура комбинированной виртуально-материализованной архитектуры среды

---

\* Работа выполнена при поддержке РФФИ (гранты 13-07-00579 и 14-07-00548), Президиума РАН (программа фундаментальных исследований Президиума РАН № 16 «Фундаментальные проблемы системного программирования»), ИПИ РАН (тема 38.25 «Спецификация и решение задач анализа данных в концептуальных терминах предметных областей с интенсивным использованием данных» государственного задания ИПИ РАН).

<sup>1</sup>Институт проблем информатики Российской академии наук, ssa@ipi.ac.ru

<sup>2</sup>Институт проблем информатики Российской академии наук, alexey.vovchenko@gmail.com



**Рис. 1** Архитектура среды виртуально-материализованной интеграции

интеграции неоднородных коллекций данных различного вида (структурированных, слабоструктурированных и неструктурированных) [4]. Основные черты архитектуры рассмотрены на рис. 1. Среда поддерживает как виртуальную, так и материализованную интеграцию коллекций данных, представленных как в традиционных (реляционных), так и в нетрадиционных моделях данных.

Виртуальная интеграция осуществляется с использованием технологии предметных посредников [5], образующих промежуточный слой между пользователем (приложением) и неоднородными информационными ресурсами. При этом данные из ресурсов не материализуются в посреднике. При материализованной интеграции предполагается создание хранилища данных (warehouse), в которое загружаются коллекции данных, подлежащие интеграции. В процессе загрузки происходит преобразование данных из схемы коллекции в общую схему хранилища. Материализованную интеграцию предлагается реализовывать с использованием свободно распространяемой платформы распределенного хранения и обработки данных Hadoop [6]; а также системы организации реляционных хранилищ данных над Hadoop (WR-Hadoop для краткости), в качестве которой

могут использоваться, например, платформы Big SQL [7] или Hive [8] (система Hive является свободно распространяемым решением, а Big SQL — проприетарным, распространяемым в составе продукта IBM InfoSphere BigInsights [9]). Основные принципы построения среды интеграции неоднородных коллекций данных и подходы к ее реализации рассмотрены в работе [4]. Данная же работа сосредоточена на более узком вопросе преобразования коллекций, представленных в нетрадиционных моделях данных, в их интегрированное представление в реляционной модели данных системы WR-Hadoop. Этот вопрос является актуальным, поскольку известные системы организации реляционных хранилищ над Hadoop, такие как Hive и Big SQL, не в полной мере реализуют функции хранилищ данных. В частности, напрямую не поддерживается процесс извлечения–преобразования–загрузки (ETL — extract–transform–load). Для реализации недостающих функций в среде интеграции [4] предлагается использование декларативно-императивных языков высокого уровня над Hadoop.

Материализация в среде осуществляется путем помещения в Hadoop-кластер файлов, экспортированных из информационных ресурсов. Файлы могут быть экспортированы в различных открытых форматах: JSON (JavaScript Object Notation), XML (eXtensible Markup Language), CSV (Comma Separated Values), в виде текстовых файлов и т. д. Для определенности в данной статье в качестве основного формата рассматривается JSON [10]. Преобразование данных к реляционному виду для последующей интеграции производится при помощи программ на языке Jaql [11] (язык запросов и сценариев, разработанный IBM и использующий формат JSON; поставляется в составе IBM InfoSphere BigInsights [9] — программной платформы обработки больших данных, основанной на Hadoop). Конструирование преобразований коллекций в настоящий момент производится вручную, на формальной базе унификации нетрадиционных моделей [1–3]. При унификации осуществляется конструирование сохраняющих семантику отображений схем исходных моделей в каноническую модель, а также отображений операций манипулирования данными. На основании этих отображений и происходит конструирование преобразований коллекций. Автоматизация генерации преобразований является предметом дальнейшей работы.

В данной статье рассматриваются и иллюстрируются на примерах подходы к преобразованию в реляционное представление коллекций данных трех нетрадиционных моделей: графовой модели Neo4J [12] (разд. 2), семантической модели RDF [13] (разд. 3) и NoSQL-модели системы управления базами данных (СУБД) HBase [14] (разд. 4).

## 2 Преобразование коллекций данных графовых моделей

Рассмотрим пример коллекции данных, представленной в модели данных графовой СУБД Neo4j [12]. Небольшой подграф базы данных (БД) о фильме «Матрица», включающий основные виды вершин, ребер и атрибутов, изображен на рис. 2.



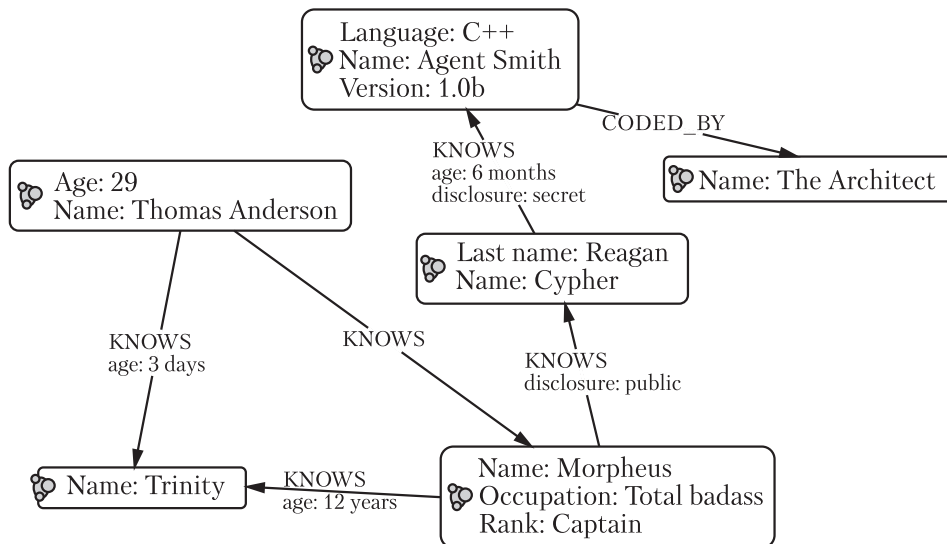


Рис. 2 Пример графа в модели данных Neo4j

Вершины графа соответствуют людям (PERSON) и программам (PROGRAM), ребра графа соответствуют знакомству людей и программ друг с другом (KNOWS) и созданию программы человеком (CODED\_BY). Люди характеризуются именем (*name*), фамилией (*lastName*), возрастом (*age*), родом занятий (*occupation*), званием (*rank*); программы — названием (*name*), языком программирования (*language*), версией (*version*); знакомство людей и программ — длительностью (*age*), степенью публичности (*disclosure*). Вершины и ребра графа обладают уникальными идентификаторами.

Графовая БД системы Neo4j может быть сериализована в формате JSON. Представление для вышеприведенного графа в JSON выглядит следующим образом:

```
[{ "id": 1, "type": "node", "labels": ["PERSON"],
  "properties": {"name": "Thomas", "lastName": "Anderson",
    "age": 29} },
{ "id": 2, "type": "node", "labels": ["PERSON"],
  "properties": {"name": "Trinity"} },
{ "id": 3, "type": "node", "labels": ["PERSON"],
  "properties": {"name": "Morpheus", "occupation": "Total badass",
    "rank": "Captain"} },
{ "id": 4, "type": "node", "labels": ["PERSON"],
  "properties": {"name": "Cypher", "lastName": "Reagan"} },
```



```
{ "id": 5, "type": "node", "labels": ["PERSON"],
  "properties": {"name": "The Architect"} },
{ "id": 6, "type": "node", "labels": ["PROGRAM"],
  "properties": {"name": "Agent Smith", "language": "C++",
    "version": "1.0b"} },
{ "id": 7, "type": "relationship", "relationship_type": "KNOWS",
  "start_node": 1, "end_node": 2,
  "properties": {"age": "3 days"} },
{ "id": 8, "type": "relationship", "relationship_type": "KNOWS",
  "start_node": 1, "end_node": 3 },
{ "id": 9, "type": "relationship", "relationship_type": "KNOWS",
  "start_node": 3, "end_node": 2,
  "properties": {"age": "12 years"} },
{ "id": 10, "type": "relationship",
  "relationship_type": "KNOWS",
  "start_node": 3, "end_node": 4,
  "properties": {"disclosure": "public"} },
{ "id": 10, "type": "relationship",
  "relationship_type": "KNOWS",
  "start_node": 4, "end_node": 6,
  "properties": {"age": "6 months", "disclosure": "secret"} },
{ "id": 10, "type": "relationship",
  "relationship_type": "CODED_BY"
  "start_node": 6, "end_node": 5
}]
```

Здесь `start_node` и `end_node` обозначают исходящую и входящую вершины ребра соответственно; `labels` обозначает множество меток, присвоенных вершине; `properties` означает атрибуты (свойства) вершин и ребер.

Реляционное представление данной графовой БД может выглядеть следующим образом. Схема реляционной БД состоит из двух отношений, одно из которых соответствует вершинам графа (*Nodes*, табл. 1), другое — ребрам (*Relationships*, табл. 2).

Преобразование графовой БД в реляционное представление может быть осуществлено при помощи следующих двух функций, определенных на языке Jaql:

```
createNodesRelation = fn(matrix_graph_db)(
  matrix_graph_db->filter $.type == "node"->
    transform { id: $.id, labels: $.labels,
      age: $.properties.age,
      name: $.properties.name,
      lastName: $.properties.lastName,
      rank: $.properties.rank,
```

Таблица 1 Отношение *Nodes*

id	labels	age	name	lastName	occupation	rank	language	version
1	["PERSON"]	29	"Thomas"	"Anderson"	null	null	null	null
2	["PERSON"]	null	"Trinity"	null	null	null	null	null
3	["PERSON"]	null	"Morpheus"	null	"Total badass"	"Captain"	null	null
4	["PERSON"]	null	"Cypher"	"Reagan"	null	null	null	null
5	["PERSON"]	null	"The Architect"	null	null	null	null	null
6	["PROGRAM"]	null	"Agent Smith"	null	null	null	"C++"	"1.0b"

Таблица 2 Отношение *Relationships*

id	start_node	end_node	relationship_type	age	disclosure
7	1	2	"KNOWS"	"3 days"	null
8	1	3	"KNOWS"	null	null
9	3	2	"KNOWS"	"12 years"	null
10	3	4	"KNOWS"	null	"public"
11	4	6	"KNOWS"	"6 months"	"secret"
12	6	5	"CODED_BY"	null	null

```

occupation: $.properties.occupation,
version: $.properties.version,
language: $.properties.language } );

```

```

createRelationshipRelation = fn(matrix_graph_db)(
  matrix_graph_db->filter $.type == "relationship"->
  transform { id: $.id,
    start_node: $.start_node, end_node: $.end_node,
    relationship_type: $.relationship_type,
    age: $.properties.age,
    disclosure: $.properties.disclosure, } );

```

Функции принимают на вход представление графовой БД в формате JSON. Первая из функций возвращает отношение *Nodes* в формате JSON, пригодное для загрузки в соответствующую реляционную таблицу, вторая — отношение *Relationships*. При определении функций используются выражения фильтрации массивов (*filter*) и преобразования элементов массивов (*transform*), связанные оператором организации потоков данных (*->*).

### 3 Преобразование коллекций данных модели RDF

В качестве примера коллекции данных модели RDF [13] рассмотрим базу знаний *DBpedia* (<http://dbpedia.org>). Коллекция содержит структурированную информацию, извлеченную из свободной энциклопедии Википедия. В качестве примеров данных рассмотрим RDF-спецификации города *Кембридж* (Ве-

ликобритания) и его представителей в Парламенте *Эндрю Лэнсли* (от партии консерваторов) и *Джулиана Ханперта* (от партии либералов). Спецификации представлены в формате JSON:

```
{ "http://dbpedia.org/resource/Cambridge": {
  "http://dbpedia.org/property/officialName": [ {
    "type": "literal", "lang" : "en",
    "value" : "City of Cambridge" } ],
  "http://dbpedia.org/ontology/areaTotal": [ {
    "type": "literal", "value": 115650000,
    "datatype": "http://www.w3.org/XMLSchema#double"}],
  "http://dbpedia.org/ontology/isPartOf": [
    { "type": "uri",
      "value": "http://dbpedia.org/resource/East_of_England" },
    { "type": "uri",
      "value": "http://dbpedia.org/resource/Cambridgeshire" } ],
  "http://dbpedia.org/ontology/leaderName": [
    { "type" : "uri",
      "value" : "http://dbpedia.org/resource/Julian_Huppert" } ,
    { "type": "uri",
      "value": "http://dbpedia.org/resource/Andrew_Lansley"}, ]
} }

{ "http://dbpedia.org/resource/Andrew_Lansley": {
  "http://dbpedia.org/property/name": [ {
    "type" : "literal", "lang" : "en",
    "value" : "Andrew Lansley" } ],
  "http://dbpedia.org/ontology/birthDate": [ {
    "type": "literal", "value": "1956-12-10+02:00",
    "datatype": "http://www.w3.org/XMLSchema#date" } ],
  "http://dbpedia.org/ontology/party": [ {
    "type": "uri",
    "value": "http://dbpedia.org/resource/Conservative_Party_(UK)" } ] ,
  "http://dbpedia.org/ontology/electionMajority": [ {
    "type": "literal", "value": 7838,
    "datatype" : "http://www.w3.org/XMLSchema#integer"}]
} }
```

Свойства Кембриджа как объекта включают, в частности, название (*officialName*), площадь (*areaTotal*), вышестоящие территориальные образования (*isPartOf*), лидера (*leaderName*). Свойства парламентариев как объектов включают имя (*name*), дату рождения (*birthDate*), партию (*party*), количество голосов на выборах (*electionMajority*).

Таблица 3 Отношение *Cities*

subject	officialName	areaTotal	isPartOf	leaderName
"http://dbpedia.org/resource/Cambridge"	["City of Cambridge"]	[115650000]	["http://dbpedia.org/resource/East_of_England", "http://dbpedia.org/resource/Cambridgeshire"]	["http://dbpedia.org/resource/Julian_Huppert", "http://dbpedia.org/resource/Andrew_Lansley"]

Таблица 4 Отношение *Persons*

subject	name	birthdate	party	electionMajority
"http://dbpedia.org/resource/Andrew_Lansley"	["Andrew Lansley"]	["1956-12-10+02:00"]	["http://dbpedia.org/resource/Conservative_Party_(UK)"]	[7838]
"http://dbpedia.org/resource/Julian_Huppert"	["Huppert, Julian", "Dr Julian Huppert"]	["1978-07-21+02:00"]	["http://dbpedia.org/resource/Liberal_Democrats"]	[6792]

Реляционное представление объектов такого рода может выглядеть следующим образом. Схема реляционной БД состоит из двух отношений, одно из которых соответствует городам (*Cities*, табл. 3), другое — персонам (*Persons*, табл. 4). Атрибутам отношений соответствуют свойства объектов. В RDF-хранилищах подобные отношения, группирующие свойства однородных объектов, называются таблицами свойств (*property tables*) [15].

Преобразование RDF-объектов персон в кортежи отношения *Cities* может быть осуществлено при помощи функции *createCityTuple*, определенной на языке Jaql:

```
createCityTuple = fn(city_rdf) (
  pa = ["http://dbpedia.org/property/officialName",
        "http://dbpedia.org/ontology/areaTotal",
        "http://dbpedia.org/ontology/isPartOf",
        "http://dbpedia.org/ontology/leaderName"],
  properties_record = index(values(city_rdf), 0),
  if( not containedIn( "false",
    for($pa in pa)
      if(containedIn($pa, names(record(values(city_rdf))))
        ["true"]
      else ["false"])) )
```

```

if( arity(city_rdf) == 1 )
{ subject: index(names(city_rdf), 0),
  officialName: for( $name in
    proper-
ties_record."http://dbpedia.org/property/officialName")
    [$name.value],
  areaTotal: for( $area in
    properties_record."http://dbpedia.org/ontology/areaTotal")
    [$area.value],
  isPartOf: for( $partOf in
    properties_record."http://dbpedia.org/ontology/isPartOf")
    [$partOf.value],
  leaderName: for( $leader in
    properties_record."http://dbpedia.org/ontology/leaderName")
    [$leader.value]
}
);

```

Функция принимает на вход RDF-спецификацию города в формате JSON и возвращает кортеж, пригодный для загрузки в соответствующую реляционную таблицу. При определении функции используются условное выражение `if`, выражение цикла `for`, встроенные функции манипулирования массивами и записями `names`, `values`, `record`, `index` [9] и вспомогательная функция `containedIn(elm, arr)`, возвращающая значение `true`, если значение `elm` является элементом массива `arr`:

```

containedIn = fn(elm, arr)(
  exists(for( $iter in arr ) if($iter == elm) [true]) );

```

Преобразование RDF-объектов персон в кортежи отношения *Persons* может быть осуществлено при помощи функции `createPersonTuple`, определенной на языке Jaql:

```

createPersonTuple = fn(person_rdf) (
  pa = ["http://dbpedia.org/property/name",
    "http://dbpedia.org/ontology/birthDate",
    "http://dbpedia.org/ontology/party",
    "http://dbpedia.org/ontology/electionMajority"],
  properties_record = index(values(person_rdf), 0),
  if( not containedIn( "false",
    for($pa in pa)
      if(containedIn($pa, names(record(values(person_rdf))))
        ["true"]
      else ["false"]) )
  if( arity(person_rdf) == 1 )
  { subject: index(names(person_rdf), 0),

```

```

name: for( $name in
  properties_record."http://dbpedia.org/property/name")
  [$name.value],
birthday: for( $birthday in
  properties_record."http://dbpedia.org/ontology/birthDate")
  [$birthday.value],
party: for( $party in
  properties_record."http://dbpedia.org/ontology/party")
  [$party.value],
electionMajority: for( $em in
  properties_record."http://dbpedia.org/ontology/
  electionMajority")
  [$em.value]
}
);

```

#### 4 Преобразование коллекций данных модели HBase

В качестве примера коллекции данных модели «ключ–значение» рассмотрим фрагмент БД о книгах по информационным технологиям в СУБД HBase [14].

База данных HBase в общем виде представляет собой множество пар *ключ* → *значение*, где *ключ* — это четверка (*ключ строки, семейство столбца, идентификатор столбца, временная метка*), а *значение* — обычное значение некоторого встроенного типа (*boolean, int, float* и т. д.). Фрагмент БД о книгах в общем виде выглядит следующим образом:

```

(01, language, natural, t1) -> "English"
(01, language, programming, t1) -> "Java"
(01, description, edition, t1) -> "second"
(01, description, edition, t2) -> "third"
(01, description, author, t1) -> "Herbert Schildt"
(07, language, natural, t1) -> "Russian"
(07, language, programming, t1) -> "C++"
(07, description, edition, t1) -> "second"
(07, description, author, t1) -> "E.Balagurusamy"

```

Здесь *t1, t2* — временные метки. В формате JSON эти данные могут быть представлены следующим образом:

```

[ { "key": "01",
  "language": { "natural": {t1:"English"},
    "programming": {t1:"Java"} },
  "description": { "edition": [{t1:"second"}, {t2:"third"}],
    "author": {t1:"Herbert Schildt"} } },

```

**Таблица 5** Отношение *HBaseData*

key	column family	column qualifier	timestamp	value
01	language	natural	t1	“English”
01	language	programming	t1	“Java”
01	description	edition	t1	“second”
01	description	edition	t2	“third”
01	description	author	t1	“Herbert”
07	language	natural	t1	“Russian”
07	language	programming	t1	“C++”
07	description	edition	t1	“second”
07	description	author	t1	“E.Balagurusamy”

```
{"key": "07",
  "language": { "natural": {t1:"Russian"},
  "programming": {t1:"C++"} },
  "description": { "edition": {t1:"second"},
  "author": {t1:"E.Balagurusamy"} }
}
```

Возможны различные способы представления данных модели HBase в реляционном виде. В данном разделе будут рассмотрены два из них.

При *первом способе* используется фиксированная реляционная схема (для произвольной БД), состоящая из одного отношения *HBaseData(String key, String column\_family, String column\_qualifier, String timestamp, String value)*. Первичным ключом отношения *HBaseData* является совокупность атрибутов  $\langle key, column\_family, column\_qualifier, timestamp \rangle$ . Количество кортежей в отношении соответствует количеству пар ключ–значение в БД HBase. Реляционное представление рассмотренного выше фрагмента БД о книгах при этом способе приведено в табл. 5.

Преобразование исходных данных в реляционное представление может быть осуществлено при помощи функции `createNativeRelation` на языке Jaql:

```
createNativeRelation(hbasedata) (
  for ($obj in hbasedata) (
    for ($f in names($obj)) (
      if ($f != 'key') (
        for ($q in names($obj.($f))) (
          for ($t in names($obj.($f).($q))) (
            [{ key: $obj.key, column_family: $f,
              column_qualifier: $q, timestamp: $t,
              value: $obj.($f).($q).($t) }]
          ))))
    )))) );
```

*Второй способ* предполагает использование реляционной схемы, зависящей от БД HBase. При этом для каждой группы однородных объектов (имеющих

Таблица 6 Отношение *Books*

key	language_natural	language_programming	description_edition	description_author
01	t1:"English"	t1:"Java"	t1:"second";t2:"third"	t1:"Herbert Schildt"
07	t1:"Russian"	t1:"C++"	t1:"second"	t1:"E.Balagurusamy"

значения для одного набор колонок) создается свое отношение в реляционной схеме. Так, в рассматриваемом примере присутствует одна группа однородных объектов — книги, имеющих значения для набора колонок (*natural*, *programming*, *edition*, *author*). Идея подхода в том, чтобы собрать все данные об одном объекте (из пар *ключ* → *значение* с одним значением ключа) в одном кортеже. Реляционное представление фрагмента БД о книгах при этом способе приведено в табл. 6.

Преобразование исходных данных в реляционное представление может быть осуществлено при помощи функции `createBooksRelation` на языке Jaql:

```
createBooksRelation(hbasedata) (
  hbasedata -> transform {
    "key": $.key,
    "language_natural": $.language.natural,
    "language_programming": $.language.programming,
    "description_edition": $.description.edition,
    "description_author": $.description.author }
);
```

## 5 Заключение

В статье рассмотрены вопросы преобразования коллекций, представленных в нетрадиционных моделях данных, таких как графовые, триплетные, модели «ключ–значение», в их интегрированное представление в реляционной модели данных. Общим контекстом, в котором находится работа, является создание комбинированной виртуально-материализованной архитектуры среды интеграции неоднородных коллекций данных различного вида (структурированных, слабоструктурированных и неструктурированных). Рассмотренные подходы к преобразованию коллекций служат основой для материализованной интеграции информационных ресурсов в реляционных хранилищах данных над Hadoop. Целью дальнейшей работы является создание методов автоматической генерации функций преобразования коллекций и их применение при решении конкретных задач интеграции коллекций.

## Литература

1. Сковрцов Н. А. Отображение модели данных RDF в каноническую модель предметных посредников // Электронные библиотеки: перспективные методы и технологии,



- электронные коллекции (RCDL'2013): Тр. 15-й Всеросс. науч. конф. — Ярославль: ЯрГУ им. П. Г. Демидова, 2013. С. 202–209.
2. *Ступников С. А.* Отображение графовой модели данных в каноническую объектно-фреймовую информационную модель при создании систем интеграции неоднородных информационных ресурсов // *Электронные библиотеки: перспективные методы и технологии, электронные коллекции (RCDL'2013)*: Тр. 15-й Всеросс. науч. конф. — Ярославль: ЯрГУ им. П. Г. Демидова, 2013. С. 193–202.
  3. *Скворцов Н. А.* Отображение моделей данных NoSQL в объектные спецификации // *Электронные библиотеки: перспективные методы и технологии, электронные коллекции (RCDL'2012)*: Тр. 14-й Всеросс. науч. конф. — Переславль-Залесский: Ун-т города Переславля, 2012. С. 78–87.
  4. *Ступников С. А., Вовченко А. Е.* Комбинированная виртуально-материализованная среда интеграции неоднородных коллекций данных // *Электронные библиотеки: перспективные методы и технологии, электронные коллекции (RCDL'2014)*: Тр. 16-й Всеросс. науч. конф. — Дубна: ОИЯИ, 2014 (в печати).
  5. *Брюхов Д. О., Вовченко А. Е., Захаров В. Н., Желенкова О. П., Калининко Л. А., Мартынов Д. О., Скворцов Н. А., Ступников С. А.* Архитектура промежуточного слоя предметных посредников для решения задач над множеством интегрируемых неоднородных распределенных информационных ресурсов в гибридной грид-инфраструктуре виртуальных обсерваторий // *Информатика и ее применения*, 2008. Т. 2. Вып. 1. С. 2–34.
  6. Apache Hadoop Project. 2014. <http://hadoop.apache.org>.
  7. *Saracco C. M., Uttam J.* What's the big deal about Big SQL? Introducing relational DBMS users to IBM's SQL technology for Hadoop. — IBM DeveloperWorks, 2013. <http://www.ibm.com/developerworks/library/bd-bigsqldb-bigsqldb-pdf.pdf>.
  8. *Capriolo E., Wampler D., Rutherglen J.* Programming Hive Data Warehouse and Query Language for Hadoop. — O'Reilly Media, 2012.
  9. IBM InfoSphere BigInsights Information Center. 2014. <http://pic.dhe.ibm.com/infocenter/bigins/v2r1/index.jsp>.
  10. Introducing JSON. 2014. <http://www.json.org>.
  11. *Beyer K. S., Ercegovic V., Gemulla R., Balmin A., Eltabakh M., Kanne C.-Ch., Ozcan F., Shekita E. J.* Jaql: A scripting language for large scale semistructured data analysis. — VLDB, 2011.
  12. The Neo4j Manual, 2014. <http://goo.gl/cHiOGF>.
  13. RDF 1.1 concepts and abstract syntax. W3C Recommendation 25 February 2014 / R. Cyganiak, D. Wood, M. Lanthaler. <http://www.w3.org/TR/2014/REC-rdf11-concepts-20140225>.
  14. *Lars G.* HBase: The definitive guide. — O'Reilly Media, 2011. 556 p.
  15. *Wilkinson K., Sayers C., Kuno H., Reynolds D.* Efficient RDF storage and retrieval in Jena2 // *SWDB'03: 1st Workshop (International) on Semantic Web and Databases Proceedings*. Berlin, Germany, 2003. P. 131–150. <http://www.cs.uic.edu/~ifc/SWDB/proceedings.pdf>.

*Поступила в редакцию 22.09.14*

## METHODS FOR MAPPING OF COLLECTIONS PRESENTED IN NONTRADITIONAL DATA MODELS INTO THE INTEGRATED REPRESENTATION

*S. A. Stupnikov, A. E. Vovchenko*

Institute of Informatics Problems, Russian Academy of Sciences, 44-2 Vavilov Str.,  
Moscow 119333, Russian Federation

**Abstract:** The paper considers transformations of collections presented in nontraditional data models, such as graph, triplet, and key-value models, into the integrated representation in the relational data model. The context of the paper is the development of the combined virtual and materialized environment for integration of heterogeneous collections of (un-, semi-)structured data. The proposed techniques constitute the basis for materialized integration of information resources in relational data warehouses over Hadoop.

**Keywords:** database integration; graph data models; RDF; NoSQL; data collections transformation

**DOI:** 10.14357/08696527140402

### Acknowledgments

The work was supported by the Russian Foundation for Basic Research (Grants Nos. 13-07-00579 and 14-07-00548), by the Presidium of the Russian Academy of Sciences (Program of Basic Research of the Presidium of RAS No. 16 “Fundamental Problems of System Programming”), and by IPI RAN (theme 38.25 “Specification and solving of the problems of data analysis in conceptual terms of subject areas with intense data utilization” of state task of IPI RAN).

### References

1. Skvortsov, N. A. 2013. Otobrazhenie modeli dannykh RDF v kanonicheskuyu model' predmetnykh posrednikov [Mapping of RDF data model into the canonical model of subject mediators]. *Tr. 15-y Vseross. nauch. konf. “Elektronnye Biblioteki: Perspektivnye Metody i Tekhnologii, Elektronnye Kollektzii” RCDL'2013* [15th Russian Conference on Digital Libraries RCDL'2013 Proceedings]. 1108:95–101.
2. Stupnikov, S. A. 2013. Otobrazhenie grafovoy modeli dannykh v kanonicheskuyu ob'ektno-freymovuyu informatsionnuyu model' pri sozdanii sistem integratsii neodnorodnykh informatsionnykh resursov [Mapping of a graph data model into an object-frame canonical information model for the development of heterogeneous information resources integration systems]. *Tr. 15-y Vseross. nauch. konf. “Elektronnye Biblioteki: Perspektivnye Metody i Tekhnologii, Elektronnye Kollektzii” RCDL'2013* [15th Russian Conference on Digital Libraries RCDL'2013 Proceedings]. 1108:85–94.

3. Skvortsov, N. A. 2012. Otobrazhenie modeley dannykh NoSQL v ob"ektnye spetsifikatsii [Mapping of NoSQL data models to object specifications]. *Tr. 14-y Vseross. nauch. konf. "Elektronnyye Biblioteki: Perspektivnyye Metody i Tekhnologii, Elektronnyye Kolleksii" RCDL'2012* [14th Russian Conference on Digital Libraries RCDL'2012 Proceedings]. 934:53–62.
4. Stupnikov, S. A., and A. E. Vovchenko. 2014 (in press). Kombinirovannaya virtual'no-materializovannaya sreda integratsii neodnorodnykh kolleksiy dannykh [Combined virtual and materialized environment for integration of large heterogeneous data collections]. *Tr. 16-y Vseross. nauch. konf. "Elektronnyye Biblioteki: Perspektivnyye Metody i Tekhnologii, Elektronnyye Kolleksii" RCDL'2014* [16th Russian Conference on Digital Libraries RCDL 2014' Proceedings].
5. Briukhov, D. O., A. E. Vovchenko, V. N. Zakharov, O. P. Zhelenkova, L. A. Kalinichenko, D. O. Martynov, N. A. Skvortsov, and S. A. Stupnikov. 2008. Arkhitektura promezhutochnogo sloya predmetnykh posrednikov dlya resheniya zadach nad mnozhestvom integriruemyykh neodnorodnykh raspredelennykh informatsionnykh resursov v gibridnoy grid-infrastrukture virtual'nykh observatoriy [The middleware architecture of the subject mediators for problem solving over a set of integrated heterogeneous distributed information resources in the hybrid grid-infrastructure of virtual observatories]. *Informatika i ee Primeneniya — Inform. Appl.* 2(1):2–34.
6. Apache Hadoop Project. Available at: <http://hadoop.apache.org> (accessed October 02, 2014).
7. Saracco, C. M., and J. Uttam. 2013. *What's the big deal about Big SQL? Introducing relational DBMS users to IBM's SQL technology for Hadoop*. IBM DeveloperWorks. Available at: <http://www.ibm.com/developerworks/library/bd-bigsqldb-bigsqldb.pdf> (accessed October 02, 2014)
8. Capriolo, E., D. Wampler, and J. Rutherglen. 2012. *Programming Hive data warehouse and query language for Hadoop*. O'Reilly Media. 329 p.
9. IBM InfoSphere BigInsights Information Center. Available at: <http://pic.dhe.ibm.com/infocenter/bigins/v2r1/index.jsp> (accessed October 02, 2014).
10. Introducing JSON. Available at: <http://www.json.org> (accessed October 02, 2014).
11. Beyer, K. S., V. Ercegovac, R. Gemulla, A. Balmin, M. Eltabakh, C.-Ch. Kanne, F. Ozcan, and E. J. Shekita. 2011. Jaql: A scripting language for large scale semistructured data analysis. *Proceedings of the VLDB Endowment* 4(12):1272–1283.
12. *The Neo4j manual*. Available at: <http://goo.gl/cHiOGF> (accessed October 02, 2014).
13. Cyganiak, R., D. Wood, and M. Lanthaler, eds. *RDF 1.1 concepts and abstract syntax. W3C Recommendation 25 February 2014*. Available at: <http://www.w3.org/TR/2014/REC-rdf11-concepts-20140225> (accessed October 02, 2014).
14. Lars, G. 2011. *HBase: The definitive guide*. O'Reilly Media. 556 p.
15. Wilkinson, K., C. Sayers, H. Kuno, and D. Reynolds. 2003. Efficient RDF storage and retrieval in Jena2. *1st Workshop (International) on Semantic Web and Databases Proceedings*. 131–150. Available at: <http://www.cs.uic.edu/~ifc/SWDB/proceedings.pdf> (accessed October 02, 2014).

Received September 22, 2014

## **Contributors**

**Stupnikov Sergey A.** (b. 1978) — Candidate of Science (PhD) in technology, senior scientist, Institute of Informatics Problems, Russian Academy of Sciences, 44-2 Vavilov Str., Moscow 119333, Russian Federation; ssa@ipi.ac.ru

**Vovchenko Alexey E.** (b. 1984) — Candidate of Science (PhD) in technology, senior scientist, Institute of Informatics Problems, Russian Academy of Sciences, 44-2 Vavilov Str., Moscow 119333, Russian Federation; alexey.vovchenko@gmail.com

## ПОСТРОЕНИЕ ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ПЛАНИРОВАНИЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ РЕСУРСОВ\*

*М. Г. Коновалов*<sup>1</sup>

**Аннотация:** Под планированием вычислительных ресурсов понимается совокупность управленческих действий по приему и распределению заданий, поступающих в вычислительный комплекс или систему. Возникающие оптимизационные задачи отличаются большим разнообразием постановок и часто трудностью решения. Во многих случаях существенную помощь оказывает имитационная модель, реализующая конкретную схему размещения заданий на ресурсах и создаваемая, как правило, заново для конкретной задачи. В статье предлагается подход к построению таких имитационных моделей, опирающийся на развитие некоторых идей теории взаимодействующих процессов. Приведен фрагмент имитационной модели, которая охватывает многие общие черты планирования вычислительных ресурсов. Модель предназначена для создания программной системы, позволяющей решать разнообразные задачи эффективного распределения заданий в системах вычислительных ресурсов методами адаптивной оптимизации.

**Ключевые слова:** имитационная модель; планирование вычислительных ресурсов; потоки заданий

**DOI:** 10.14357/08696527140403

### 1 Введение

Содержание статьи относится к проблеме эффективного использования вычислительных ресурсов. Эта актуальная проблема порождена потребностями организации вычислительных комплексов различного масштаба и назначения. Основным способом ее решения является эффективное распределение заданий между имеющимися вычислительными мощностями (кратко — планирование ресурсов). Имеется много работ, в которых изучаются отдельные оптимизационные задачи планирования ресурсов (см., например, [1]) и которые отличаются многообразием постановок задач, вызванным особенностями конкретных систем и ситуаций. Соответственно, для решения задач привлекается разнообразный математический аппарат. В зависимости от размерности системы, масштаба времени, технологических особенностей используются методы теории массового

---

\* Работа выполнена при частичной поддержке РФФИ (проект № 13-07-00665).

<sup>1</sup> Институт проблем информатики Российской академии наук, mkonvalov@ipiran.ru

обслуживания, теории расписаний, потоковое программирование наряду с общими разделами теории вероятностей и методами оптимизации. Следует отметить два момента. Во-первых, точные математические решения получаются лишь для задач, сформулированных при упрощающих предположениях, вследствие чего активно разрабатываются эвристические алгоритмы. Во-вторых, решение, полученное для одной конкретной задачи, как правило, не переносится на другие, даже близкие по постановке задачи.

Существует методика, использующая единообразный подход к решению достаточно обширного круга задач оптимального размещения и выполнения заданий на вычислительных ресурсах [2–4]. Она характеризуется привлечением имитационной модели для воспроизведения процесса обслуживания заданий в вычислительных системах с последующим использованием адаптивных оптимизационных алгоритмов на имитируемых траекториях. Этот подход показал неплохие результаты для ряда задач планирования ресурсов, а также для сходных задач, связанных с сетевой маршрутизацией. Особенность методики в том, что адаптивные алгоритмы по определению применимы к широкому классу задач и не требуют трудоемких действий для настройки под конкретный объект. В то же время другая составляющая — имитационная модель — до сих пор создавалась заново для каждой новой задачи. Правомочно ставить вопрос об автоматизации этого процесса. В качестве шага в этом направлении предлагается модель планирования ресурсов (МПР), которая отражает некоторые общие черты постановки задач и при этом допускает настройку частных деталей. Следует подчеркнуть, что речь не идет о воссоздании в модели технических подробностей, связанных с той или иной конкретной системой. Моделируется лишь общая схема, которая лежит в основе процесса распределения ресурсов. Такая схема получается в результате постановки математической задачи с присущим ей выделением главных логических деталей и почти неизбежно упрощенным описанием объекта. В конечном итоге преследуется цель реализовать единый подход к решению математических задач, возникающих при попытке оптимально управлять потоками заданий в вычислительных комплексах.

В разд. 2 приведено несколько примеров, с тем чтобы дать представление о характере задач, на решение которых направлена предлагаемая методика. Раздел 3 содержит общее описание МПР, охватывающей ситуации, подобные приведенным в разд. 2. Раздел 4 посвящен краткому описанию общей технологии построения имитационных моделей. В разд. 5 иллюстрируется применение этой технологии на примере центрального фрагмента МПР. Некоторые итоги подведены в заключении.

## **2 Примеры задач планирования ресурсов**

1. Имеется сервер, содержащий конечное число процессоров, на которых происходит выполнение заданий, поступающих извне случайным образом [5].

В каждый момент появления очередной заявки должно быть принято одно из двух возможных решений: задание может быть либо оставлено в системе для последующей обработки, либо отвергнуто. Принятое на обслуживание задание сразу помещается на свободный процессор, если таковой имеется, либо ставится в очередь, которая предполагается потенциально неограниченной. Продвижение в очереди осуществляется по принципу «первый пришел — первый обслуживается». Время выполнения задания на процессоре является случайным. Существенное значение имеет общее время пребывания задания в системе, складывающееся из времени ожидания в очереди и времени непосредственного выполнения, поскольку для каждого задания существует предельный срок, до истечения которого оно должно быть выполнено (так называемый дедлайн). Для оценки качества работы системы вводятся числовые оценки. Так, каждое принятое на обслуживание задание сопровождается «доходом», выраженным некоторым числом. Точно так же любое принятое, но не выполненное в срок задание влечет «штраф», определенный некоторой числовой величиной. В итоге ставится задача о выборе такой стратегии управления доступом заданий в систему, при которой предельный средний доход будет максимальным.

2. В распределенную систему, в которой имеется несколько вычислительных «узлов» с известной производительностью, а также несколько «узлов» для хранения данных, поступает случайный поток независимых заданий, каждое из которых состоит из определенного числа независимых задач [6]. С заданием связан набор файлов с данными, необходимыми для его выполнения. Для каждого такого файла известен набор «узлов», в которых хранятся его копии и с которых данный файл можно запросить, затратив определенное время на пересылку данных. Каждое задание имеет дедлайн. Относительно любой задачи известна создаваемая ею вычислительная нагрузка, а также набор данных, необходимых для ее решения. Для решения задачи в вычислительном узле нужно, чтобы весь связанный с задачей набор данных был передан в этот узел. Необходимо определить алгоритм распределения задач по вычислительным узлам и передачи файлов с данными, минимизирующий среднее время выполнения заданий.
3. Вычислительный комплекс состоит из распределенных вычислительных устройств, которые не являются абсолютно надежными и могут частично или полностью выходить из строя, и предназначен для обработки потока однотипных заданий [4]. Выполнение задания заключается в решении большого (порядка тысяч) числа коротких независимых задач. В некоторых случаях необходимо решить все задачи из задания. Но может оказаться, что в задании существует одна или несколько задач, которые представляют особый интерес и называются ключевыми задачами. Поиск и решение ключевых задач представляет собой основную цель выполнения задания. Какие из задач являются ключевыми и существуют ли вообще ключевые

задачи в данном задании, заранее не известно. Процесс выполнения заданий организован в виде периодической посылки пакетов задач на определенные вычислительные устройства, закрепленные за данным заданием. Промежуток времени между отправлением посылки и приемом ее результатов называется контрольным интервалом и устанавливается в начале каждого запуска задания. Процесс выполнения задания заканчивается, когда обнаружена и решена ключевая задача, либо когда решены все задачи, либо когда наступил дедлайн задания. Ставится цель обнаружить как можно больше ключевых задач. Для ее достижения необходимо найти стратегию, согласно которой: (а) задания выбираются из общей очереди; (б) за выбранным заданием закрепляются вычислительные устройства; (в) определяется количество задач в пакетах; (г) определяется контрольный интервал.

4. В систему вычислительных ресурсов случайным образом поступают задания. Расписание работы ресурсов достаточно сложное: периоды, когда ресурс может выполнять задания, чередуются с периодами полной недоступности. Задания различаются по типу и приоритету, так что определенные задания могут быть выполнены только на определенных ресурсах, а приоритет учитывается при составлении очередности заданий. Каждое задание должно быть выполнено в любом случае, однако при превышении дедлайна назначается штраф. Выполнение каждого задания происходит поэтапно со случайным числом этапов не известной заранее трудоемкости. Между отдельными этапами имеются вынужденные промежутки времени случайной длины. Требуется найти стратегию распределения заданий по ресурсам, минимизирующую число просроченных заданий и обеспечивающую равномерную загрузку ресурсов.

### 3 Общее описание модели планирования ресурсов

Разбирая примеры постановки задач планирования ресурсов, можно констатировать обязательное наличие в них трех основных составляющих:

- (1) задания, которые поступают в вычислительную систему;
- (2) вычислительные ресурсы, на которых задания могут быть выполнены;
- (3) алгоритм, согласно которому происходит распределение заданий между ресурсами.

Соответственно будем говорить о трех основных компонентах модели, которые назовем «ресурсы», «поток (заданий)» и «агенты». Дадим их краткое наглядное описание, оставляя более точное и развернутое изложение до следующих разделов статьи.

Ресурс — это термин для обозначения того технического устройства, на котором происходит решение задач из заданий. Ресурс характеризуется емкостью



памяти, производительностью, а также процессом, описывающим состояние его работоспособности.

Источником потока заданий является потребитель вычислительных ресурсов, который явно не присутствует в модели. Характеристики потока заданий являются обезличенными и складываются из двух составляющих. Это

- (1) случайный процесс, задающий моменты поступления заданий;
- (2) тип поступающих заданий.

Таким образом, поток представляет собой случайную последовательность однотипных заданий, а присутствие в системе заданий разных типов моделируется наличием различных потоков.

Задание — это название для единичной нагрузки, которая поступает на вычислительные ресурсы. Задание характеризуется, прежде всего, контрольным временем, в течение которого оно должно быть выполнено и которое называется дедлайном.

Во многих случаях необходимо принимать во внимание, что задание имеет внутреннее строение, которое определяет характер его выполнения. С этой целью полагаем, что задание состоит из одной или более задач, которые нужно решить, чтобы его выполнить. Таким образом, задание помимо дедлайна характеризуется количеством и типом задач, а также структурой, т. е. взаимозависимостью задач и последовательностью их выполнения.

В рассматриваемой модели задача — это минимальная единица нагрузки на единственный вычислительный ресурс, которая используется для описания структурно и организационно сложных заданий. Выполнение, или решение, задачи означает, что какая-то часть мощности определенного ресурса будет занята в течение некоторого времени и, следовательно, будет недоступна для других задач. Выполнение задачи сопряжено с затратами (процессорного времени, физической памяти, сетевых ресурсов, денег или иных средств). Эти затраты зависят от размера задачи, который характеризуется:

- объемом данных, необходимым для начала решения задачи на вычислительном ресурсе;
- трудоемкостью, которую можно определить как время решения задачи на стандартном процессоре;
- объемом данных, полученных в результате решения.

В рассматриваемой модели задача как единица нагрузки не может быть разбита на части по времени или по месту выполнения. Иными словами, задача не может решаться по частям, а должна быть выполнена только одновременно и только на единственном ресурсе. (Таким образом, важное для приложений понятие «делимости нагрузки» может быть учтено в модели только на уровне заданий.)

Перечисленные компоненты модели отражают самые общие «физические» черты, которые с необходимостью присутствуют в любой постановке задачи,

связанной с распределением вычислительных ресурсов. Различия, обусловленные техническим составом вычислительного парка и характером поступающих заданий, могут быть учтены в модели путем задания количества перечисленных объектов и настройки их параметров.

Еще одна разновидность компонентов модели — агенты. Такой компонент необходим для отражения более сложных, «виртуальных» особенностей системы, связанных с организацией управления процессом распределения заданий. Эти особенности могут многогранными и разнообразными способами проявляться в постановках задач, поэтому более или менее универсальное описание агента представляет наибольшую сложность. Ограничимся замечанием, что в характеристику агента входят множества потоков и ресурсов, которые им обслуживаются, и что назначение агента заключается в том, чтобы регулировать относящиеся к его ведению потоки заданий, а также контролировать использование принадлежащих ему ресурсов. Фактически термин «агент» служит для обозначения отдельных компонент стратегии распределения заданий по ресурсам. Понятие агента моделирует также, хотя и косвенно, потребителей и владельцев ресурсов. Путем задания количества агентов, их структурной взаимозависимости, алгоритмов функционирования предполагается моделировать различные стратегии централизованного и децентрализованного планирования ресурсов — как статические, так и динамические.

#### 4 Формальное определение имитационной модели

В этом разделе приведены определения, которые могут быть положены в основу любой имитационной модели и которые использованы, в частности, при построении МПР. Исходными являются некоторые конструкции из формализма взаимодействующих процессов Хоара [7].

**Определение  $O_1$ .**  $h$ -процессом называется пара символов  $\Pi = (A, \mathcal{A})$ , где  $A$  — не более чем счетное множество, называемое алфавитом, а  $\mathcal{A}$  — подмножество множества всех конечных и бесконечных последовательностей из  $A$ . Элементы алфавита называются событиями, а элементы множества  $\mathcal{A}$  — протоколами.

Термин  $h$ -процесс предназначен для описания динамики объекта, который в ходе эволюции может принимать участие в событиях из своего алфавита и только в этих событиях. Чередование событий обязано в точности соответствовать какому-нибудь протоколу. В этом отношении  $h$ -процесс, соответствующий некоторому объекту, задает возможности развития этого объекта.

Задание протоколов путем перечисления неконструктивно, поэтому для этой цели используются специальные приемы, а именно: рекурсия, композиция  $h$ -процессов в виде «выбора», параллельное объединение, переименование и др. Определения этих операций приведены в приложении.

Введенное понятие  $h$ -процесса позволяет задавать совокупность цепочек событий, в которых может принимать участие объект. Это понятие, как будет видно

из дальнейшего, упростит описание динамики системы, состоящей из большого числа одинаковым образом устроенных компонент, взаимодействующих между собой. Однако само по себе понятие h-процесса недостаточно для полного описания эволюции объекта, поскольку помимо указания на возможность его участия в тех или иных событиях необходимо определять, что происходит с ним в результате этих событий. Если же говорить об имитации динамики объектов, то для того чтобы использовать вышеприведенное понятие h-процесса, надо указать, как из множества возможных протоколов выбирается один-единственный, которому следует объект в конкретной реализации. С учетом этих соображений вводится следующее определение.

**Определение O<sub>2</sub>.** Имитационной моделью некоторого объекта назовем тройку символов

$$m = (\Pi, \Xi, H) ,$$

где  $\Pi$  — h-процесс;  $\Xi$  — множество параметров модели (объекта);  $H = \{H_a, a \in \alpha\Pi\}$  — совокупность так называемых обработчиков событий.

Обработчик события  $a$  может быть представлен в виде набора из двух компонент  $H_a = \{U_a, V_a\}$ , где  $U_a$  отвечает за изменения параметров в связи с наступлением этого события, а  $V_a$  устанавливает новые события, которые должны произойти после наступления события  $a$ . Рассмотрим обе компоненты подробнее. Компонента  $U_a = \{U_{a,\xi}; \xi \in \Xi\}$  представляет собой совокупность операторов  $U_{a,\xi}$ , действующих из множества значений параметра  $\xi$  в то же множество. Это соответствует представлению о функционировании имитационной модели как о чередовании событий, наступление которых влечет определенные изменения параметров. При наступлении события  $a \in \alpha\Pi$  текущее значение  $x$  каждого параметра  $\xi \in \Xi$  заменяется на (вообще говоря, другое) значение  $x' = U_{a,\xi}(x)$ . Если трактовать совокупность параметров объекта как его «состояние», то можно сказать, что компонента  $U_a$  обработчика событий определяет изменение состояния объекта при наступлении того или иного события. (Следует заметить, что в множестве  $\Xi$  обычно есть и статические параметры, которые не изменяются в процессе функционирования.)

Компонента  $V_a$  позволяет реализовать из множества возможных протоколов единственный протокол, по которому развивается имитационный эксперимент. Обозначим этот протокол через  $\pi = (a_0, a_1, \dots) \in \pi\Pi$ ,  $a_n \in \alpha\Pi$ . Считаем, что имитационная траектория разворачивается в непрерывном времени  $t \geq 0$ . С каждым событием  $a_n$  из протокола  $\pi$  свяжем обозначение  $T(a_n)$ , указывающее момент времени, в который оно должно произойти. Сопоставим каждому  $n$  множество «ближайших» событий  $\mathcal{A}_{n+1} \subset \alpha\Pi$ , которые должны произойти непосредственно вслед за событием  $a_n$ . Каждый элемент  $a$  множества  $\mathcal{A}_{n+1}$  обладает характеристикой  $T(a)$ , причем обязательно  $T(a) > T(a_n)$ . При этом первое за моментом  $T(a_n)$  событие  $a_{n+1}$  определяется как элемент  $a_{n+1} = a \in \mathcal{A}_{n+1}$  с минимальным значением  $T(a)$ . Множество  $\mathcal{A}_{n+1}$  образуется из множества  $\mathcal{A}_n$  следующим образом:  $\mathcal{A}_{n+1} = (\mathcal{A}_n \setminus \{a_n\}) \cup \mathcal{B}_n$ . Состав множества

добавляемых событий  $\mathcal{B}_n$ , а также значения функции  $\top$  для событий из этого множества определяются событием  $a_n$  и оператором  $V_{a_n}$ .

Будем называть в дальнейшем компоненты  $U = \{U_a, a \in \alpha\Pi\}$  и  $V = \{V_a, a \in \alpha\Pi\}$  обработчика событий  $H = (U, V)$  соответственно оператором состояния и оператором реализации.

Прежде чем приступить непосредственно к моделированию системы распределения вычислительных ресурсов, рассмотрим вспомогательный объект — марковски модулируемый процесс (ММП). На этом простом примере можно продемонстрировать, как с помощью описанной техники осуществляется моделирование. В дальнейшем модель ММП будет использована при построении модели входных потоков заданий.

Под ММП понимается случайный процесс с непрерывным временем, который описывает поток случайных моментов времени. Марковски модулируемый процесс представляет собой фактически процесс восстановления с переменной функцией распределения интервалов между моментами восстановления, зависящей от состояния вложенной марковской цепи.

Естественно представлять ММП как суперпозицию двух процессов: процесса восстановления (ПВ) и марковской цепи (МЦ). Оба процесса, если рассматривать их по отдельности, постоянно участвуют в единственном для каждого из них событии. Для ПВ это событие заключается в наступлении очередного момента восстановления. Обозначим его `call` (имея в виду дальнейшую интерпретацию указанных случайных моментов как моментов поступления заданий). В соответствии с определением  $O_4$  из приложения можно записать рекурсивное уравнение

$$\text{REN} = \text{call} \rightarrow \text{REN},$$

которое определяет h-процесс `REN` с единственным протоколом  $\pi = (\text{call}, \text{call}, \dots)$ . Следуя определению  $O_2$ , определим модель ПВ как

$$\text{ren} = (\text{REN}, \{D^{\text{ia}}\}, (\emptyset, V^{\text{ren}})),$$

где  $D^{\text{ia}}$  — функция распределения времени между моментами восстановления (единственный и притом неизменяемый параметр объекта), символ  $\emptyset$  означает, что оператор состояния отсутствует (или, если так удобнее говорить, является тождественным оператором, т. е. не изменяет параметры).

Оператор реализации  $V^{\text{ren}}$  действует следующим образом. Пусть  $a_n$  —  $n$ -е по счету событие из протокола  $\pi$ , а  $\top(a_n)$  — момент его наступления. Множество ближайших событий имеет вид  $\mathcal{A}_{n+1} = \mathcal{B}_n = \{a_{n+1} = \text{call}\}$ , причем  $\top(a_{n+1}) = \top(a_n) + \tau$ , где  $\tau$  — реализация случайной величины с распределением  $D^{\text{ia}}$ .

Единственное событие, в котором участвует МЦ, обозначим `new_state` и определим h-процесс

$$\text{CH} = \text{new\_state} \rightarrow \text{CH}$$

с единственным протоколом  $\pi = (\text{new\_state}, \text{new\_state}, \dots)$ , а затем и модель МЦ,

$$\text{ch} = \left( \text{CH}, \{P, \mathbf{D}^{\text{st}}, s_n\}, (U^{\text{ch}}, V^{\text{ch}}) \right) .$$

В число параметров модели помимо неизменных переходной матрицы  $P$  и набора функций распределения времен пребывания в состояниях  $\mathbf{D}^{\text{st}}$  входит переменный параметр  $s_n$ , обозначающий состояние цепи в момент  $n$ -й смены состояния. Функция оператора состояния  $U^{\text{ch}}$  заключается в том, что при  $n$ -м наступлении события  $\text{new\_state}$  выбирается новое состояние  $s_{n+1}$ . Оно определяется как реализация случайной величины с распределением, заданным строкой матрицы  $P$ , соответствующей состоянию  $s_n$ . Оператор реализации  $V^{\text{ch}}$  — это обозначение для следующих действий. Пусть  $\top(a_n)$  — момент наступления события  $a_n$  из протокола  $\pi$ . Определяется множество ближайших к  $a_n$  событий. Оно имеет вид  $\mathcal{A}_{n+1} = \mathcal{B} = \{a_{n+1} = \text{new\_state}\}$ , причем  $\top(a_{n+1}) = \top(a_n) + \tau$ , где  $\tau$  — реализация случайной величины с распределением, отвечающим состоянию  $s_{n+1}$  в наборе  $\mathbf{D}^{\text{st}}$ .

Объекты  $\text{gen}$  и  $\text{ch}$  являются вполне независимыми моделями и могут использоваться автономно для имитации соответственно ПВ и МЦ. Однако если пытаться объединить их, чтобы получить модель ММП, то надо учесть взаимосвязь между ними, выражающуюся в том, что в момент смены состояния МЦ изменяется функция распределения времени между моментами восстановления. Это можно сделать следующим образом. Определим  $\text{h}$ -процесс

$$\text{MP} = \text{REN} \parallel \text{CH},$$

протоколами которого являются произвольные последовательности, составленные из событий  $\text{call}$  и  $\text{new\_state}$ , и рассмотрим модель

$$\text{mp} = \left( \text{MP}, \{D^{\text{ia}}, P, \mathbf{D}^{\text{st}}, s_n, \mathbf{D}^{\text{ia}}\}, (U^{\text{mp}}, V^{\text{mp}}) \right) .$$

Среди параметров этого объекта помимо  $D^{\text{ia}}$ ,  $P$ ,  $\mathbf{D}^{\text{st}}$  и  $s_n$ , имеющих прежний смысл, присутствует набор  $\mathbf{D}^{\text{ia}}$ , в который входят функции распределения интервалов между последовательными моментами восстановления для различных состояний цепи  $P$ . Оператор состояния  $U^{\text{mp}}$  выполняет функцию аналогичного оператора  $U^{\text{ch}}$  для модели МЦ: при всякой смене состояния цепи определяется ее новое состояние. Однако оператор  $U^{\text{mp}}$  получает также и дополнительную функцию: при каждом событии  $\text{new\_state}$  изменяется значение функции распределения времени между моментами восстановления (между событиями  $\text{call}$ ). Иными словами, если состояние  $s_n$  изменилось на состояние  $s_{n+1}$ , то параметр  $D^{\text{ia}}$  принимает новое значение  $\mathbf{D}_{s_{n+1}}^{\text{ia}}$ , которое выбирается из набора  $\mathbf{D}^{\text{ia}}$  и соответствует новому состоянию цепи. Оператор  $V^{\text{mp}}$  выполняет в точности такие же функции, что и оба оператора  $V^{\text{ren}}$  и  $V^{\text{ch}}$ .

Анализируя построение модели ММП на основе моделей ПВ и МЦ, приходим к следующему определению.

**Определение О<sub>3</sub>.** Пусть  $m_i = (\Pi_i, \Xi_i, H_i)$ ,  $i = 1, 2$ , — две модели в смысле определения О<sub>2</sub>. Параллельным объединением  $m_1$  и  $m_2$  назовем модель

$$m = m_1 \parallel m_2 = (\Pi_1 \parallel \Pi_2, \Xi, H) ,$$

где  $\Xi \supseteq \Xi_1 \cup \Xi_2$ , а обработчик событий  $H$  наследует все функции, выполняемые  $H_1$  и  $H_2$ , и, возможно, имеет дополнительные (новые) функции.

Определение О<sub>3</sub> дает возможность строить модель поэтапно, основываясь на более мелких моделях составных элементов системы. Например, используя О<sub>3</sub>, можно записать  $mp = ren \parallel ch$ .

## 5 Фрагмент модели планирования ресурсов

В этом разделе излагается упрощенная модель распределения вычислительных ресурсов, построенная на основе формальных определений из разд. 4 и приложения. Вначале строятся модели компонентов, упомянутых в разд. 3, а затем осуществляется сборка на их основе общей модели с помощью определения О<sub>3</sub>. Описание моделей следует определению О<sub>2</sub>. При этом h-процессы чередования событий формулируются достаточно полно. Более громоздкие для полного изложения множества параметров и обработчики событий описаны неформально. Среди параметров явно упоминаются только статические характеристики, а обработчики событий описаны кратко и без второстепенных деталей (таких, например, как изменение счетчиков или переменных, задающих текущий статус объекта).

### 5.1 Модель ресурса $r$

Состояние работоспособности ресурса моделируется полумарковским процессом с тремя состояниями: 0 — исправное состояние; 1 — состояние сбоя или временной потери работоспособности; 2 — полный отказ. Из состояния 0 ресурс может самопроизвольно и случайно перейти в состояние 1 или в состояние 2, из состояния 1 — в состояние 0 или в состояние 2. Состояние 2 является поглощающим — попадание в него означает, что ресурс окончательно выходит из строя. Переходы между состояниями работоспособности регулируются матрицей

$$Q = \begin{pmatrix} 0 & p & 1-p \\ 1-q & 0 & q \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} ,$$

где  $0 \leq p, q \leq 1$ . Случайное время пребывания в состоянии  $i$  определяется функциями распределения  $D_i$ ,  $i = 0 \vee 1$ .

Соответствующий h-процесс для модели  $r$  имеет вид:

$$r : \text{RESOURCE} = \\ = (\text{fail} \rightarrow (\text{renewal} \rightarrow \text{RESOURCE}) | \text{breakdown} \rightarrow \square) | (\text{breakdown} \rightarrow \square) .$$

Здесь использованы обозначения для следующих событий:  $r.\text{fail}$  — временное прерывание работоспособности ресурса;  $r.\text{renewal}$  — восстановление работоспособности ресурса;  $r.\text{breakdown}$  — событие, которое означает, что ресурс  $t.r$  окончательно выходит из строя.

Основные параметры модели  $r$  представляют собой набор  $\{C, R, p, q, D_0, D_1\}$ , где  $C > 0$  — емкость ресурса,  $R > 0$  — производительность ресурса.

Обработчик события  $r.\text{fail}$  фиксирует то обстоятельство, что обслуживание всех задач на ресурсе  $r$  прерывается. Формируется новое событие:  $r.\text{renewal}$  или  $r.\text{breakdown}$ , причем то, какое именно из этих двух событий произойдет, определяется с помощью второй строки матрицы  $Q$ . Время до наступления нового события устанавливается с помощью функции распределения  $D_1$ .

Обработчик события  $r.\text{renewal}$  устанавливает ресурс в состояние, доступное для решения задач. Формируется новое событие:  $r.\text{fail}$  или  $r.\text{breakdown}$ , причем выбор производится с помощью первой строки матрицы  $Q$ . Время до наступления нового события устанавливается с помощью функции распределения  $D_0$ .

Обработчик события  $r.\text{breakdown}$  прерывает обслуживание всех задач на ресурсе  $r$ . Ресурс перестает существовать.

## 5.2 Модель задачи $t$

h-процесс для этой модели имеет вид:

$$t : \text{TASK} = \text{begin} \rightarrow (r.\text{fail} \vee r.\text{breakage} \rightarrow \text{TASK}) | (\text{end} \rightarrow \square) .$$

Здесь  $t.\text{begin}$  — событие, означающее начало решения задачи  $t$  или возобновление решения, которое было прервано ранее;  $t.\text{end}$  — окончание решения задачи  $t$ ;  $t.r$  — ресурс, на котором выполняется задача  $t$ . (Смысл пометки  $t$  : раскрывается определением  $O_8$  из приложения.)

Основные статические параметры: объем данных, необходимых для (начала) решения задачи; объем вычислений, связанных с решением задачи; объем данных, полученных в результате решения задачи. Эти параметры составляют так называемый тип задачи и используются при определении времени решения задачи.

**Обработчик события  $t.\text{begin}$ .** Действия оператора состояния связаны с изменением статуса задачи  $t$  в связи с началом решения. Оператор реализации порождает новое событие  $t.\text{end}$ .

**Обработчики событий  $t.r.\text{fail}$  и  $t.r.\text{breakdown}$**  изменяют статус задачи  $t$  в связи с прерыванием решения.

**Обработчик события  $t.\text{end}$**  совершает действия, связанные с завершением процесса TASK и завершением функционирования модели  $t$ .

### 5.3 Модель задания $j$

Эту модель опишем только для случая, когда задание состоит из известного количества однотипных задач, решение которых может осуществляться независимо друг от друга и в любой последовательности. Каждая задача может быть представлена в виде только что описанной модели  $t$ . Пусть  $j.\mathcal{T}$  обозначает множество всех задач, составляющих задание  $j$ . Тогда согласно определению  $O_3$  модель задания представима в виде

$$j = \parallel_{t \in \mathcal{T}} t,$$

h-процесс:

$$j : \text{JOB} = \parallel_{t \in \mathcal{T}} t.\text{TASK}.$$

Основные параметры задания — это его дедлайн, а также количество и параметры задач, входящих в множество  $j.\mathcal{T}$ .

Обработчик событий модели  $j$  состоит из операторов обработки событий, которые имеются в моделях  $t \in j.\mathcal{T}$ . Кроме того, дополнительно при наступлении событий типа  $t.\text{end}$  проверяется, остались ли еще невыполненные задачи. Момент, когда решена последняя задача, является моментом окончания h-процесса  $j.\text{JOB}$  и, соответственно, моментом окончания функционирования модели  $j$ .

### 5.4 Модель потока заданий $f$

Эта модель конструируется из модели  $\text{mp}$  случайного процесса типа ММП (см. разд. 4), и дополнительной модели поступления заданий  $\text{ja}$  с помощью определения  $O_3$ :

$$f = \text{mp} \parallel \text{ja}.$$

Символическая запись модели  $\text{ja}$  выглядит так:

$$\text{ja} = \text{call} \rightarrow \text{ja} \parallel (\blacklozenge \rightarrow j|\otimes \rightarrow \square).$$

Соответствующий h-процесс имеет вид

$$f : \text{JOBS} = \text{call} \rightarrow \text{JOBS} \parallel (\blacklozenge \rightarrow j.\text{JOB}|\otimes \rightarrow \square).$$

Здесь обозначены события:  $f.\text{call}$  — поступление заявки из потока  $f$ ;  $j.\blacklozenge$  — задание  $j$  принято;  $j.\otimes$  — заявка на выполнение задания  $j$  отклонена. Через  $j$  обозначено задание, соответствующее поступившей заявке. Содержательно последнее равенство означает следующее. События типа  $\text{call}$  (они генерируются ММП) связаны с появлением заявки на выполнение задания. Если заявка принята, то возникает процесс типа  $\text{JOB}$ , моделирующий жизненный цикл нового задания. Этот процесс существует параллельно с продолжающимся поступлением новых заявок.



Основным параметром модели  $j$  является тип поступающих заданий  $\mathbb{J}$ , который определяется как набор функций распределения, задающих значение дедлайна, а также количество задач и их параметры.

Обработчик событий генерирует в случае принятия заявки новую модель  $j$ , соответствующую новому заданию. Параметры задания определяются с помощью функций распределения, составляющих тип заданий  $\mathbb{J}$ .

### 5.5 Модель агента $a$

Назначение этой модели — отражать решения, принимаемые в системе относительно поступающих заявок и распределения ресурсов, а также осуществлять изменение связанных с этими процедурами параметров. Моменты принятия решений могут выбираться по-разному. Например, допуск задания в систему может быть разрешен или запрещен в точности в момент поступления заявки. Или, скажем, запуск очередной задачи может совпадать с моментом освобождения ресурса от решения предыдущей задачи и т. п. В данном случае выберем более простую для описания схему, в которой все решения принимаются строго в отведенные моменты, связанные с наступлением событий, обозначаемых  $\text{control}$ . Тогда  $h$ -процесс агента будет иметь тривиальный вид:  $\text{AGENT} = \text{control} \rightarrow \rightarrow \text{AGENT}$ . Но даже и в этом случае и параметры модели, и в особенности обработчики событий могут быть весьма разнообразными и устроенными достаточно сложно.

Параметрами агента  $a$  являются множества  $a.\mathcal{R}$  и  $a.\mathcal{F}$ , которые указывают соответственно на совокупности ресурсов и потоков заданий, входящих в «сферу ответственности» этого агента. Например, если  $a.\mathcal{R} = \{r\}$ ,  $a.\mathcal{F} = \emptyset$ , то агент  $a$  может быть интерпретирован как владелец ресурса  $r$  с возлагаемыми на него функциями эксплуатации этого ресурса, такими как выбор решаемых задач или назначение арендной платы. Наоборот, агент, для которого  $a.\mathcal{R} = \emptyset$ ,  $a.\mathcal{F} \neq \emptyset$ , ассоциируется с пользователем, реализующим стратегию выбора ресурсов для выполнения своих заданий.

Помимо упомянутых множеств параметром, характеризующим агента, является его стратегия  $\sigma$ . Основные функции, которые осуществляет стратегия, — это ограничение доступа и распределение заданий по ресурсам. Каждой поступившей заявке должно быть сопоставлено одно из двух решений: «принять» или «отклонить». Аналогично каждой нерешенной задаче из числа находящихся под контролем агента должно быть указано место и время начала решения. Возможны и другие функциональные назначения стратегии  $\sigma$ . Например, управление моментами наступления событий  $\text{control}$ , регулирование ценовых факторов, управляющие воздействия одних агентов на других и пр. Ясно, что в такой общей трактовке  $\sigma$  является лишь символом для обозначения группы объектов самой различной природы, параметризующих саму стратегию. Такими объектами могут быть, например, информация, учитываемая при принятии решений, целевая функция, структура и параметры уравнений, из которых определяется

оптимальное решение, и многое другое. Добавим еще, что обработка события  $\text{control}$  сводится к применению правил стратегии  $\sigma$ .

### 5.6 Общая модель $m$

Общая модель получается с помощью параллельного объединения моделей отдельных компонент на основе определения  $O_3$ :

$$m = \parallel_{r \in \mathcal{R}} r \parallel_{f \in \mathcal{F}} \parallel_{a \in \mathcal{A}} a .$$

Здесь  $\mathcal{R}$ ,  $\mathcal{F}$  и  $\mathcal{A}$  — соответственно множества ресурсов, потоков и агентов, которые присутствуют в модели и являются параметрами модели. В число параметров модели могут быть включены:

- задержки при передаче информации внутри вычислительной системы;
- матрица соответствия, элементы которой указывают возможность выполнения на отдельных ресурсах отдельных типов задач;
- структура множества агентов  $\mathcal{A}$ , учитывающая возможность подчинения одних агентов другим, а также другие характеристики. Эти параметры используются для дополнительной обработки событий наряду с обработчиками событий, входящими в модели-компоненты.

## 6 Заключение

Статья посвящена имитационному моделированию процессов, связанных с организацией выполнения заданий в вычислительных системах. Предлагается подход к созданию имитационных моделей, включающий развитие некоторых идей из теории взаимодействующих процессов Хоара. Термин «h-процесс» понимается как потенциальная совокупность допустимых последовательностей событий. Для описания h-процессов используются, в частности, конструкции параллельного и последовательного объединения, а также рекурсия. Формальная имитационная модель трактуется как объект, состоящий из h-процесса и оператора обработки событий. При этом обработка события подразумевает связанный с этим событием пересчет параметров системы, а также определение последующих событий. Преимущества выбранного подхода видятся двояко. Во-первых, он дает возможность использовать декомпозицию сложной системы и сравнительно легко переходить от автономного описания моделей подсистем к созданию общей модели. Во-вторых, предлагаемые средства описания обладают и наглядностью, и алгоритмической точностью, что делает их удобными для перевода формальной модели в программный код.

Предложенная методика использована для создания имитационной модели, которая реализует логическую схему размещения и выполнения заданий на вычислительных ресурсах. Центральный фрагмент модели описан в статье.

Несмотря на сравнительную простоту, эта схема является общей для многих задач, связанных с планированием работы вычислительных ресурсов. Примеры таких задач также приведены.

Разрабатываемая модель является существенной частью «имитационно-адаптивной» технологии для решения задач планирования ресурсов. Суть этой технологии — в использовании алгоритмов адаптивной оптимизации, которые осуществляют коррекцию управления потоками заданий в соответствии с поставленной целью и на основании наблюдений за траекторией имитационной модели. Внедрение адаптивных стратегий в имитационную модель и результаты решения задач оптимального размещения заданий составят содержание последующих публикаций.

## Приложение

Везде в приложении термин «процесс» означает  $h$ -процесс.

Будем обозначать алфавит процесса  $\Pi$  как  $\alpha\Pi$ , а множество протоколов — как  $\pi\Pi$ .

**Определение О<sub>4</sub>.** Пусть  $\Pi = (A, \mathcal{A})$  — некоторый процесс и пусть  $a$  — событие, не обязательно содержащееся в алфавите процесса  $\Pi$ . Новый процесс, обозначаемый

$$\Pi_1 = a \rightarrow \Pi$$

(читается « $\Pi$  следует за  $a$ »), определяется как  $\Pi_1 = (A_1, \mathcal{A}_1)$ , где  $A_1 = A \cup \{a\}$ , а  $\mathcal{A}_1$  получается из множества  $\mathcal{A}$  добавлением в начало каждого протокола элемента  $a$ .

Интерпретация процесса  $\Pi_1$  такова: «этот процесс вначале участвует в событии  $a$ , а затем ведет себя в точности как процесс  $\Pi$ ».

Определение О<sub>4</sub> можно обобщить, например, предлагая для процесса  $\Pi_1$  в качестве первого события выбор из некоторого множества. Например, если  $b$  — еще одно событие, то протоколы процесса  $\Pi_2 = a \vee b \rightarrow \Pi$  — это все протоколы из  $\mathcal{A}_1$  плюс все протоколы, которые получаются добавлением элемента  $b$  в начало каждого протокола из множества  $\mathcal{A}$ .

Отметим важное обстоятельство: в правой части уравнения может фигурировать тот же самый процесс, который определяется в левой части, например  $\Pi = a \rightarrow \Pi$ . В этом случае символ  $\Pi$  уже не обозначает заранее заданный процесс, а служит для названия вновь определяемого процесса, который, очевидно, имеет единственный протокол  $(a, a, \dots)$ . Это пример так называемого рекурсивного задания процесса. Принципиально, что рекурсия может использоваться и во всех последующих конструкциях.

**Определение О<sub>5</sub>.** Пусть  $\Pi_1$  и  $\Pi_2$  — некоторые процессы, такие что у любой пары протоколов  $\pi_1 \in \pi\Pi_1$  и  $\pi_2 \in \pi\Pi_2$  начальные элементы различны. Новый процесс, обозначаемый

$$\Pi = \Pi_1 | \Pi_2$$

(читается « $\Pi$  есть выбор между  $\Pi_1$  и  $\Pi_2$ »), определяется как процесс с алфавитом  $\alpha\Pi = \alpha\Pi_1 \cup \alpha\Pi_2$  и множеством протоколов  $\pi\Pi = \pi\Pi_1 \cup \pi\Pi_2$ .

Процесс  $\Pi$  «ведет себя либо как процесс  $\Pi_1$ , либо как процесс  $\Pi_2$ , причем выбор зависит от начального события, которое определяется «окружением» процесса  $\Pi$ , т. е. другими процессами, с которыми он взаимодействует».

**Определение О<sub>6</sub>.** Пусть  $\Pi_1$  и  $\Pi_2$  — некоторые процессы. Новый процесс, обозначаемый

$$\Pi = \Pi_1 \parallel \Pi_2$$

(читается « $\Pi$  есть параллельная композиция  $\Pi_1$  и  $\Pi_2$ »), определяется следующим образом. Его алфавит имеет вид  $\alpha\Pi = \alpha\Pi_1 \cup \alpha\Pi_2$ . Множество протоколов  $\pi\Pi$  состоит из всех упорядоченных наборов событий из множеств  $\alpha\Pi_1$  и  $\alpha\Pi_2$ , которые обладают следующим свойством. После удаления из такого набора всех символов, не принадлежащих алфавиту  $\alpha\Pi_1$  ( $\alpha\Pi_2$ ), получается протокол, принадлежащий множеству  $\pi\Pi_1$  (соответственно  $\pi\Pi_2$ ).

Параллельные процессы «обязаны принимать совместное участие во всех событиях, принадлежащих пересечению их алфавитов». В остальных случаях каждый процесс «ведет себя так, как будто другого не существует».

Полезным приемом, с помощью которого можно задавать новые процессы, является переименование. Пусть  $f$  — взаимно однозначная функция, отображающая алфавит  $A$  процесса во множество символов  $f(A)$ .

**Определение О<sub>7</sub>.** Переименованием процесса  $(A, \mathcal{A})$  с помощью функции  $f$  называется процесс  $(A_f, \mathcal{A}_f)$ , где  $A_f = f(A)$ , а множество  $\mathcal{A}_f$  образовано из протоколов множества  $\mathcal{A}$  путем замены всех событий на их  $f$ -образы.

Заданное последним определением переименование особенно полезно при создании групп сходных процессов, которые функционируют идентичным образом, никак не взаимодействуя друг с другом. Это означает, что все они должны иметь различные и взаимно не пересекающиеся алфавиты. С этой целью каждый процесс снабжается меткой, которая добавляется к общему для всех процессов имени. Процесс с именем  $\Pi$  и с меткой  $l$  обозначается  $l : \Pi$ . Каждое событие помеченного процесса имеет ту же метку и выглядит как  $l.a$ , где  $a$  — название события, а  $l$  — метка.

**Определение О<sub>8</sub>.** Пусть  $\Pi$  — процесс, а  $l$  — метка. Помеченный процесс  $l : \Pi$  задается функцией  $f_l(a) = l.a$  для всех  $a$  из алфавита процесса  $\Pi$  и пометкой  $l : \Pi = f_l(\Pi)$ .

Приведенные определения можно обобщать, расширяя выразительные свойства данного языка. Например, если  $L$  — множество меток, то процесс  $L : \Pi$  «ведет себя как процесс  $l : \Pi$  каждый раз, когда окружение процесса выбрало метку  $l$ ». Другой пример — это процесс  $\parallel_{l \in L} l.\Pi$ , который представляет собой параллельную композицию процессов из совокупности  $\{l.\Pi; l \in L\}$ .

**Определение О<sub>9</sub>.** Символом  $\square$  будем обозначать процесс, который готов принять участие в любом событии, однако непосредственно вслед за этим заканчивается.

Введение процесса  $\square$  позволяет рассматривать процессы с протоколами конечной длины.

Сформулированные в определениях О<sub>2</sub>, О<sub>4</sub>–О<sub>9</sub> операции над процессами можно применять многократно, получая уравнения, у которых в левой части стоит вновь определяемый процесс, а в правой — суперпозиция других процессов.

## Литература

1. Hussain H., Malik S. U. R., Hameed A., et al. A survey on resource allocation in high performance distributed computing systems // Parallel Comput., 2013. Vol. 39. Iss. 11. P. 709–736.

2. Коновалов М. Г. Методы адаптивной обработки информации и их приложения. — М.: ИПИ РАН, 2007. 212 с.
3. Коновалов М. Г., Малащенко Ю. Е., Назарова И. А. Управление заданиями в гетерогенных вычислительных системах // Известия РАН. Теория и системы управления, 2011. № 2. С. 43–61.
4. Коновалов М. Г. Оптимизация работы вычислительного комплекса с помощью имитационной модели и адаптивных алгоритмов // Информатика и её применения, 2012. Т. 6. Вып. 1. С. 36–47.
5. Коновалов М. Г. Об одной задаче оптимального управления нагрузкой сервера // Информатика и её применения, 2013. Т. 7. Вып. 4. С. 68–77.
6. Kolodziej J., Khan S. U. Data scheduling in data grids and data centers: A short taxonomy of problems and intelligent resolution techniques // Transactions on computational collective intelligence X / Eds. N. T. Nguyen, J. Kolodziej, T. Burczynski, M. Biba. Lecture notes in computer science ser. Springer, 2013. Vol. 7776. P. 103–119.
7. Хоар Ч. Взаимодействующие последовательные процессы / Пер. с англ. — М.: Мир, 1989. 264 с. (Hoare C. A. R. *Communicating sequential processes*. Prentice Hall international ser. in computing science. Prentice-Hall, 1985. 256 p.)

Поступила в редакцию 18.09.14

---

---

## BUILDING A SIMULATION MODEL FOR SOLVING SCHEDULING PROBLEMS OF COMPUTING RESOURCES

*M. G. Konovalov*

Institute of Informatics Problems, Russian Academy of Sciences, 44-2 Vavilov Str., Moscow 119333, Russian Federation

**Abstract:** Scheduling of computing resources is a set of management actions on reception and distribution of applications coming into the computer processing system. Emerging challenges lie in optimization problems that are of a great variety of productions and often difficult decisions. In many cases, significant support is provided by a simulation model that implements a specific layout jobs on resources and created, as a rule, again for specific application. The article proposes an approach to building such simulation models, based on development of some ideas of the theory of communicating processes. The paper provides a fragment of a simulation model that covers many common features of scheduling of computing resources. The model is designed to create a software system that solves a variety of scheduling problems arising in computing systems.

**Keywords:** scheduling; simulation model; communicating processes

**DOI:** 10.14357/08696527140403

## Acknowledgments

The research was partially supported by the Russian Foundation for Basic Research (grant No. 13-07-00665).

## References

1. Hussain, H., S. U. R. Malik, A. Hameed, *et al.* 2013. A survey on resource allocation in high performance distributed computing systems. *Parallel Comput.* 39(11):709–736.
2. Konovalov, M. G. 2007. *Metody adaptivnoy obrabotki informatsii i ikh prilozheniya* [Methods for adaptive information processing and their applications]. Moscow: IPI RAN. 212 p.
3. Konovalov, M. G., Yu. E. Malashenko, and I. A. Nazarova. 2011. Job control in heterogeneous computing systems. *J. Comput. Syst. Sc. Int.* 50(2):220–237.
4. Konovalov, M. G. 2012. Optimizatsiya raboty vychislitel'nogo kompleksa s pomoshch'yu imitatsionnoy modeli i adaptivnykh algoritmov [Computer system optimization using simulation and adaptive algorithms] *Informatika i ee Primeneniya — Inform. Appl.* 6(1):37–48.
5. Konovalov, M. G. 2013. Ob odnoy zadache optimal'nogo upravleniya nagruzkoy servera [About one task of overload control] *Informatika i ee Primeneniya — Inform. Appl.* 7(4):68–77.
6. Kolodziej, J., and S. U. Khan. 2013. Data scheduling in data grids and data centers: A short taxonomy of problems and intelligent resolution techniques. *Transaction on computational collective intelligence X*. Eds. N. T. Nguyen, J. Kolodziej, T. Burczynski, and M. Biba. Lecture notes in computer science ser. Springer. 7776:103–119.
7. Hoare, C. A. R. 1985. *Communicating sequential processes*. Prentice Hall international ser. in computing science. Prentice-Hall. 256 p.

*Received September 18, 2014*

## Contributor

**Konovalov Mikhail G.** (b. 1950) — Doctor of Science in technology, Head of Laboratory, Institute of Informatics Problems, Russian Academy of Sciences, 44-2 Vavilov Str., Moscow 119333, Russian Federation; mkonovalov@ipiran.ru

## О РАБОТАХ В ОБЛАСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ ПОТОКОВ В СОВРЕМЕННЫХ ВЫСОКОЧАСТОТНЫХ ФИНАНСОВЫХ ПРИЛОЖЕНИЯХ\*

*В. Ю. Королев<sup>1</sup>, А. Ю. Корчагин<sup>2</sup>, И. А. Соколов<sup>3</sup>, А. В. Черток<sup>4</sup>*

**Аннотация:** Обсуждаются некоторые результаты исследований в области моделирования информационных потоков в современных высокочастотных финансовых системах и приложениях. В частности, обсуждается микромасштабная модель, предложенная авторами. В рамках этой модели потоки заявок описываются дважды стохастическими пуассоновскими процессами (также называемыми процессами Кокса), которые учитывают случайный характер интенсивностей потоков. С целью изучения эволюции книги заявок (текущего списка всех актуальных заявок на покупку и продажу) предложены модели для процессов *дисбаланса количества заявок* (*NOI — Number of Orders Imbalance*) и *дисбаланса потоков заявок* (*OFI — Order Flows Imbalance*), имеющие вид *двусторонних процессов риска* — специальных обобщенных (compound) дважды стохастических пуассоновских процессов. Эти процессы являются чувствительными индикаторами текущего состояния книги заявок и позволяют интерполировать динамику рынка между изменениями цены, например с целью отслеживания токсичности потоков заявок. Приведен обзор основных результатов, полученных с помощью указанных моделей.

**Ключевые слова:** финансовые рынки; высокочастотные финансовые системы; книга заявок; дисбаланс количества заявок; дисбаланс потоков заявок; дважды стохастические пуассоновские процессы; обобщенные процессы Кокса; дисперсионно-сдвиговая смесь; двусторонние процессы риска; разделение смесей; EM-алгоритм; обобщенное дисперсионное гамма-распределение; обобщенное гамма-распределение; обобщенное гиперболическое распределение; обобщенное обратное гауссовское распределение

**DOI:** 10.14357/08696527140404

---

\* Работа частично поддержана Российским фондом фундаментальных исследований (проекты 12-07-00115а, 14-07-00041а).

<sup>1</sup> Факультет вычислительной математики и кибернетики МГУ им. М. В. Ломоносова; Институт проблем информатики Российской академии наук; vkorolev@cs.msu.su

<sup>2</sup> Факультет вычислительной математики и кибернетики МГУ им. М. В. Ломоносова; sasha.korchagin@gmail.com

<sup>3</sup> Институт проблем информатики Российской академии наук; Факультет вычислительной математики и кибернетики МГУ им. М. В. Ломоносова; ISokolov@ipiran.ru

<sup>4</sup> Факультет вычислительной математики и кибернетики МГУ им. М. В. Ломоносова; Euphoria Group LLC; a.v.chertok@gmail.com



## 1 Введение

Высокочастотная торговля с помощью электронных систем составляет существенную долю на рынках акций и других ценных бумаг. Компании, занимающиеся автоматизированным высокочастотным трейдингом, формируют до 70%–80% дневного оборота на ведущих мировых площадках. Высокочастотное (т. е. рассматриваемое на очень малых масштабах времени) поведение так называемой *книги заявок* (limit order book) — текущего списка всех актуальных заявок на торговлю (в русском специальном финансовом жаргоне называемого *стаканом*) — в настоящее время является популярным объектом стохастического моделирования (см., например, [1–5]). В работе [6] для описания динамики книги заявок предложена марковская модель с непрерывным временем, согласно которой книга заявок рассматривается как специальная система обслуживания, в которой потоки входящих заявок единичного объема разных типов являются независимыми пуассоновскими процессами. Подобные системы могут быть описаны в терминах процессов рождения и гибели, в которых состояния соответствуют численности заявок разных типов на заданных ценовых уровнях, а переходы совершаются при рождении (появлении новой заявки) или гибели (исчезновении заявки либо вследствие ее отмены, либо вследствие совершения сделки). Процессы рождения и гибели — это хорошо изученные математические модели, которые можно трактовать как специальные *двусторонние процессы риска* — стохастические модели, известные в страховой математике как *процессы риска со случайными премиями*.

Математическая модель книги заявок типа системы массового обслуживания, предложенная в работе [6], обусловлена довольно строгими и формальными изначальными предположениями. С одной стороны, эти условия необходимы для того, чтобы предложенную в [6] модель можно было использовать для вычисления параметров, характеризующих динамику книги заявок. Однако, с другой стороны, эти условия оказываются слишком ограничительными и весьма далекими от реальности. Поэтому крайне необходимо иметь некоторую сравнительно легко вычисляемую интегральную характеристику текущего состояния книги заявок, которую можно изучать вне рамок моделей типа систем обслуживания.

Такая характеристика — *процесс дисбаланса потоков заявок* (OFI) — была предложена в 2011 г. в работе [7], финальная версия которой [8] опубликована в 2014 г. Точно такой же процесс был независимо предложен и изучен в работах [9–11] под названием *процесс обобщенной цены* (generalized price process). Процесс OFI, так же как и *процесс дисбаланса числа заявок* (NOI), введенный в работе [11], оказывается существенно более чувствительным к информации, поступающей на рынок, чем сам процесс цены, поскольку промежутки времени между событиями в книге заявок (поступление или отмена заявок, заключение сделок и т. п.) обычно настолько малы, что по отношению к ним изменения цены представляют собой редкие события. Поэтому эволюция цены дает весьма грубое и приблизительное представление о динамике рынка на временных микромасштабах. Процессы дисбаланса числа заявок и дисбаланса потока заявок отслеживают



состояние очередей заявок на наилучшие цены покупки и продажи и изменяются намного быстрее, нежели цены. Эти процессы могут быть использованы для интерполяции динамики рынка между изменениями цены, например с целью отслеживания токсичности потоков заявок.

В данной статье будет дано краткое описание используемых математических моделей и результатов, связанных с поведением процессов дисбаланса потоков заявок и числа заявок, которые удастся получить с помощью указанных моделей.

## 2 Описание базовой модели

На электронных рынках биржевая цена финансового инструмента в ее классическом понимании является результирующей, интегральной характеристикой системы торгов, которая описывается динамикой книги заявок, представляющей собой информацию о всех актуальных на данный момент предложениях о покупке и продаже инструмента по различным ценам. Динамика книги заявок определяется тремя типами заявок, которые участники рынка могут отправить на рынок:

- (1) *лимитная* заявка обозначает желание купить (продать) заданное количество акций по цене не выше (не ниже) заданной, при этом такая заявка немедленно добавляется в книгу заявок;
- (2) *рыночная* заявка обозначает желание купить или продать заданное количество акций по лучшей цене, представленной в книге заявок, после чего немедленно происходит сделка;
- (3) заявка *на отмену* обозначает намерение отменить существующую лимитную заявку, после чего она удаляется из книги заявок.

При фиксированном внешнем информационном поле, т. е. при отсутствии тех или иных новостей, оказывающих влияние на финансовый рынок, наилучшими и естественными моделями потоков заявок являются пуассоновские процессы.

Как известно (см., например, [12]), пуассоновские процессы представляют собой наилучшие модели *однородных во времени* стохастических хаотических потоков событий. Пуассоновский процесс характеризуется тем обстоятельством, что интервалы времени между событиями потока стохастически независимы и имеют одинаковое показательное распределение. Привлекательность пуассоновского процесса в качестве модели однородного дискретного хаоса обусловлена как минимум двумя причинами. Во-первых, показательное распределение обладает максимальной дифференциальной энтропией среди всех абсолютно непрерывных распределений вероятностей, сосредоточенных на всей положительной полуоси и имеющих конечное математическое ожидание, а энтропия, как известно, является очень удобной численной характеристикой неопределенности. Во-вторых, точки (события) пуассоновского потока равномерно распределены на оси времени в том смысле, что для любого конечного интервала времени  $[t_1, t_2]$  условное

совместное распределение точек пуассоновского потока, попавших в интервал  $[t_1, t_2]$ , при условии, что в этот интервал попало фиксированное число, скажем,  $n$  точек, совпадает с совместным распределением вариационного ряда, построенного по независимой однородной выборке объема  $n$  из равномерного на  $[t_1, t_2]$  распределения. Равномерное же распределение обладает максимальной дифференциальной энтропией среди всех абсолютно непрерывных распределений вероятностей, сосредоточенных на конечных интервалах, и очень хорошо соответствует общепринятому представлению об абсолютно непредсказуемой ограниченной случайной величине.

Таким образом, при условии постоянства информационного фона потоки заявок моделируются с использованием независимых пуассоновских процессов:

1. лимитные заявки на покупку (продажу) приходят на ценовой уровень, расположенный на расстоянии  $i$  от лучшей котировки противоположного типа, в независимые моменты времени, имеющие экспоненциальное распределение с параметром  $\lambda_i^+$  ( $\lambda_i^-$ );
2. рыночные заявки на покупку (продажу) приходят в независимые моменты времени, имеющие экспоненциальное распределение с параметром  $\mu^+$  ( $\mu^-$ );
3. заявки на отмену лимитного ордера на покупку (продажу), находящегося на дистанции  $i$  от лучшей котировки того же типа, приходят с частотой  $\theta_i^+$  ( $\theta_i^-$ ).

### 3 Процесс дисбаланса числа заявок

Рассмотрим два пуассоновских процесса  $N^+(t)$  и  $N^-(t)$  с интенсивностями соответственно

$$\lambda^+ = \mu^+ + \sum_i \lambda_i^+ + \sum_i \theta_i^-; \quad \lambda^- = \mu^- + \sum_i \lambda_i^- + \sum_i \theta_i^+$$

По своей сути процессы  $N^+(t)$  и  $N^-(t)$  описывают число заявок от покупателей и продавцов соответственно, пришедших к моменту времени  $t$ .

В статье [11] введен процесс

$$\text{NOI}(t) = N^+(t) - N^-(t),$$

названный (условным) *процессом дисбаланса числа заявок*. Это определение также допускает альтернативную формулировку, которая полезна для дальнейшего обобщения на заявки произвольных объемов, рассматриваемого ниже, а именно: под (условным) *процессом дисбаланса числа заявок*  $\text{NOI}(t)$  также можно подразумевать процесс, приращение которого на интервале  $[0, t]$  имеет вид

$$\text{NOI}(t) - \text{NOI}(0) = \sum_{j=1}^{N(t)} X_j, \quad (1)$$

где  $N(t)$  — пуассоновский процесс с параметром  $\lambda = \lambda^+ + \lambda^-$ ,  $X_1, X_2, \dots$  — независимые одинаково распределенные случайные величины такие, что

$$X_j = \begin{cases} +1 & \text{с вероятностью } \frac{\lambda^+}{\lambda^+ + \lambda^-}; \\ -1 & \text{с вероятностью } \frac{\lambda^-}{\lambda^+ + \lambda^-}, \end{cases} \quad j = 1, 2, \dots$$

Более того, случайные величины  $X_1, X_2, \dots$  стохастически независимы от процесса  $N(t)$ , в чем можно убедиться, выписав характеристическую функцию случайной величины  $\text{NOI}(t) - \text{NOI}(0)$ .

#### 4 Однородный процесс дисбаланса потока заявок

(Условный) процесс дисбаланса числа заявок является частным случаем процесса дисбаланса потока заявок, определяемый следующим образом.

Будем считать, что объемы заявок от покупателей  $X_i^+$ ,  $i \geq 1$ , и продавцов  $X_j^-$ ,  $j \geq 1$ , соответственно представляют собой независимые неотрицательные случайные величины  $X_i^+$  и  $X_j^-$  с функциями распределения  $F^+(x)$  и  $F^-(x)$ , одинаковыми для всех  $i$  и  $j$ , причем эти случайные величины независимы от процессов  $N^+(t)$  и  $N^-(t)$ .

В работах [10, 11] в качестве математической модели эволюции процесса дисбаланса потока заявок было предложено использовать двусторонний процесс риска — специальный обобщенный (compound) пуассоновский процесс. Следуя этому подходу, зафиксируем малый интервал времени  $[0, T]$ , в течение которого параметры распределений, описывающих объемы заявок, и интенсивности потоков заявок одного типа остаются постоянными и известными.

Следуя работе [10], рассмотрим следующую модель условного однородного процесса дисбаланса потоков заявок. В дополнение к последовательностям  $X_1^+, X_2^+, \dots$  и  $X_1^-, X_2^-, \dots$  пусть  $N_1^-(t)$  и  $N_1^+(t)$  — два стандартных пуассоновских процесса (однородных пуассоновских процесса с единичной интенсивностью). Предположим, что при каждом  $t$  случайные величины  $X_1^+, X_2^+, \dots$ ,  $X_1^-, X_2^-, \dots$ ,  $N_1^-(t)$  и  $N_1^+(t)$  независимы. Несложно видеть, что  $N^+(t) \stackrel{d}{=} N_1^+(\lambda^+t)$ ,  $N^-(t) \stackrel{d}{=} N_1^-(\lambda^-t)$ .

Положим

$$\tilde{Q}^+(t) = \sum_{j=1}^{N_1^+(\lambda^+t)} X_j^+; \quad \tilde{Q}^-(t) = \sum_{j=1}^{N_1^-(\lambda^-t)} X_j^-$$

и определим условный однородный процесс дисбаланса потока заявок  $\text{OFI}^{(\text{CH})}(t)$  как

$$\text{OFI}^{(\text{CH})}(t) = \tilde{Q}^+(t) - \tilde{Q}^-(t). \quad (2)$$

Этот процесс представляет собой интегральную характеристику мгновенного состояния книги заявок при идеализированном условии неизменности информационного фона, т. е. при отсутствии новостей, вследствие чего интенсивности потоков заявок не изменяются.

С формальной точки зрения процесс  $\text{OFI}^{(\text{CH})}(t)$ , введенный выше, является не чем иным как хорошо известным в страховой математике *процессом риска со случайными премиями*, положительная часть которого описывает процесс накопленных страховых премий, а отрицательная часть описывает процесс накопленных страховых выплат (см., к примеру, [13]). Однако, как особо отмечено в книге [13], в страховании подобные модели едва ли можно считать адекватными, поскольку две компоненты процесса  $\text{OFI}^{(\text{CH})}(t)$  независимы, тогда как в реальной страховой практике считающий процесс  $N_1^-(\lambda^-t)$  является прореженным процессом  $N_1^+(\lambda^+t)$  и потому компоненты процесса  $\text{OFI}^{(\text{CH})}(t)$  нельзя считать независимыми без существенной потери смысла. Тем не менее, как также отмечено в [13], модели (1) и (2) могут быть успешно использованы для описания процессов спекулятивной финансовой деятельности. В финансовых приложениях процессы вида (1) и (2) описывают баланс сил покупателей и продавцов и, как следствие, соответствующие риски. Поэтому далее процессы вида (1) и (2) будут называться *двусторонними процессами риска*. В работе [14] доказано следующее утверждение.

**Лемма 1.** *В указанных выше предположениях  $\text{OFI}^{(\text{CH})}(t)$  является обобщенным пуассоновским процессом, а именно: если  $N_1(t)$  — стандартный пуассоновский процесс, то для любого  $t \geq 0$*

$$\text{OFI}^{(\text{CH})}(t) \stackrel{d}{=} \sum_{j=1}^{N_1((\lambda^+ + \lambda^-)t)} X_j,$$

где  $X_1, X_2, \dots$  — одинаково распределенные случайные величины с общей характеристической функцией

$$f(s) \equiv \mathbb{E}e^{isX_1} = \frac{\lambda^+ f^+(s)}{\lambda^+ + \lambda^-} + \frac{\lambda^- f^-(-s)}{\lambda^+ + \lambda^-}, \quad s \in \mathbb{R},$$

где  $f^+(s)$  и  $f^-(s)$  — характеристические функции случайных величин  $X_1^+$  и  $X_1^-$  соответственно. При этом для любого  $t \geq 0$  случайные величины  $N_1((\lambda^+ + \lambda^-)t)$ ,  $X_1, X_2, \dots$  независимы.

Несложно видеть, что случайная величина  $X_1$  представляет собой рандомизацию:

$$X_1 = \begin{cases} X_1^+ & \text{с вероятностью } \frac{\lambda^+}{\lambda^+ + \lambda^-}; \\ -X_1^- & \text{с вероятностью } \frac{\lambda^-}{\lambda^+ + \lambda^-}, \end{cases}$$

так что

$$\begin{aligned} \mathbf{E}X_1 &= \frac{\lambda^+ \mathbf{E}X_1^+}{\lambda^+ + \lambda^-} - \frac{\lambda^- \mathbf{E}X_1^-}{\lambda^+ + \lambda^-}; \\ \mathbf{D}X_1 &= \left( \frac{\lambda^+}{\lambda^+ + \lambda^-} \right)^2 \mathbf{D}X_1^+ + \left( \frac{\lambda^-}{\lambda^+ + \lambda^-} \right)^2 \mathbf{D}X_1^- - \frac{\lambda^+ \lambda^-}{(\lambda^+ + \lambda^-)^2} \mathbf{E}(X_1^+ - X_1^-)^2. \end{aligned}$$

Без ограничения общности предположим, что  $\text{OFI}^{(\text{CH})}(0) = 0$ . Для удобства предположим, что  $t = 1$ , и рассмотрим поведение величины  $\text{OFI}^{(\text{CH})}(1)$ , т. е. приращения условного однородного процесса дисбаланса потоков заявок на единичном интервале.

Как показано в [10], если  $\lambda = \lambda^+ + \lambda^-$  очень велико, т. е. в единицу времени происходит очень много информативных событий, то по центральной предельной теореме для пуассоновских случайных сумм справедливо приближенное соотношение:

$$\mathbf{P} \left( \text{OFI}^{(\text{CH})}(1) < x \right) \approx \Phi \left( \frac{x - \lambda^+ \mathbf{E}X_1^+ + \lambda^- \mathbf{E}X_1^-}{\sqrt{\lambda^+ \mathbf{E}(X_1^+)^2 + \lambda^- \mathbf{E}(X_1^-)^2}} \right), \quad x \in \mathbb{R}, \quad (3)$$

где  $\Phi(x)$  — стандартная нормальная функция распределения. При этом, используя результаты работы [15], можно выписать довольно аккуратные оценки точности приближения (3):

$$\begin{aligned} \sup_{x \in \mathbb{R}} \left| \mathbf{P} \left( \text{OFI}^{(\text{CH})}(1) < x \right) - \Phi \left( \frac{x - \lambda^+ \mathbf{E}X_1^+ + \lambda^- \mathbf{E}X_1^-}{\sqrt{\lambda^+ \mathbf{E}(X_1^+)^2 + \lambda^- \mathbf{E}(X_1^-)^2}} \right) \right| &\leq \\ &\leq 0,3031 \frac{\lambda^+ \mathbf{E}(X_1^+)^3 + \lambda^- \mathbf{E}(X_1^-)^3}{(\lambda^+ \mathbf{E}(X_1^+)^2 + \lambda^- \mathbf{E}(X_1^-)^2)^{3/2}}. \end{aligned}$$

В частности, когда  $X_j^+ = X_j^- = 1$ ,  $j \geq 1$ , получается неравенство:

$$\sup_{x \in \mathbb{R}} \left| \mathbf{P}(\text{NOI}(1) < x) - \Phi \left( \frac{x - \lambda^+ + \lambda^-}{\sqrt{\lambda^+ + \lambda^-}} \right) \right| \leq \frac{0,3031}{\sqrt{\lambda^+ + \lambda^-}}.$$

В работах [6, 16] в рамках модели независимых пуассоновских потоков заявок получены интересные результаты по динамике книги заявок в указанных идеальных предположениях о постоянстве внешнего информационного фона. Однако на практике эти предположения не выполняются, так что указанные результаты представляют собой чисто «академический» интерес.

## 5 Неоднородный процесс дисбаланса потока заявок

С целью адаптации построенной выше идеальной модели к реальным условиям рассмотрим ее обобщение на случай непостоянных параметров  $\lambda^+$  и  $\lambda^-$ , описывающих соответственно реакцию покупателей и продавцов на те или иные новости.

На практике интенсивности потоков заявок существенно непостоянны вследствие заметной неоднородности потока внешних новостей, определяющих тактику и стратегию трейдеров. В этом случае интенсивности потоков заявок разных типов, во-первых, могут быть зависимыми между собой и, во-вторых, могут зависеть от процесса, определяющего новостной фон. Чтобы формализовать эти представления, следуя работам [11, 14], предположим, что интенсивности процессов, введенных выше, изменяются во времени:

$$\mu^+ = \mu^+(t); \quad \lambda_i^+ = \lambda_i^+(t); \quad \theta_i^+ = \theta_i^+(t);$$

$$\mu^- = \mu^-(t); \quad \lambda_i^- = \lambda_i^-(t); \quad \theta_i^- = \theta_i^-(t),$$

$i = 1, \dots, M$ . Для  $t \geq 0$  введем положительные функции

$$\lambda^+(t) = \mu^+(t) + \sum_{i=1}^M \lambda_i^+(t) + \sum_{i=1}^M \theta_i^+(t);$$

$$\lambda^-(t) = \mu^-(t) + \sum_{i=1}^M \lambda_i^-(t) + \sum_{i=1}^M \theta_i^-(t)$$

и положим

$$\Lambda^+(t) = \int_0^t \lambda^+(\tau) d\tau; \quad \Lambda^-(t) = \int_0^t \lambda^-(\tau) d\tau, \quad t \geq 0.$$

Пусть, как и ранее,  $N_1^+(t)$  и  $N_1^-(t)$  — два пуассоновских процесса с единичной интенсивностью каждый. Положим

$$N^+(t) = N_1^+(\Lambda^+(t)); \quad N^-(t) = N_1^-(\Lambda^-(t)).$$

Процессы  $N_1^+(t)$  и  $N_1^-(t)$  — это неоднородные пуассоновские процессы с мгновенными интенсивностями  $\lambda^+(t)$  и  $\lambda^-(t)$  соответственно. Процесс

$$\text{OFI}^{(\text{CN})}(t) = \sum_{j=1}^{N^+(t)} X_j^+ - \sum_{j=1}^{N^-(t)} X_j^-$$

называется *условным неоднородным процессом дисбаланса потоков заявок* [14]. Этот процесс является мгновенной интегральной характеристикой состояния книги заявок при условии, что интенсивности потоков заявок изменяются во времени неслучайным образом под влиянием внешних новостей.

## 6 Предположение мультипликативной зависимости интенсивностей от ажиотажа. Общий процесс дисбаланса потоков заявок

Анализ реальных данных [10, 11, 14] дает убедительные основания считать, что на самом деле оба процесса  $\Lambda^+(t)$  и  $\Lambda^-(t)$  зависят от *одного и того же* процесса  $\Lambda^*(t)$ , соответствующего общей возбужденности рынка (ажитожа) как его реакции на внешнюю информацию. Таким образом, в дальнейшем будем предполагать, что

$$\Lambda^+(t) = \alpha^+(t)\Lambda^*(t); \quad \Lambda^-(t) = \alpha^-(t)\Lambda^*(t),$$

где  $\alpha^+(t)$  и  $\alpha^-(t)$  — некоторые неслучайные функции.

Более того, как указано в работе [10], вышеуказанные мультипликативные представления накопленных интенсивностей  $\Lambda^+(t)$  и  $\Lambda^-(t)$  с помощью специальных предельных теорем (аналогов центральной предельной теоремы) непосредственно приводят к тому, что асимптотические аппроксимации (в условиях «высокой загрузки») для статистических закономерностей поведения процесса OFI *неизбежно должны* иметь вид *дисперсионно-сдвиговых смесей нормальных законов*. Таким образом, исключительно высокая адекватность подобных распределений, в частности обобщенных гиперболических законов, в качестве моделей статистических закономерностей поведения характеристик финансовых рынков, отмеченная, например, в канонических работах [17–24], может служить теоретическим свидетельством в пользу мультипликативных представлений для интенсивностей потоков информативных событий на финансовых рынках.

Для простоты далее будем считать, что  $\alpha^+(t)$  и  $\alpha^-(t)$  постоянны, так что

$$\alpha^+(t) \equiv \alpha^+ > 0; \quad \alpha^-(t) \equiv \alpha^- > 0.$$

В соответствии с [10] процесс  $\Lambda^*(t)$  можно считать «усиливающим» фактором интенсивностей потоков событий в книге заявок, обусловленным плохо поддающимся прогнозированию потоком новостей, поэтому в отношении функции  $\Lambda^*(t)$  сделаем более общее предположение, а именно: в дальнейшем будем считать, что  $\Lambda^*(t)$  — случайная мера, т. е. случайный процесс, заданный при  $t \geq 0$  и обладающий следующими свойствами:  $\Lambda^*(0) = 0$ ,  $P(\Lambda^*(t) < \infty) = 1$  для любого  $t > 0$ , траектории  $\Lambda^*(t)$  не убывают и непрерывны справа. Более того, предположим, что процесс  $\Lambda^*(t)$  независим от стандартных пуассоновских процессов  $N^+(t)$  и  $N^-(t)$ . Процесс

$$\text{OFI}(t) = \sum_{j=1}^{N^+(\alpha^+\Lambda^*(t))} X_j^+ - \sum_{j=1}^{N^-(\alpha^-\Lambda^*(t))} X_j^-$$

называется (общим) процессом дисбаланса потоков заявок.

При указанных условиях в соответствии с леммой 1 имеем

$$\begin{aligned} \mathbb{P}(\text{OFI}(t) < x) &= \\ &= \int_0^\infty \mathbb{P}\left(\sum_{j=1}^{N^+(\alpha^+\lambda)} X_j^+ - \sum_{j=1}^{N^-(\alpha^-\lambda)} X_j^- < x\right) d\mathbb{P}(\Lambda^*(t) < \lambda) = \\ &= \int_0^\infty \mathbb{P}\left(\sum_{j=1}^{N_1((\alpha^++\alpha^-)\lambda)} X_j < x\right) d\mathbb{P}(\Lambda^*(t) < \lambda) = \\ &= \mathbb{P}\left(\sum_{j=1}^{N_1((\alpha^++\alpha^-)\Lambda^*(t))} X_j < x\right), \quad (4) \end{aligned}$$

где  $X_1, X_2, \dots$  — одинаково распределенные случайные величины с общей характеристической функцией

$$f(s) \equiv \mathbb{E}e^{isX_1} = \frac{\alpha^+ f^+(s)}{\alpha^+ + \alpha^-} + \frac{\alpha^- f^-(-s)}{\alpha^+ + \alpha^-}, \quad s \in \mathbb{R}, \quad (5)$$

а  $N_1(t)$  — стандартный пуассоновский процесс. Более того, в представлении (4) все случайные величины и процессы независимы.

Обозначим  $\Lambda(t) = (\alpha^+ + \alpha^-)\Lambda^*(t)$ . Очевидно, что процесс  $\Lambda(t)$  является случайной мерой, независимой от случайного процесса  $N_1(t)$ . Положим  $N(t) = N_1(\Lambda(t))$ . Процесс  $N(t)$  является дважды стохастическим пуассоновским процессом (процессом Кокса). Основываясь на соотношении (4), в дальнейшем под процессом дисбаланса потоков заявок будем подразумевать обобщенный процесс Кокса вида:

$$\text{OFI}(t) = \sum_{j=1}^{N_1(\Lambda(t))} X_j,$$

где случайные величины  $X_1, X_2, \dots$  имеют общую характеристическую функцию (5), причем все случайные величины и процессы независимы. Так определенный процесс  $\text{OFI}(t)$  является специальным двусторонним процессом риска, в котором положительная и отрицательная компоненты не являются независимыми, так как они связаны зависимостью от одного и того же процесса, описывающего накопленную интенсивность потоков «позитивных» и «негативных» событий в книге заявок.



Как уже отмечалось, этот процесс является намного более чувствительным индикатором (показателем) текущего состояния книги заявок, поскольку его конструкция учитывает не только текущие значения наилучших цен покупки и продажи, но и влияние событий «в глубине» книги заявок и потому меняется существенно быстрее и позволяет интерполировать динамику рынка между изменениями цены.

## 7 Асимптотическое поведение процесса дисбаланса потоков заявок

Описанные выше предположения позволяют использовать хорошо развитый аналитический аппарат обобщенных процессов Кокса для исследования асимптотического поведения процессов дисбаланса потоков заявок при условии больших интенсивностей потоков информативных заявок, вполне естественных для высокочастотной торговли. Построению таких аппроксимаций посвящены работы [11, 14], некоторые результаты которых описаны ниже.

Без заметной потери точности рассмотрим процессы, определенные при  $0 \leq t \leq 1$ . Это означает, что поведение процесса дисбаланса потоков заявок рассматривается на конечных временных горизонтах. Равенство правой границы временного промежутка единице легко достигается соответствующим выбором единицы измерения. Рассмотрим поведение изучаемых процессов в пространстве Скорохода  $\mathcal{D} = \mathcal{D}[0, 1]$ .

Чтобы ввести разумную асимптотику, формализующую условия «высокой загрузки», зафиксируем момент времени  $t$  и введем вспомогательный «бесконечно большой» параметр  $n$ . Всюду далее сходимость будет подразумеваться при  $n \rightarrow \infty$ , если не оговорено иное. Итак, рассмотрим последовательность обобщенных процессов Кокса

$$\text{OFI}_n(t) = \sum_{i=1}^{N_1^{(n)}(\Lambda_n(t))} X_{n,i}, \quad t \geq 0, \quad (6)$$

где  $\{N_1^{(n)}(t), t \geq 0\}_{n \geq 1}$  — последовательность стандартных пуассоновских процессов; при каждом  $n = 1, 2, \dots$  случайные величины  $X_{n,1}, X_{n,2}, \dots$  одинаково распределены; для любого  $n \geq 1$  случайные величины  $X_{n,1}, X_{n,2}, \dots$  и процесс  $N_1^{(n)}(t), t \geq 0$ , независимы; при каждом  $n = 1, 2, \dots$  процесс  $\Lambda_n(t), t \geq 0$ , является субординатором, т. е. неубывающим положительным процессом Леви, независимым от процесса

$$Z_n(t) = \sum_{i=1}^{N_1^{(n)}(t)} X_{n,i}, \quad t \geq 0, \quad (7)$$

и таким, что  $\Lambda_n(0) = 0$ . Предположим, что существуют  $\delta \in (0, 1]$ ,  $\delta_1 \in (0, 1]$  и числа  $C_n \in (0, \infty)$ , обеспечивающие при всех  $t \in (0, 1]$  справедливость неравенства

$$\mathbf{E}\Lambda_n^\delta(t) \leq (C_n t)^{\delta_1}. \quad (8)$$

Для определенности предполагаем, что  $\sum_{i=1}^0 = 0$ . В терминах, введенных выше, процесс  $Z_n(t)$  является условным однородным процессом дисбаланса потоков заявок. Из (6) и (7) легко видеть, что  $\text{OFI}_n(t) = Z_n(\Lambda_n(t))$ .

Обозначим  $a_n = \mathbf{E}X_{n,1}$  и предположим, что

$$0 < m_n^\beta \equiv \mathbf{E}|X_{n,1}|^\beta < \infty \quad (9)$$

для некоторого  $\beta \in [1, 2]$ .

Если снабдить объемы заявок дополнительным индексом  $n$ , то несложно убедиться, что условие (9) вытекает из условий

$$0 < \mathbf{E}|X_{n,1}^+|^\beta < \infty, \quad 0 < \mathbf{E}|X_{n,1}^-|^\beta < \infty.$$

Пусть  $t = 1$ . Обозначим  $N_n = N_1^{(n)}(\Lambda_n(1))$ . Предположим, что для некоторых  $k_n \in \mathbb{N}$ ,  $k_n \rightarrow \infty$ , имеет место сходимость

$$\mathbf{P}(X_{n,1} + \dots + X_{n,k_n} < x) \xrightarrow{d} H(x), \quad (10)$$

где  $H(x)$  — некоторая безгранично делимая функция распределения.

Также предположим, что

$$\mathbf{P}(\Lambda_n(1) < k_n x) \xrightarrow{d} \mathbf{P}(U < x), \quad (11)$$

где  $U$  — неотрицательная случайная величина, распределение которой не сосредоточено в нуле. Заметим, что так как  $\Lambda_n(t)$  — процесс Леви, то случайная величина  $U$  безгранично делима как слабый предел безгранично делимых случайных величин.

**Теорема 1** [14]. Пусть процессы дисбаланса потоков заявок  $\text{OFI}_n(t)$  (см. (6)) управляются неубывающими положительными процессами Леви  $\Lambda_n(t)$ , удовлетворяющими условиям (8) и (11) с некоторыми  $\delta, \delta_1 \in (0, 1]$  и  $k_n \in \mathbb{N}$ . Предположим, что случайные величины  $\{X_{n,j}\}_{j \geq 1}$ ,  $n = 1, 2, \dots$  (рандомизированные объемы заявок), удовлетворяют условиям (10) с теми же самыми  $k_n$  и (9) с некоторым  $\beta \in [1, 2]$ . Также предположим, что выполнено условие

$$K \equiv \sup_n C_n^{\delta_1/\delta} m_n^\beta < \infty. \quad (12)$$

Тогда процессы дисбаланса потоков заявок  $\text{OFI}_n(t)$  слабо сходятся в пространстве Скорохода  $\mathcal{D}$  к процессу Леви  $Q(t)$  такому, что

$$\mathbf{E} \exp\{isQ(1)\} = \int_0^{\infty} (h(s))^u d\mathbf{P}(U < u), \quad s \in \mathbb{R},$$

где  $h(s)$  — характеристическая функция, соответствующая функции распределения  $H(x)$  в (10).

Следует отметить, что фактически в теореме 1 речь идет о хорошо изученной сходимости семимартингалов со стационарными приращениями (см., например, [25]). Однако структура рассматриваемых в теореме 1 процессов позволяет несколько ослабить условия, требуемые для указанной сходимости в общем случае (см., например, следствие VII.3.6 в [25], где предполагается, что  $\delta = \delta_1 = 1$ ).

Обозначим  $\sigma_n^2 = \mathbf{D}X_{n,1}$ . Пусть, как и ранее,  $\Phi(x)$  — стандартная нормальная функция распределения. Из классической теории предельных теорем хорошо известно, что если условия

$$k_n a_n \rightarrow a; \quad k_n \sigma_n^2 \rightarrow \sigma^2; \quad k_n \mathbf{E}(X_{n,1} - a_n)^2 \mathbb{I}(|X_{n,1} - a_n| \geq \epsilon) \rightarrow 0 \quad (13)$$

выполнены при некоторых  $a \in \mathbb{R}$ ,  $0 < \sigma^2 < \infty$  и любого  $\epsilon > 0$ , то в условии (10)  $H(x) \equiv \Phi(\sigma^{-1}(x - a))$ . В таком случае функция распределения  $F(x)$  предельной случайной величины  $Q(1)$  в теореме 1 является дисперсионно-сдвиговой смесью нормальных законов. Недавно было показано, что дисперсионно-сдвиговые смеси нормальных законов выступают в качестве предельных в простых предельных теоремах для случайных сумм и являются идентифицируемыми, что позволило сформулировать *необходимые и достаточные* условия сходимости распределений случайных сумм к дисперсионно-сдвиговым смесям нормальных законов [26–29]. В свою очередь, эти результаты вкуче с теоремой 1 позволяют доказать следующий результат.

**Теорема 2** [14]. Пусть процессы дисбаланса потоков заявок  $\text{OFI}_n(t)$  (см. (6)) управляются неубывающими положительными процессами Леви  $\Lambda_n(t)$ , удовлетворяющими условиям (8) с некоторыми  $\delta, \delta_1 \in (0, 1]$ . Предположим, что случайные величины  $\{X_{n,j}\}_{j \geq 1}$ ,  $n = 1, 2, \dots$  (рандомизированные объемы заявок), удовлетворяют условиям (13) с некоторыми  $k_n \in \mathbb{N}$ . Также предположим, что выполнено условие (12) с  $\beta = 2$ . Тогда процессы дисбаланса потоков заявок  $\text{OFI}_n(t)$  слабо сходятся в пространстве Скорохода  $\mathcal{D}$  к процессу Леви  $Q(t)$  в том и только том случае, когда существует неотрицательная случайная величина  $U$  такая, что

$$\mathbf{P}(Q(1) < x) = \int_0^{\infty} \Phi\left(\frac{x - au}{\sigma\sqrt{u}}\right) d\mathbf{P}(U < u), \quad x \in \mathbb{R},$$

и выполнено условие (11) с теми же самыми  $k_n$ .

Дисперсионно-сдвиговые смеси нормальных законов были введены в 1977–1978 гг. О. Барндорфф-Нильсеном [30, 31]. Эти смеси интересны тем, что хотя формально в них смешивание происходит по обоим параметрам нормальных законов — сдвигу и дисперсии, но эти параметры связаны жесткой пропорциональной зависимостью, так что фактически смешивающее распределение одномерно. В указанных работах особое внимание было уделено изучению свойств обобщенных гиперболических законов, демонстрирующих высочайшую адекватность при их использовании в качестве модели реально наблюдаемых статистических закономерностей. Для обобщенных гиперболических законов смешивающим является обобщенное обратное гауссовское распределение. В работах [26, 28] был предложен еще один класс специальных дисперсионно-сдвиговых смесей нормальных законов — класс обобщенных дисперсионных гамма-распределений (generalized variance-gamma distributions), который, в отличие от обобщенных гиперболических законов, содержит распределения, хвосты которых убывают экспоненциально-степенным (вейбулловским) образом. В некоторых случаях такие распределения оказываются более адекватными моделями реально наблюдаемых закономерностей, нежели обобщенные гиперболические законы [32, 33]. В работе [14] доказан критерий слабой сходимости процессов дисбаланса потоков заявок в пространстве Скорохода к обобщенным гиперболическим процессам Леви. Из теоремы 2 видно, что тип предельного процесса полностью определяется типом смешивающего распределения, который, в свою очередь, полностью определяется типом предельного распределения для накопленной интенсивности потока информативных событий. Поэтому критерий слабой сходимости процессов дисбаланса потоков заявок в пространстве Скорохода к обобщенным дисперсионным гамма-процессам Леви будет иметь вид, аналогичный приведенному в [14], с заменой обобщенного обратного гауссовского смешивающего распределения на обобщенное гамма-распределение.

## **8 Формализация понятия токсичности потоков заявок**

Высокочастотные торговые системы, как правило, являются маркет-мейкерами — поставщиками ликвидности посредством размещения пассивных (лимитных) заявок на различных уровнях электронной книги заявок. Поставщик ликвидности, выставивший пассивную заявку, не имеет возможности влиять на время ее исполнения (разумеется, кроме того, чтобы снять заявку). Маркет-мейкеры зачастую не прогнозируют в явном виде динамику рынка, а используют шумовую составляющую рыночных движений. Степень эффективности деятельности маркет-мейкеров связана с контролем риска оказаться с большим количеством купленных или проданных контрактов, что напрямую зависит от их способности контролировать эффект неблагоприятного отбора (adverse selection) в отношении пассивных заявок.

Практики, как правило, описывают принцип неблагоприятного отбора как «естественную тенденцию слишком быстрого исполнения пассивных заявок в тех

ситуациях, когда они должны исполняться медленно, и наоборот: исполняться слишком медленно в тех ситуациях, когда они должны исполниться быстро» [34]. Эта интуитивная формулировка согласуется с ранними микроструктурными моделями рынка [35–37], в которых информированные трейдеры получают преимущество над неинформированными участниками рынка. Поток заявок считается токсичным, когда происходит эффект неблагоприятного отбора маркет-мейкеров, поставляющих ликвидность.

В работе [38] исследовано понятие токсичности потока заявок на финансовых рынках. В указанной работе это понятие формализовано с помощью вероятностей пересечения процессом дисбаланса потоков заявок фиксированных уровней. Рассмотренная выше модель процесса дисбаланса потоков заявок как специального двустороннего процесса риска позволяет использовать некоторые результаты, связанные с оценками вероятности разорения для процессов риска со случайными премиями, и ввести понятия мгновенного профиля токсичности и байесовского и квантильного показателей токсичности. В работе [38] эти показатели вычислены для двух модельных типов потоков заявок, в первом из которых заявки имеют единичный объем (т. е. доступна информация только о динамике процесса дисбаланса числа заявок  $NOI(t)$ ), а во втором — объем заявок является случайным и имеющим показательное распределение.

## 9 Методы статистического анализа моделей распределений дисбаланса потоков заявок

При *практическом* решении задачи моделирования и исследования волатильности (изменчивости) хаотических стохастических процессов ключевым этапом является статистическое разделение смесей вероятностных распределений. Задача разделения смесей — статистического оценивания параметров смесей вероятностных распределений — в деталях разобрана, например, в книге [39].

Для решения задачи разделения смесей вероятностных распределений традиционно используются итерационные процедуры типа EM-алгоритма (expectation–maximization algorithm). К сожалению, классический EM-алгоритм обладает рядом серьезных недостатков при его применении к смесям нормальных законов: он демонстрирует крайнюю неустойчивость по отношению к исходным данным и начальным приближениям. Для преодоления этих недостатков предложено много модификаций EM-алгоритма (см., например, [39]). Вместе с тем в указанной книге предложен и исследован принципиально новый «сеточный» метод приближенного решения задачи разделения смесей. В работе [40] подробно исследованы вопросы сходимости сеточных методов разделения смесей.

В соответствии с подходом к статистическому анализу хаотических стохастических процессов, в частности к решению задачи декомпозиции волатильности таких процессов, развитом в книге [39], в общем случае на практике

приходится решать задачу разделения конечных смесей нормальных законов с произвольно большим числом неизвестных параметров (параметров компонент и их весов). И хотя в большинстве приложений возникают смеси не более чем с пятью–семью компонентами, даже при использовании таких смесей, скажем, в задачах анализа и прогнозирования финансовых рисков приходится моделировать траекторию движения точки в пространствах, размерность которых соответственно лежит в пределах от 14 (для пятикомпонентных смесей) до 20 (для семикомпонентных смесей), что существенно увеличивает вычислительные и временные ресурсы, необходимые для практического решения указанных задач. Поскольку во многих ситуациях (например, при прогнозировании на основе высокочастотных данных) эти задачи необходимо решать в режиме, близком к реальному времени, для создания эффективных методов статистического анализа на основе смешанных моделей на первый план выходит проблема снижения размерности решаемой задачи, т. е. параметрического пространства.

Одним из возможных подходов к снижению размерности является априорное сужение классов допустимых смесей. К примеру, можно ограничиться конкретным классом дисперсионно-сдвиговых смесей — обобщенными гиперболическими или обобщенными дисперсионными гамма-распределениями. В этих семействах смесей число неизвестных параметров равно пяти или шести (если учитывать неслучайный сдвиг). Вместе с тем, как уже говорилось, у подобных моделей имеются довольно серьезные теоретические обоснования. Эти выводы подтверждены статистическим анализом высокочастотных финансовых данных, в результате которого выявлен синхронизированный характер изменения интенсивностей потоков заявок в системах электронных торгов, что естественно приводит к синхронизированному поведению параметров сдвига и диффузии в соответствующих моделях вида смесей нормальных законов.

В работе [41] описан модифицированный двухэтапный сеточный метод разделения дисперсионно-сдвиговых смесей нормальных законов, представляющий собой альтернативу чистого EM-алгоритма. На первом этапе этого алгоритма строится дискретная аппроксимация для смешивающего распределения, на втором этапе из заранее заданного семейства абсолютно непрерывных распределений, например обобщенных обратных гауссовских законов, выбирается ближайшее к полученному дискретному распределению. Обсуждаются вопросы сходимости этого двухэтапного алгоритма. В указанной работе доказана монотонность сеточного итерационного метода, используемого на первом этапе. Подробно обсуждается вопрос оптимального выбора параметров метода, прежде всего сетки, накладывается на носитель смешивающего распределения. С этой целью предложены статистические оценки квантилей смешивающего распределения. Эффективность метода иллюстрируется примерами конкретных вычислений оценок параметров обобщенных гиперболических распределений. Без какой бы то ни было существенной корректировки этот же метод применим и к обобщенным дисперсионным гамма-распределениям.

## Литература

1. *Parlour Ch. A.* Price dynamics in limit order markets // *Rev. Financ. Stud.*, 1998. Vol. 11. No. 4. P. 789–816.
2. *Foucault T.* Order flow composition and trading costs in a dynamic limit order market // *J. Financ. Mark.*, 1999. Vol. 2. P. 99–134.
3. *Goettler R., Parlour C., Rajan U.* Equilibrium in a dynamic limit order market // *J. Financ.*, 2005. Vol. 60. P. 2149–2192.
4. *Avellaneda M., Stoikov S.* High-frequency trading in a limit order book // *Quantit. Financ.*, 2008. Vol. 8. P. 217–224.
5. *Rosu I.* A dynamic model of the limit order book // *Rev. Financ. Stud.*, 2009. Vol. 22. P. 4601–4641.
6. *Cont R., Stoikov S., Talreja R.* A stochastic model for order book dynamics // *Oper. Res.*, 2010. Vol. 58. No. 3. P. 549–563.
7. *Cont R., Kukanov A., Stoikov S.* The price impact of order book events // SSRN, 2011. <http://ssrn.com/abstract=1712822>.
8. *Cont R., Kukanov A., Stoikov S.* The price impact of order book events // *J. Financ. Economet.*, 2014. Vol. 12. No. 1. P. 47–88.
9. *Gorshenin A., Doynikov A., Korolev V., Kuzmin V.* Statistical properties of the dynamics of order books: Empirical results // *Applied Problems in Theory of Probabilities and Mathematical Statistics Related to Modeling of Information Systems: Abstracts of 6th Workshop (International)*. — Moscow.: IPI RAS, 2012. P. 31–51.
10. *Королев В. Ю., Черток А. В., Корчагин А. Ю., Горшенин А. К.* Вероятностно-статистическое моделирование информационных потоков в сложных финансовых системах на основе высокочастотных данных // *Информатика и её применения*, 2013. Т. 7. № 1. С. 12–21.
11. *Chertok A., Korolev V., Korchagin A., Shorgin S.* Application of compound Cox processes in modeling order flows with non-homogeneous intensities // *Financ. Eng.*, 2014 (in press). <http://ssrn.com/abstract=2378975>.
12. *Bening V., Korolev V.* Generalized Poisson models and their applications in insurance and finance. — Utrecht: VSP, 2002. 434 p.
13. *Королев В. Ю., Бенинг В. Е., Шоргин С. Я.* Математические основы теории риска. — 2-е изд., перераб. и дополн. — М.: Физматлит, 2011. 620 с.
14. *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 // *Applied Mathematics Computation*, 2014 (in press). <http://arxiv.org/abs/1410.1900>.
15. *Korolev V., Shevtsova I.* An improvement of the Berry–Esseen inequality with applications to Poisson and mixed Poisson random sums // *Scand. Actuar. J.*, 2012. No. 2. P. 81–105. Available online since June 4, 2010.
16. *Cont R., de Larrard A.* Order book dynamics in liquid markets: Limit theorems and diffusion approximations. Working Paper. — Laboratoire de Probabilites et Modeles Aleatoires CNRS, Universite Pierre et Marie Curie (Paris VI), August 2011. Revised February 2012 (hal-00672274, ver. 2 — October 1, 2012). <http://ssrn.com/abstract=1757861>.



17. Madan D. B., Seneta E. The variance gamma (V.G.) model for share market return // J. Bus., 1990. Vol. 63. P. 511–524.
18. Eberlein E., Keller U. Hyperbolic distributions in finance // Bernoulli, 1995. Vol. 1. No. 3. P. 281–299.
19. Prause K. Modeling financial data using generalized hyperbolic distributions. — Freiburg: Universität Freiburg, Institut für Mathematische Stochastic, 1997. Preprint No. 48.
20. Carr P. P., Madan D. B., Chang E. C. The variance gamma process and option pricing // Eur. Financ. Rev., 1998. Vol. 2. P. 79–105.
21. Eberlein E., Keller U., Prause K. New insights into smile, mispricing and value at risk: The hyperbolic model // J. Bus., 1998. Vol. 71. P. 371–405.
22. Eberlein E., Prause K. The generalized hyperbolic model: Financial derivatives and risk measures. — Freiburg: Universität Freiburg, Institut für Mathematische Stochastic, 1998. Preprint No. 56.
23. Ширяев А. Н. Основы стохастической финансовой математики. Т. 1: Факты. Модели. — М.: Фазис, 1998. 512 с.
24. Eberlein E. Application of generalized hyperbolic Lévy motions to finance. — Freiburg: Universität Freiburg, Institut für Mathematische Stochastic, 1999. Preprint No. 64.
25. Jacod J., Shiryaev A. N. Limit theorems for stochastic processes. — 2nd ed. — Grundlehren der Mathematischen Wissenschaften [Fundamental principles of mathematical sciences ser]. — Berlin: Springer-Verlag, 2003. Vol. 288. 664 p.
26. Королев В. Ю., Соколов И. А. Скошенные распределения Стьюдента, дисперсионные гамма-распределения и их обобщения как асимптотические аппроксимации // Информатика и её применения, 2012. Т. 6. Вып. 1. С. 2–10.
27. Королев В. Ю. Обобщенные гиперболические законы как предельные для распределений случайных сумм // Теория вероятностей и её применения, 2013. Т. 58. Вып. 1. С. 117–132.
28. Закс Л. М., Королев В. Ю. Обобщенные дисперсионные гамма-распределения как предельные для случайных сумм // Информатика и её применения, 2013. Т. 7. Вып. 1. С. 105–115.
29. Korolev V. Yu., Zeifman A. I. On convergence of the distributions of statistics constructed from samples with random sizes to normal variance-mean mixtures // J. Stat. Plan. Infer., 2014 (in press). <http://arXiv.org/abs/1410.1518>.
30. Barndorff-Nielsen O. E. Exponentially decreasing distributions for the logarithm of particle size // Proc. Roy. Soc. Lond. A, 1977. Vol. 353. P. 401–419.
31. Barndorff-Nielsen O. E. Hyperbolic distributions and distributions of hyperbolae // Scand. J. Stat., 1978. Vol. 5. P. 151–157.
32. Chen Q., Gerlach R. H. The two-sided Weibull distribution and forecasting financial tail risk // Int. J. Forecasting, 2013. Vol. 29. No. 4. P. 527–540.
33. Королев В. Ю., Корчагин А. Ю., Зейфман А. И. О сходимости распределений статистик, построенных по выборкам случайного объема, к многомерным обобщенным дисперсионным гамма-распределениям // Докл. РАН, 2014 (в печати).
34. Jeria D., Sofianos G. Passive orders and natural adverse selection // Street Smart, September 4, 2008. Iss. 33.
35. Glosten L. R., Milgrom P. Bid, ask and transaction prices in a specialist market with heterogeneously informed traders // J. Financ. Econ., 1985. Vol. 14. P. 71–100.



36. *Kyle A. S.* Continuous auctions and insider trading // *Econometrica*, 1985. Vol. 53. P. 1315–1335.
37. *Easley D., O'Hara M.* Time and the process of security price adjustment // *J. Financ.*, 1992. Vol. 47. P. 576–605.
38. *Чертюк А. В.* О формализации понятия токсичности потока заявок на финансовых рынках // *Информатика и её применения*, 2014 (в печати). Т. 8. Вып. 4.
39. *Королев В. Ю.* Вероятностно-статистические методы декомпозиции волатильности хаотических процессов. — М.: Изд-во Московского университета, 2011. 510 с.
40. *Назаров А. Л.* Приближенные методы разделения смесей вероятностных распределений: Дисс. . . . канд. физ.-мат. наук. — М.: МГУ им. М. В. Ломоносова, 2013.
41. *Королев В. Ю., Корчагин А. Ю.* Модифицированный сеточный метод разделения дисперсионно-сдвиговых смесей нормальных законов // *Информатика и её применения*, 2014 (в печати). Т. 8. Вып. 4.

*Поступила в редакцию 21.10.14*

---

---

## RECENT WORKS IN THE FIELD OF MODELING INFORMATION FLOWS IN CONTEMPORARY HIGH-FREQUENCY FINANCIAL APPLICATIONS

*V. Yu. Korolev<sup>1,2</sup>, A. Yu. Korchagin<sup>1</sup>, I. A. Sokolov<sup>2</sup>, and A. V. Chertok<sup>1,3</sup>*

<sup>1</sup>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, Russian Academy of Sciences, 44-2 Vavilov Str., Moscow 119333, Russian Federation

<sup>3</sup>Euphoria Group LLC, 9, bld. 1, of. 6 Arkhangelsky Lane, Moscow 101000, Russian Federation

**Abstract:** Some results of recent studies in the field of modeling information flows in contemporary high-frequency financial systems and applications are discussed. In particular, the microscale model proposed by the authors is considered. Within the framework of this model, the order flows are described by doubly stochastic Poisson processes (also called Cox processes) which take account of the random character of intensities. To study the evolution of the limit order book (the current list of all active buy and sell orders), the models are proposed for the processes of number of orders imbalance and order flows imbalance having the form of two-sided risk processes, special compound Cox processes. These processes are sensitive indicators of the current state of the limit order book and provide the possibility to interpolate dynamics of the market between price changes, say, to trace toxicity of the order flow. The paper presents a review of main results obtained by application of these models.

**Keywords:** financial markets; high-frequency financial systems; limit order book; number of orders imbalance; order flows imbalance; doubly stochastic Poisson process; compound Cox process; normal variance-mean mixture; two-sided risk process; separation of mixtures; EM-algorithm; generalized variance gamma distribution; generalized gamma distribution; generalized hyperbolic distribution; generalized inverse Gaussian distribution

**DOI:** 10.14357/08696527140404

## Acknowledgments

The work was partly supported by the Russian Foundation for Basic Research (projects 12-07-00115a and 14-07-00041a).

## References

1. Parlour, Ch. A. 1998. Price dynamics in limit order markets. *Rev. Financ. Stud.* 11(4):789–816.
2. Foucault, T. 1999. Order flow composition and trading costs in a dynamic limit order market. *J. Financ. Mark.* 2:99–134.
3. Goettler, R., C. Parlour, and U. Rajan. 2005. Equilibrium in a dynamic limit order market. *J. Financ.* 60:2149–2192.
4. Avellaneda, M., and S. Stoikov. 2008. High-frequency trading in a limit order book. *Quant. Financ.* 8:217–224.
5. Rosu, I. 2009. A dynamic model of the limit order book. *Rev. Financ. Stud.* 22:4601–4641.
6. Cont, R., S. Stoikov, and R. Talreja. 2010. A stochastic model for order book dynamics. *Oper. Res.* 58(3):549–563.
7. Cont, R., A. Kukanov, and S. Stoikov. The price impact of order book events. Available at: <http://ssrn.com/abstract=1712822> (accessed November 5, 2014).
8. Cont, R., A. Kukanov, and S. Stoikov. 2014. The price impact of order book events. *J. Financ. Economet.* 12(1):47–88.
9. Gorshenin, A., A. Doynikov, V. Korolev, and V. Kuzmin. 2012. Statistical properties of the dynamics of order books: Empirical results. *Applied Problems in Theory of Probabilities and Mathematical Statistics Related to Modeling of Information Systems: Abstracts of VI Workshop (International)*. Moscow: IPI RAS. 31–51.
10. Korolev, V., A. Chertok, A. Korchagin, and A. Gorshenin. 2013. Veroyatnostno-statisticheskoe modelirovanie informatsionnykh potokov v slozhnykh finansovykh sistemakh na osnove vysokochastotnykh dannykh [Probability and statistical modeling of information flows in complex financial systems based on high-frequency data]. *Informatika i ee Primeneniya — Inform. Appl.* 7(1):12–21.
11. Chertok, A., V. Korolev, A. Korchagin, and S. Shorgin. 2014 (in press). Modeling high-frequency non-homogeneous order flows by compound Cox processes. *Financ. Eng.* Available at: <http://ssrn.com/abstract=2378975> (accessed January 14, 2014).
12. Bening, V., and V. Korolev. 2002. *Generalized Poisson models and their applications in insurance and finance*. Utrecht, VSP. 434 p.

13. Korolev, V. Yu., V. E. Bening, and S. Ya. Shorgin. 2011. *Matematicheskie osnovy teorii riska* [Mathematical foundations of the risk theory]. Moscow: Fizmatlit. 620 p.
14. Korolev, V. Yu., A. V. Chertok, A. Yu. Korchagin, and A. I. Zeifman. 2014 (in press). Modeling high-frequency order flow imbalance by functional limit theorems for two-sided risk processes. *Applied Mathematics Computation*. Available at: <http://arxiv.org/abs/1410.1900> (accessed November 5, 2014).
15. Korolev V., and I. Shevtsova. 2012. An improvement of the Berry–Esseen inequality with applications to Poisson and mixed Poisson random sums. *Scand. Actuar. J.* 2:81–105 (available online since June 4, 2010).
16. Cont, R., and A. de Larrard. 2012. Order book dynamics in liquid markets: Limit theorems and diffusion approximations. Available at: <http://ssrn.com/abstract=1757861> (accessed February 1, 2012).
17. Madan, D. B., and E. Seneta. 1990. The variance gamma (V.G.) model for share market return. *J. Bus.* 63:511–524.
18. Eberlein, E., and U. Keller. 1995. Hyperbolic distributions in finance. *Bernoulli* 1(3):281–299.
19. Prause, K. 1997. Modeling financial data using generalized hyperbolic distributions. Freiburg: Universität Freiburg, Institut für Mathematische Stochastic. Preprint No. 48.
20. Carr, P. P., D. B. Madan, and E. C. Chang. 1998. The variance gamma process and option pricing. *Eur. Financ. Rev.* 2:79–105.
21. Eberlein, E., U. Keller, and K. Prause. 1998. New insights into smile, mispricing and value at risk: The hyperbolic model. *J. Bus.* 71:371–405.
22. Eberlein, E., and K. Prause. 1998. The generalized hyperbolic model: Financial derivatives and risk measures. Freiburg: Universität Freiburg, Institut für Mathematische Stochastic. Preprint No. 56.
23. Shiryaev, A. N. *Osnovy stohasticheskoy finansovoy matematiki* [Basics of stochastic finance]. Moscow: Fazis. 1998. 512 p.
24. Eberlein, E. 1999. Application of generalized hyperbolic Lévy motions to finance. Freiburg: Universität Freiburg, Institut für Mathematische Stochastic. Preprint No. 64.
25. Jacod, J., and A. N. Shiryaev. 2003. *Limit theorems for stochastic processes*. 2nd ed. Grundlehren der Mathematischen Wissenschaften. Berlin: Springer-Verlag. 288. 664 p.
26. Korolev, V. Yu., and I. A. Sokolov. 2012. Skoshennye raspredeleniya St’yudenta, dispersionnye gamma-raspredeleniya i ikh obobshcheniya kak asimptoticheskie aproksimatsii [Skew Student distributions, variance-gamma distributions, and their generalizations as asymptotic approximations]. *Informatika i ee Primeneniya — Inform. Appl.* 6(1):2–10.
27. Korolev, V. Yu. 2013. Obobshchennye giperbolicheskie zakony kak predel’nye dlya raspredeleniy sluchaynykh summ [Generalized hyperbolic laws as the limit for distributions of random sums]. *Teoriya Veroyatnostey i ee Primeneniya* [Probability Theory and Its Applications] 58(1):117–132.
28. Zaks, L. M., and V. Yu. Korolev. 2013. Obobshchennye dispersionnye gamma-raspredeleniya kak predel’nye dlya sluchaynykh summ [Variance-generalized-gamma-distributions as limit laws for random sums]. *Informatika i ee Primeneniya — Inform. Appl.* 7(1):105–115.

29. Korolev, V. Yu., and A. I. Zeifman. 2014 (in press). On convergence of the distributions of statistics constructed from samples with random sizes to normal variance-mean mixtures. *J. Stat. Plan. Infer.* Available at: <http://arxiv.org/abs/1410.1518> (accessed October 04, 2014).
30. Barndorff-Nielsen, O. E. 1977. Exponentially decreasing distributions for the logarithm of particle size. *Proc. Roy. Soc. Lond. A* 353:401–419.
31. Barndorff-Nielsen, O. E. 1978. Hyperbolic distributions and distributions of hyperbolae. *Scand. J. Stat.* 5:151–157.
32. Chen, Q., and R. H. Gerlach. 2013. The two-sided Weibull distribution and forecasting financial tail risk. *Int. J. Forecasting* 29(4):527–540.
33. Korolev, V. Yu., A. Yu. Korchagin, and A. I. Zeifman. 2014 (in press). O skhodimosti raspredeleniy statistik, postroennykh po vyborkam sluchaynogo ob"ema, k mnogomernym obobshchennym dispersionnym gamma-raspredeleniyam [On the convergence of distributions of statistics based on samples of random size to multidimensional generalized variance-gamma distributions.] *Dokl. RAS*.
34. Jeria, D., and G. Sofianos. September 4, 2008. Passive orders and natural adverse selection. *Street Smart* 33.
35. Glosten, L. R., and P. Milgrom. 1985. Bid, ask and transaction prices in a specialist market with heterogeneously informed traders. *J. Financ. Econ.* 14:71–100.
36. Kyle, A. S. 1985. Continuous auctions and insider trading. *Econometrica* 53:1315–1335.
37. Easley, D., and M. O'Hara. 1992. Time and the process of security price adjustment. *J. Financ.* 47:576–605.
38. Chertok, A. V. 2014 (in press). O formalizatsii ponyatiya toksichnosti potoka zayavok na finansovykh rynkakh [On the formalization of the concept of order flow toxicity at the financial markets]. *Informatika i ee Primeneniya — Inform. Appl.* 8(4).
39. Korolev, V. Yu. 2011. *Veroyatnostno-statisticheskie metody dekompozitsii volatil'nosti khaoticheskikh processov* [Probabilistic and statistical methods of decomposition of volatility chaotic processes.] Moscow: Moscow State University Publishing. 510 p.
40. Nazarov, A. L. 2013. Priblizhennyye metody razdeleniya smesey veroyatnostnykh raspredeleniy [Approximate methods for separating mixtures of probability distributions]. Ph.D. Thesis. Moscow: MSU.
41. Korolev, V. Yu., and A. Yu. Korchagin. 2014. Modifitsirovannyi setochnyy metod razdeleniya dispersionno-sdvigovykh smesey normal'nykh zakonov [Modified grid method of separation of mean-variance mixtures of normal laws]. *Informatika i ee Primeneniya — Inform. Appl.* 8(4).

Received October 21, 2014

## Contributors

**Korolev Victor Yu.** (b. 1954) — Doctor of Science in physics and mathematics, 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; leading scientist,

Institute of Informatics Problems, Russian Academy of Sciences, 44-2 Vavilov Str., Moscow 119333, Russian Federation; vkorolev@cs.msu.su

**Korchagin Alexander Yu.** (b. 1989) — PhD student, Faculty of Computational Mathematics and Cybernetics, M.V. Lomonosov Moscow State University, 1-52 Leninskiye Gory, GSP-1, Moscow 119991, Russian Federation; sasha.korchagin@gmail.com

**Sokolov Igor A.** (b. 1954) — Academician of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Science in technology, Director, Institute of Informatics Problems, Russian Academy of Sciences, 44-2 Vavilov Str., Moscow 119333, Russian Federation; ISokolov@ipiran.ru

**Chertok Andrey V.** (b. 1987) — junior scientist, Faculty of Computational Mathematics and Cybernetics, M.V. Lomonosov Moscow State University; 1-52 Leninskiye Gory, GSP-1, Moscow 119991, Russian Federation; Director General, Euphoria Group LLC, 9, bld. 1, of. 6 Arkhangelsky Lane, Moscow 101000, Russian Federation; a.v.chertok@gmail.com

## СВОЙСТВА ПРИРАЩЕНИЙ ОКОННОЙ ДИСПЕРСИИ МИОГРАММЫ КАК СЛУЧАЙНОГО ПРОЦЕССА

*М. Ш. Хазиахметов<sup>1</sup>, Т. В. Захарова<sup>2</sup>, О. В. Шестаков<sup>3</sup>*

**Аннотация:** Исследование активности головного мозга — одно из наиболее активно развивающихся направлений в современной медицине. Существует множество методик проведения экспериментов в этой области. Один из подходов — так называемый метод вызванных потенциалов: испытуемый многократно повторяет некоторые действия, а его мозговая активность и некоторые вспомогательные сигналы записываются для дальнейшего анализа. В ряде работ авторов, выполненных совместно с коллегами, рассматриваются алгоритмы локализации опорных точек в миограмме (и некоторых других сигналах), соответствующих началам движения в эксперименте с движением пальца руки. Точность определения этих точек критична для дальнейшей обработки магнитоэнцефалограммы (МЭГ, МЭГ-сигнала) — вокруг них производится усреднение сигнала с целью выделить датчик с наилучшим откликом, т. е. находящийся ближе всего к источнику активности. В данной статье рассматриваются некоторые теоретические аспекты данных алгоритмов, а именно: миограмма и приращения ее оконной дисперсии (ОДМ) как случайные процессы.

**Ключевые слова:** выборочная оконная дисперсия; приращения выборочной оконной дисперсии; миограмма; магнитоэнцефалограмма

**DOI:** 10.14357/08696527140405

### 1 Введение

Приведем схему эксперимента, порядок работы с полученными в его ходе данными, а также краткое описание рассматриваемых алгоритмов нахождения опорных точек.

Испытуемый кладет ладонь на стол и в течение нескольких минут ударяет указательным пальцем по его поверхности. При этом обязательно записываются его МЭГ-сигнал и миограмма. Дополнительно могут быть сняты такие сигналы,

---

<sup>1</sup>Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, факультет вычислительной математики и кибернетики, khaziakhmetov@yandex.ru

<sup>2</sup>Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, факультет вычислительной математики и кибернетики, lsa@cs.msu.ru

<sup>3</sup>Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, факультет вычислительной математики и кибернетики; Институт проблем информатики Российской академии наук, oshestakov@cs.msu.ru

как ускорение пальца (сигнал акселерометра) и периоды касания стола (сигнал с кнопки на основе фотоэлемента). Все сигналы снимаются синхронно и со строго фиксированной частотой дискретизации. Магнитоэнцефалограмма представляет собой набор временных рядов с датчиков, размещаемых на голове человека, каждый такой ряд называют каналом. Все прочие сигналы представляют собой индивидуальные временные ряды.

Цель исследования — выделить участок коры головного мозга, инициирующий движение. Это частный случай так называемой обратной задачи — поиска источника сигнала по наблюдаемым на расстоянии характеристикам поля, генерируемого им. Одно из наиболее простых решений заключается в поиске канала МЭГ с наилучшим «откликом». Для этого можно, например, усреднить отрезки МЭГ вокруг моментов начала движения (моментов, когда мозг отдает команду на движение пальцем) наложением друг на друга отдельно на каждом канале и найти среди полученных кривых кривую, имеющую форму, максимально отличную от константы — достаточно очевидный способ улучшения отношения сигнал-шум. Однако моменты начала движения по МЭГ-сигналу определить невозможно, даже если знать, какой канал является искомым, так как доля шума на нем составляет примерно 95% (на других каналах зашумление еще сильнее). Миограмма, показания акселерометра и кнопки соответствуют вызванной активности, которая производится с некоторой задержкой относительно работы мозга. По ним можно определить только так называемые опорные точки — моменты начала вызванной активности, но этого оказывается вполне достаточно для проведения усреднения МЭГ. Дело в том, что смещение по времени, возникающее в миограмме относительно МЭГ, можно считать постоянным (оно зависит только от времени передачи импульса от мозга к мышце). Показания акселерометра и кнопки имеют еще большие сдвиги по времени, так как фиксируют показатели движения как результат работы мышцы; кроме того, считать их постоянными уже нельзя. Таким образом, наиболее ценным источником информации о начале движения считается миограмма: она позволяет локализовать опорные точки с максимальной точностью. Вместе с тем другие сигналы также имеют значение. Например, показания кнопки — простой и эффективный способ определить наличие движения в окрестности заданной точки.

Есть и другие подходы к решению обратной задачи магнитоэнцефалографии (см., например, [1, 2]).

Фиксация опорных точек по показаниям кнопки проста, так как сигнал с нее представляет собой кусочно-постоянную функцию с двумя значениями напряжения: 0 и 5 В. Как уже говорилось, этот сигнал записывался не всегда и имел наибольшую дисперсию сдвига относительно момента начала движения. Миограмма и показания акселерометра — весьма схожие по природе сигналы, для поиска опорных точек на них использовались одни и те же подходы, поэтому в дальнейшем будем говорить только о миограмме, которая записывалась всегда.

В качестве базового алгоритма локализации опорных точек был взят метод, подробно описанный в [3, 4]. Для миограммы вычисляются ОДМ и эмпирическая



функция распределения (ЭФР). Опорными точками считаются целые части абсцисс точек пересечения отрезков роста ОДМ с заданной квантилью ЭФР, прошедшие дополнительную фильтрацию (учитывалось, что частота движений человека ограничена, поэтому не может быть двух моментов начала движения с разницей по времени меньше заданной).

Наиболее слабая сторона указанного подхода — выбор глобальной квантили. Это не учитывает специфику эксперимента: несмотря на указание совершать как можно более однородные движения, испытуемый как минимум постепенно устает. Таким образом, каждый конкретный эксперимент требует подбора квантили даже для одного и того же человека. Зачастую подобрать ее вообще не удастся, так как одна и та же квантиль на одних участках сигнала дает значительную потерю опорных точек, а на других, наоборот, высокий процент ложных срабатываний. Проблема неоднородности миограммы рассматривается в [5].

Модифицированная версия алгоритма призвана устранить выявленные недостатки (см. подробное описание метода в [6]). Итоговый алгоритм обрабатывает сигнал в несколько проходов. Первая итерация базового алгоритма выполняется с высокой квантилью — ее цель определить моменты времени, когда движение точно было (и не важно, что значительное число движений при этом может быть потеряно). По этим точкам производится разбиение ОДМ на отрезки, границы которых на движения не попадают. Далее базовый алгоритм запускается уже отдельно на каждом отрезке с пересчитанной для него ЭФР. В итоге получается набор так называемых предварительных опорных точек. Их значения уточняются следующим образом: для каждой точки определяется предшествующий ей период покоя, для него строится ЭФР и определяется высокая квантиль, опорной точкой считается последний момент времени до предварительного значения, когда ОДМ меньше этой квантили. Таким образом, во-первых, модифицированный алгоритм за счет разбиения анализируемого временного ряда адаптируется под характер ОДМ на конкретном временном промежутке, что положительно сказывается на качестве определения собственно наличия/отсутствия движения. Во-вторых, за счет сдвига по уровню шума (вновь адаптивного) значительно увеличивается точность локализации опорной точки на каждой конкретной эпохе (последовательной паре отрезков покоя и движения). Как показано в [7], базовый алгоритм, в отличие от модифицированного, помещает опорную точку в практически произвольную позицию на отрезке роста ОДМ как по времени, так и по значению.

## 2 Миограмма и приращения ее оконной дисперсии как случайные процессы

Миограмма в оцифрованном варианте представляет собой временной ряд  $M_t$ , где  $t \in \{0, 1, \dots, T - 1\}$ . Условно ее можно разделить на чередующиеся между собой отрезки, соответствующие неподвижному состоянию пальца испытуемого



и движению. Период времени, представляющий собой последовательную пару отрезков покоя и движения, будем называть эпохой. Границы эпох представляют собой множество точек вида

$$\{\tau_0, \tau_1, \dots, \tau_k\} \subset \mathbb{N}: 0 = \tau_0 < \tau_1 < \dots < \tau_k = T.$$

Тогда  $\{\tau_{j-1}, \tau_{j-1} + 1, \dots, \tau_j - 1\}$  — точки  $j$ -й эпохи ( $j = \overline{1, k}$ ).

Для каждой эпохи представим наблюдаемое значение миограммы  $M_t$  как сумму истинного неслучайного значения  $m_t$  и шума  $\xi_t$ , имеющего нормальное распределение с нулевым математическим ожиданием и дисперсией  $\sigma_j^2$ , причем  $\{\xi_{\tau_{j-1}}, \xi_{\tau_{j-1}+1}, \dots, \xi_{\tau_j-1}\}$  — совокупность независимых одинаково распределенных случайных величин (н.о.р.с.в.), а  $\{\xi_0, \xi_1, \dots, \xi_{T-1}\}$  — совокупность независимых случайных величин (н.с.в.):

$$\forall j = \overline{1, k} \left\{ \begin{array}{l} \forall t \in \{\tau_{j-1}, \tau_{j-1} + 1, \dots, \tau_j - 1\} \left\{ \begin{array}{l} M_t = m_t + \xi_t; \\ \xi_t \sim N(0, \sigma_j^2); \end{array} \right. \\ \{\xi_{\tau_{j-1}}, \xi_{\tau_{j-1}+1}, \dots, \xi_{\tau_j-1}\} \text{ — н.о.р.с.в.;} \\ \{\xi_0, \xi_1, \dots, \xi_{T-1}\} \text{ — н.с.в.} \end{array} \right\} \quad (1)$$

Заметим, что в реальной миограмме нет жесткой границы между эпохами — в принципе, граничную точку можно поставить в любом месте на периоде покоя. Вместе с тем, учитывая особенности работы модифицированной версии алгоритма, граничные точки берутся по возможности меньшими, чтобы обеспечить достаточный интервал значений ОДМ для вычисления квантили шума. Кроме того, нет и резких переходов от одного значения дисперсии шума миограммы к другому. Благодаря этому отрезки миограммы на стыке эпох можно считать статистически соответствующими с точки зрения распределения шума обеим эпохам, поэтому, если в дальнейшем при расчете характеристик одной эпохи используются первые несколько точек из следующей, никак не учитывается тот факт, что формально, с точки зрения предложенной в (1) модели, они имеют другое распределение. Сформулируем это в следующем виде:

**Допущение.** Если  $n$  — ширина окна при расчете скользящего среднего и ОДМ, тогда будем считать, что для каждой эпохи, начиная со второй, первые  $n$  точек можно использовать при вычислении значений скользящего среднего и ОДМ предыдущей эпохи с ее параметрами распределения шума.

Пусть  $n$  — ширина окна при расчете ОДМ, тогда на каждой эпохе для соответствующего скользящего среднего  $\overline{M_{n,t}}$  наблюдаемого сигнала будем иметь представление в терминах скользящих средних истинного сигнала  $\overline{m_{n,t}}$  и шума  $\overline{\xi_{n,t}}$ :

$$\overline{M_{n,t}} = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^{n-1} M_{t+i} = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^{n-1} m_{t+i} + \frac{1}{n} \sum_{i=0}^{n-1} \xi_{t+i} = \overline{m_{n,t}} + \overline{\xi_{n,t}}. \quad (2)$$

Оконная дисперсия миограммы по определению имеет вид:

$$W_{n,t} = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^{n-1} (M_{t+i} - \overline{M_{n,t}})^2.$$

**Лемма 1.** Для приращений ОДМ, соответствующей модели (1) со сделанным выше допущением, справедливо разложение:

$$\begin{aligned} W_{n,t+1} - W_{n,t} &= \frac{n-1}{n^2} (m_{t+n}^2 - m_t^2) - \frac{2}{n^2} (m_{t+n} - m_t) \sum_{i=1}^{n-1} m_{t+i} + \\ &+ \frac{n-1}{n^2} (\xi_{t+n}^2 - \xi_t^2) - \frac{2}{n^2} (\xi_{t+n} - \xi_t) \sum_{i=1}^{n-1} \xi_{t+i} + \\ &+ \xi_{t+n} \left( \frac{2(n-1)}{n^2} m_{t+n} - \frac{2}{n^2} \sum_{i=1}^{n-1} m_{t+i} \right) - \\ &- \xi_t \left( \frac{2(n-1)}{n^2} m_t - \frac{2}{n^2} \sum_{i=1}^{n-1} m_{t+i} \right) - \frac{2}{n^2} (m_{t+n} - m_t) \sum_{i=1}^{n-1} \xi_{t+i}. \quad (3) \end{aligned}$$

**Доказательство.** Рассмотрим приращения ОДМ. По определению можем записать:

$$W_{n,t+1} - W_{n,t} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (M_{t+i} - \overline{M_{n,t+1}})^2 - \frac{1}{n} \sum_{i=0}^{n-1} (M_{t+i} - \overline{M_{n,t}})^2.$$

Возведем компоненты сумм в квадрат, раскроем скобки и перегруппируем слагаемые:

$$\begin{aligned} W_{n,t+1} - W_{n,t} &= \frac{1}{n} \left( \sum_{i=1}^n M_{t+i}^2 + \sum_{i=1}^n \overline{M_{n,t+1}}^2 - 2 \sum_{i=1}^n M_{t+i} \overline{M_{n,t+1}} \right) - \\ &- \frac{1}{n} \left( \sum_{i=0}^{n-1} M_{t+i}^2 + \sum_{i=0}^{n-1} \overline{M_{n,t}}^2 - 2 \sum_{i=0}^{n-1} M_{t+i} \overline{M_{n,t}} \right) = \\ &= \frac{1}{n} (M_{t+n}^2 - M_t^2) + (\overline{M_{n,t+1}}^2 - \overline{M_{n,t}}^2) - \\ &- \frac{2}{n} \left( \sum_{i=1}^n (M_{t+i} \overline{M_{n,t+1}}) - \sum_{i=0}^{n-1} (M_{t+i} \overline{M_{n,t}}) \right) = \end{aligned}$$

$$= \frac{1}{n} (M_{t+n}^2 - M_t^2) + (\overline{M_{n,t+1}} - \overline{M_{n,t}}) (\overline{M_{n,t+1}} + \overline{M_{n,t}}) - \\ - \frac{2}{n} \left( M_{t+n} \overline{M_{n,t+1}} - M_t \overline{M_{n,t}} + \sum_{i=1}^{n-1} M_{t+i} (\overline{M_{n,t+1}} - \overline{M_{n,t}}) \right).$$

Воспользовавшись (2), получаем:

$$W_{n,t+1} - W_{n,t} = \frac{1}{n} (M_{t+n}^2 - M_t^2) + \frac{1}{n} (M_{t+n} - M_t) (\overline{M_{n,t+1}} + \overline{M_{n,t}}) - \\ - \frac{2}{n} \left( M_{t+n} \overline{M_{n,t+1}} - M_t \overline{M_{n,t}} + \sum_{i=1}^{n-1} M_{t+i} \frac{1}{n} (M_{t+n} - M_t) \right) = \\ = \frac{1}{n} (M_{t+n} - M_t) (M_{t+n} + M_t) + \\ + \frac{1}{n} (M_{t+n} - M_t) \left( \frac{1}{n} (M_{t+n} + M_t) + \frac{2}{n} \sum_{i=1}^{n-1} M_{t+i} \right) - \\ - \frac{2}{n} (M_{t+n} \overline{M_{n,t+1}} - M_t \overline{M_{n,t}}) - \frac{2}{n^2} (M_{t+n} - M_t) \sum_{i=1}^{n-1} M_{t+i} = \\ = \frac{n+1}{n^2} (M_{t+n} - M_t) (M_{t+n} + M_t) - \frac{2}{n} (M_{t+n} \overline{M_{n,t+1}} - M_t \overline{M_{n,t}}) = \\ = \frac{n+1}{n^2} (M_{t+n}^2 - M_t^2) - \frac{2}{n^2} (M_{t+n}^2 - M_t^2) - \frac{2}{n^2} (M_{t+n} - M_t) \sum_{i=1}^{n-1} M_{t+i} = \\ = \frac{n-1}{n^2} (M_{t+n}^2 - M_t^2) - \frac{2}{n^2} (M_{t+n} - M_t) \sum_{i=1}^{n-1} M_{t+i}.$$

Осуществим подстановку  $M_t = m_t + \xi_t$  из (1):

$$W_{n,t+1} - W_{n,t} = \frac{n-1}{n^2} \left( (m_{t+n} + \xi_{t+n})^2 - (m_t + \xi_t)^2 \right) - \\ - \frac{2}{n^2} (m_{t+n} + \xi_{t+n} - m_t - \xi_t) \sum_{i=1}^{n-1} (m_{t+i} + \xi_{t+i}) = \\ = \frac{n-1}{n^2} (m_{t+n}^2 - m_t^2) - \frac{2}{n^2} (m_{t+n} - m_t) \sum_{i=1}^{n-1} m_{t+i} +$$

$$+ \frac{n-1}{n^2} (\xi_{t+n}^2 - \xi_t^2) - \frac{2}{n^2} (\xi_{t+n} - \xi_t) \sum_{i=1}^{n-1} \xi_{t+i} + \frac{2(n-1)}{n^2} (m_{t+n}\xi_{t+n} - m_t\xi_t) - \\ - \frac{2}{n^2} (m_{t+n} - m_t) \sum_{i=1}^{n-1} \xi_{t+i} - \frac{2}{n^2} (\xi_{t+n} - \xi_t) \sum_{i=1}^{n-1} m_{t+i}.$$

Получили, что приращение ОДМ распадается на три компонента:

- (1)  $A_{n,t} = ((n-1)n^2) (m_{t+n}^2 - m_t^2) - (2/n^2) (m_{t+n} - m_t) \sum_{i=1}^{n-1} m_{t+i}$  — описывает неслучайную часть приращения;
- (2)  $B_{n,t} = ((n-1)/n^2) (\xi_{t+n}^2 - \xi_t^2) - (2/n^2) (\xi_{t+n} - \xi_t) \sum_{i=1}^{n-1} \xi_{t+i}$  — описывает компонент приращения ОДМ, возникающий исключительно вследствие наличия шума;
- (3)  $C_{n,t} = ((2(n-1))/n^2) (m_{t+n}\xi_{t+n} - m_t\xi_t) - (2/n^2)(m_{t+n} - m_t) \sum_{i=1}^{n-1} \xi_{t+i} - (2/n^2)(\xi_{t+n} - \xi_t) \sum_{i=1}^{n-1} m_{t+i}$  — описывает компонент приращение ОДМ, возникающий как суперпозиция истинного сигнала и шума.

Перегруппировав слагаемые в 3-м компоненте, получаем:

$$C_{n,t} = \xi_{t+n} \left( \frac{2(n-1)}{n^2} m_{t+n} - \frac{2}{n^2} \sum_{i=1}^{n-1} m_{t+i} \right) - \\ - \xi_t \left( \frac{2(n-1)}{n^2} m_t - \frac{2}{n^2} \sum_{i=1}^{n-1} m_{t+i} \right) - \frac{2}{n^2} (m_{t+n} - m_t) \sum_{i=1}^{n-1} \xi_{t+i}. \quad (4)$$

Объединив полученные представления для  $A_{n,t}$ ,  $B_{n,t}$  и  $C_{n,t}$ , получаем (3).  $\square$

**Лемма 2.** Компонент  $B_{n,t}$  приращения ОДМ, соответствующей модели (1) со сделанным выше допущением, представим в виде произведения двух независимых случайных величин с распределениями  $N(0, 2\sigma_j^2(n^2-1))$  и  $N(0, 2\sigma_j^2/n^4)$ .

*Доказательство.* Сделаем замену следующего вида:

$$u = \xi_{t+n} + \xi_t; \quad v = \xi_{t+n} - \xi_t. \quad (5)$$

Заметим, что  $u, v \sim N(0, 2\sigma_j^2)$ . Кроме того, их ковариация равна нулю:

$$\text{cov}(u, v) = E(u - Eu)(v - Ev) = Euv = E(\xi_{t+n} + \xi_t)(\xi_{t+n} - \xi_t) = \\ = E(\xi_{t+n}^2 - \xi_t^2) = E\xi_{t+n}^2 - E\xi_t^2 = 0.$$

Случайные величины  $u$  и  $v$  имеют нормальное распределение и не коррелированы; следовательно, они независимы. Тогда можем записать представление для  $B_{n,t}$ , полученное в лемме 1, в следующем виде:

$$\begin{aligned} B_{n,t} &= \frac{n-1}{n^2} (\xi_{t+n}^2 - \xi_t^2) - \frac{2}{n^2} (\xi_{t+n} - \xi_t) \sum_{i=1}^{n-1} \xi_{t+i} = \\ &= \frac{n-1}{n^2} uv - \frac{2}{n^2} v \sum_{i=1}^{n-1} \xi_{t+i} = \frac{1}{n^2} v \left( (n-1)u - 2 \sum_{i=1}^{n-1} \xi_{t+i} \right). \end{aligned}$$

Далее получаем:

$$B_{1,n,t} = \frac{v}{n^2} \sim N \left( 0, \frac{2\sigma_j^2}{n^4} \right);$$

$$\begin{aligned} B_{2,n,t} &= (n-1)u - 2 \sum_{i=1}^{n-1} \xi_{t+i} \sim N \left( 0, 2\sigma_j^2 (n-1)^2 + 4\sigma_j^2 (n-1) \right) = \\ &= N \left( 0, 2\sigma_j^2 (n^2 - 1) \right). \end{aligned}$$

Заметим также, что в силу (1) и (5)  $B_{1,n,t}$  и  $B_{2,n,t}$  независимы.  $\square$

**Лемма 3.** Компонент  $C_{n,t}$  приращения ОДМ, соответствующей модели (1) со сделанным выше допущением, имеет нормальное распределение с нулевым математическим ожиданием и дисперсией

$$\frac{4\sigma_j^2}{n^2} \left( (m_{t+n} - \overline{m_{n,t+1}})^2 + (m_t - \overline{m_{n,t}})^2 + \frac{n-1}{n^2} (m_{t+n} - m_t)^2 \right) \quad (6)$$

(при условии, что хотя бы одно из трех слагаемых в скобках отлично от нуля).

Доказательство. Воспользуемся представлением (4) для  $C_{n,t}$  и (1) и рассмотрим каждое из слагаемых:

$$\begin{aligned} \xi_{t+n} \left( \frac{2(n-1)}{n^2} m_{t+n} - \frac{2}{n^2} \sum_{i=1}^{n-1} m_{t+i} \right) &= \\ &= \frac{2}{n^2} \xi_{t+n} \left( (n-1) m_{t+n} - \sum_{i=1}^{n-1} m_{t+i} \right) \sim \\ &\sim N \left( 0, \frac{4\sigma_j^2}{n^4} \left( (n-1) m_{t+n} - \sum_{i=1}^{n-1} m_{t+i} \right)^2 \right); \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \xi_t \left( \frac{2(n-1)}{n^2} m_t - \frac{2}{n^2} \sum_{i=1}^{n-1} m_{t+i} \right) &= \frac{2}{n^2} \xi_t \left( (n-1) m_t - \sum_{i=1}^{n-1} m_{t+i} \right) \sim \\ &\sim N \left( 0, \frac{4\sigma_j^2}{n^4} \left( (n-1) m_t - \sum_{i=1}^{n-1} m_{t+i} \right)^2 \right); \\ \frac{2}{n^2} (m_{t+n} - m_t) \sum_{i=1}^{n-1} \xi_{t+i} &\sim N \left( 0, \frac{4\sigma_j^2}{n^4} (n-1) (m_{t+n} - m_t)^2 \right). \end{aligned}$$

Поскольку все компоненты независимы, то из-за усиленной воспроизводимости распределение их суммы останется нормальным с нулевым математическим ожиданием, а для получения дисперсии  $C_{n,t}$  необходимо сложить дисперсии слагаемых:

$$\begin{aligned} DC_{n,t} &= \\ &= \frac{4\sigma_j^2}{n^4} \left( (n-1) m_{t+n} - \sum_{i=1}^{n-1} m_{t+i} \right)^2 + \frac{4\sigma_j^2}{n^4} \left( (n-1) m_t - \sum_{i=1}^{n-1} m_{t+i} \right)^2 + \\ &\quad + \frac{4\sigma_j^2}{n^4} (n-1) (m_{t+n} - m_t)^2 = \\ &= \frac{4\sigma_j^2}{n^4} \left( nm_{t+n} - \sum_{i=1}^n m_{t+i} \right)^2 + \frac{4\sigma_j^2}{n^4} \left( nm_t - \sum_{i=0}^{n-1} m_{t+i} \right)^2 + \\ &\quad + \frac{4\sigma_j^2}{n^4} (n-1) (m_{t+n} - m_t)^2 = \\ &= \frac{4\sigma_j^2}{n^2} \left( (m_{t+n} - \overline{m_{n,t+1}})^2 + (m_t - \overline{m_{n,t}})^2 + \frac{n-1}{n^2} (m_{t+n} - m_t)^2 \right). \end{aligned}$$

Заметим, что если каждое из слагаемых в скобках равно 0, то компонент  $C_{n,t}$  в разложении отсутствует.  $\square$

**Теорема.** В точке  $t$ , принадлежащей  $j$ -й эпохе ( $j = \overline{1, k}$ ), шумовая составляющая приращения ОДМ, соответствующей модели (1) со сделанным выше допущением, представляет собой либо случайную величину с плотностью распределения вида

$$p(x) = \frac{n^2}{2\pi\sigma_j^2\sqrt{n^2-1}} K_0 \left( \frac{n^2}{2\sigma_j^2\sqrt{n^2-1}} |x| \right), \quad (7)$$

где  $K_0$  — модифицированная функция Бесселя второго рода нулевого порядка, либо сумму случайных величин, первая из которых имеет плотность распределения (7), а вторая распределена нормально с нулевым математическим ожиданием и дисперсией (6).

**Доказательство.** Согласно лемме 1 приращение ОДМ представимо в виде суммы трех компонентов, два из которых являются шумовыми. В силу леммы 2 для компонента  $B_{n,t}$  имеем представление в виде произведения двух независимых нормально распределенных случайных величин  $B_{1,n,t}$  и  $B_{2,n,t}$ .

В общем случае для двух независимых нормально распределенных случайных величин  $\xi_x$  и  $\xi_y$  с нулевыми математическими ожиданиями и дисперсиями  $\sigma_x^2$  и  $\sigma_y^2$  имеем следующий вид плотности их произведения:

$$\begin{aligned} p(z) &= \frac{1}{2\pi\sigma_x\sigma_y} \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} \exp\left(-\frac{x^2}{2\sigma_x^2}\right) \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right) \delta(z - xy) dx dy = \\ &= \frac{1}{2\pi\sigma_x\sigma_y} \int_{-\infty}^{+\infty} \exp\left(-\frac{z^2}{2\sigma_x^2 y^2}\right) \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right) \frac{dy}{y} = \\ &= \frac{1}{\pi\sigma_x\sigma_y} \int_0^{+\infty} \exp\left(-\frac{z^2}{2\sigma_x^2 y^2}\right) \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right) \frac{dy}{y} = \frac{1}{\pi\sigma_x\sigma_y} K_0\left(\frac{|z|}{\sigma_x\sigma_y}\right). \end{aligned}$$

Применив полученный результат к  $B_{1,n,t}$  и  $B_{2,n,t}$  и воспользовавшись тем, что

$$\int_0^{+\infty} \exp\left(-\frac{a}{y^2} - by^2\right) \frac{dy}{y} = K_0\left(2\sqrt{ab}\right) \text{ при } a, b > 0,$$

где  $K_0$  — модифицированная функция Бесселя второго рода нулевого порядка, получаем (7). Исходя из этого и леммы 3, получаем требуемое.  $\square$

### 3 Заключение

Полученные результаты позволяют объяснить, как и почему работают базовый и модифицированный алгоритмы. По сути, возможность выявить опорную точку, используя их, обусловлена двумя фактами. Во-первых, незашумленная ОДМ в малой окрестности опорной точки представляет собой достаточно быстро возрастающую функцию, в то время как до этой окрестности она практически нулевая. Во-вторых, шумовые составляющие приращений ОДМ распределены так, что слабо искажают рост ОДМ в окрестности опорной точки.

Первое утверждение связано с природой миограммы: есть «истинная» часть — низкочастотная функция с выбросами (высокочастотными включениями), локализованными в окрестности опорных точек, и шумовая — высокочастотная. Все это заложено в модели (1). Явно не указаны лишь соотношения между амплитудой шума и выбросов. На основе имеющихся миограмм можно утверждать о различии в 2–10 раз — зоны движений в большинстве случаев различимы просто визуально без какой-либо дополнительной обработки.

Рассмотрим второе утверждение. Поскольку дисперсия произведения независимых случайных величин с нулевым математическим ожиданием равна произведению их дисперсий, в силу леммы 2 получаем, что дисперсия  $B_{n,t}$  равна

$$DB_{n,t} = \frac{4\sigma_j^4 (n^2 - 1)}{n^4} \approx \frac{4\sigma_j^4}{n^2}. \quad (8)$$

По лемме 3 дисперсия  $C_{n,t}$  имеет вид (6). Таким образом, средние квадратичные отклонения обоих компонентов, как и следовало ожидать, обратно пропорциональны  $n$ . В выражение для  $C_{n,t}$  входят также величины, зависящие от истинных значений миограммы. Поэтому взаимный эффект от шумовых компонентов определяется тем, как соотносятся  $\sigma_j^2$  и  $(m_{t+n} - \overline{m_{n,t+1}})^2 + (m_t - \overline{m_{n,t}})^2 + ((n-1)/n^2)(m_{t+n} - m_t)^2$ . Заметим, что приращения, как и разности со средним, в начале движения превышают средний уровень шума, поэтому имеет место преобладание компонента  $C_{n,t}$ . Кроме того, интересен вопрос соотношения между  $A_{n,t}$  и суммой шумовых компонент, так как точность определения опорной точки напрямую связана с тем, насколько резко возрастает ОДМ в ее окрестности — если шум с высокой вероятностью способен подавлять рост оконной дисперсии истинного сигнала, то точность будет низкой.

Заметим, что  $A_{n,t}$  из леммы 1 можно записать также в виде:

$$\begin{aligned} A_{n,t} &= \frac{m_{t+n} - m_t}{n^2} \left( nm_{t+n} - \sum_{i=1}^n m_{t+i} + nm_t - \sum_{i=0}^{n-1} m_{t+i} \right) = \\ &= \frac{m_{t+n} - m_t}{n} ((m_{t+n} - \overline{m_{n,t+1}}) + (m_t - \overline{m_{n,t}})). \end{aligned}$$

Возведя это выражение в квадрат и соотнеся с (6) и (8), получаем, что влияние шума на итоговое приращение ОДМ вновь определяется соотношением приращений в «истинной» миограмме и дисперсией шума.

## Литература

1. Захарова Т. В., Гончаренко М. Б., Никифоров С. Ю. Метод решения обратной задачи магнитоэнцефалографии, основанный на кластеризации поверхности мозга //



- Статистические методы оценивания и проверки гипотез: Межвузовский сб. науч. тр. — Пермь: ПГНИУ, 2013. Т. 25. С. 120–125.
2. Бенинг В. Е., Драницына М. А., Захарова Т. В., Карнов П. И. Решение обратной задачи в многодипольной модели источников магнитоэнцефалограмм методом независимых компонент // Информатика и её применения, 2014. Т. 8. Вып. 2. С. 79–87.
  3. McGillem C. D., Aunon J. I. Analysis of event-related potentials // Methods of analysis of brain electrical and magnetic signals: EEG handbook. — Amsterdam: Elsevier Science Publ., 1987. P. 131–169.
  4. Fabiani M., Gratton G., Federmeier K. D. Event-related brain potentials: Methods, theory and applications // Handbook of psychophysiology / Eds. J. T. Cacioppo, L. G. Tassinary, G. G. Berntson — Cambridge: Cambridge University Press, 2007. P. 85–119.
  5. Dranitsyna M., Zakharova T., Allakhverdiyeva V., Chshenyavskaya E. Probability density function of myogram noise and its role in localization of brain activity sources // 32nd Seminar (International) on Stability Problems for Stochastic Models (ISSPSM'2014) and 8th Workshop (International) "Applied Problems in Theory of Probabilities and Mathematical Statistics Related to Modeling of Information Systems" (APTP + MS'2014): Book of abstracts. — Moscow: IPI RAN, 2014. P. 25–26.
  6. Захарова Т. В., Никифоров С. Ю., Гончаренко М. Б., Драницына М. А., Климов Г. А., Хазиахметов М. Ш., Чаянов Н. В. Методы обработки сигналов для локализации невосполнимых областей головного мозга // Системы и средства информатики, 2012. Т. 22. № 2. С. 157–175.
  7. Хазиахметов М. Ш., Захарова Т. В. Об алгоритмах нахождения опорных точек миограммы для использования в локализации невосполнимых областей головного мозга // Статистические методы оценивания и проверки гипотез: Межвузовский сб. науч. тр. — Пермь: ПГНИУ, 2013. Т. 25. С. 56–63.

Поступила в редакцию 01.10.14

---

---

## PROPERTIES OF WINDOW DISPERSION INCREMENTS OF A MYOGRAM AS A STOCHASTIC PROCESS

*M. Sh. Khaziakhmetov<sup>1</sup>, T. V. Zakharova<sup>1</sup>, and O. V. Shestakov<sup>1,2</sup>*

<sup>1</sup>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, Russian Academy of Sciences, 44-2 Vavilov Str., Moscow 119333, Russian Federation

**Abstract:** One of the most rapidly progressing directions in the modern medicine is brain activity research. There is a set of techniques of carrying out experiments in this area. One of the approaches is the so-called method of caused potentials: a testee repeats some actions and his brain activity and

some auxiliary signals are registered for further analysis. The authors of this paper and their colleagues published several papers about algorithms of reference points localization by a myogram (and some other signals) for the experiment with finger movements. Accuracy of detection of these points is critical for processing a magnetoencephalogram — signal average by multiple epochs centered by them is computed to find a sensor with the best response (it should be closer to the source of activity than other). In this paper, some theoretical aspects of these algorithms such as a myogram and increment of its window dispersion as random processes are discussed.

**Keywords:** window dispersion; window dispersion increments; myogram; magnetoencephalogram

**DOI:** 10.14357/08696527140405

## References

1. Zakharova, T. V., M. B. Goncharenko, and S. Yu. Nikiforov. 2013. Metod resheniya obratnoy zadachi magnitoentsefalografii, osnovanny na klasterizatsii poverkhnosti mozga [Method for solving the inverse problem of magnetoencephalography, based on brain surface clustering]. *Statisticheskie metody otsenivaniya i proverki gipotez: Mezhdunarodnyy sbornik nauchnykh trudov* [Statistical methods of estimation and hypothesis testing: Interuniversity collection of scientific papers]. Perm: Perm State National Research University. 25:120–125.
2. Bening, V. E., M. A. Dranitsyna, T. V. Zakharova, and P. I. Karpov. 2014. Reshenie obratnoy zadachi v mnogodipol'noy modeli istochnikov magnitoentsefalogramm metodom nezavisimyykh komponent [Independent component analysis for the inverse problem in the multidipole model of magnetoencephalogram's sources]. *Informatika i ee Primeneniya — Informatics Appl.* 8(2):79–87. doi: 10.14357/19922264140208.
3. McMillan, C. D., and J. I. Aunon. 1987. Analysis of event-related potentials. *Methods for analysis of brain electrical and magnetic signals. EEG handbook*. Eds. A. Gevins and A. Rémond. Amsterdam: Elsevier. 131–169.
4. Fabiani, M., G. Gratton, and K. D. Federmeier. 2007. Event-related brain potentials: Methods, theory and applications. *Handbook of psychophysiology*. Eds. J. T. Cacioppo, L. G. Tassinary, and G. G. Berntson. Cambridge: Cambridge University Press. 85–119.
5. Dranitsyna, M., T. Zakharova, V. Allakhverdiyeva, and E. Chshenyavskaya. 2014. Probability density function of myogram noise and its role in localization of brain activity sources. *32nd Seminar (International) on Stability Problems for Stochastic Models (ISSPSM'2014) and 8th Workshop (International) "Applied Problems in Theory of Probabilities and Mathematical Statistics Related to Modeling of Information Systems" (APTP + MS'2014). Book of abstracts*. Moscow: IPI RAN. 25–26.
6. Zakharova, T. V., S. Yu. Nikiforov, M. B. Goncharenko, M. A. Dranitsyna, G. A. Klimov, M. Sh. Khaziakhmetov, and N. V. Chayanov. 2012. Metody obrabotki signalov dlya lokalizatsii nevospolnnykh oblastey golovnoy mozga [Signal processing methods for localization of nonrenewable brain regions]. *Sistemy i Sredstva Informatiki — Systems and Means of Informatics* 22(2):157–175.
7. Khaziakhmetov, M. Sh., and T. V. Zakharova. 2013. Ob algoritmakh nakhozheniya opornykh tochek miogrammy dlya ispol'zovaniya v lokalizatsii nevospolnnykh oblastey

golovnogo mozga [About algorithms of localization of reference points in myogram for usage in nonrenewable brain regions detection]. *Statisticheskie metody otsenivaniya i proverki gipotez: Mezhvuzovskiy sbornik nauchnykh trudov* [Statistical methods of estimation and hypothesis testing: Interuniversity collection of scientific papers]. Perm: Perm State National Research University. 25:56–63.

*Received October 1, 2014*

## Contributors

**Khaziakhmetov Maxim Sh.** (b. 1989) — PhD student, Faculty of Computational Mathematics and Cybernetics, M.V. Lomonosov Moscow State University, 1-52 Leninskiye Gory, GSP-1, Moscow 119991, Russian Federation; khaziakhmetov@yandex.ru

**Zakharova Tatyana V.** (b. 1962) — Candidate of Science (PhD) in physics and mathematics, senior lecturer, Faculty of Computational Mathematics and Cybernetics, M. V. Lomonosov Moscow State University, 1-52 Leninskiye Gory, GSP-1, Moscow 119991, Russian Federation; lsa@cs.msu.ru

**Shestakov Oleg V.** (b. 1976) — Doctor of Science in physics and mathematics, associate professor, 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, Russian Academy of Sciences, 44-2 Vavilov Str., Moscow 119333, Russian Federation; oshestakov@cs.msu.ru

## МЕТОД РАСПРОСТРАНЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ АТАКИ «ЧЕЛОВЕК ПОСЕРЕДИНЕ» В ПРОТОКОЛЕ ДНСР

*М. В. Левыкин<sup>1</sup>, М. И. Троненко<sup>2</sup>, И. В. Шидловский-Москвин<sup>3</sup>*

**Аннотация:** Проведенные исследования современных вредоносных программ позволили выявить, что одним из главных методов их распространения является атака на протокол динамической конфигурации сетевого узла (ДНСР — Dynamic Host Configuration Protocol) с целью организации схемы «человек посередине». Однако результат такой атаки носит вероятностный характер и зависит от разницы между скоростью получения ответа от враждебного сервера ДНСР и легального. В работе описывается концепция распространения с помощью атаки «человек посередине» в протоколе ДНСР и ее ограничения, накладываемые протоколом динамической конфигурации сетевого узла. Исследования протокола ДНСР и ограничений на концепцию распространения в нем привели к созданию нового метода, реализующего атаку типа «человек посередине». Новый метод гарантированной атаки на ДНСР-протокол исключает вероятностную составляющую и является основным результатом работы.

**Ключевые слова:** протокол ДНСР; человек посередине; локальная вычислительная сеть (ЛВС); метод гарантированного распространения; вредоносный код

**DOI:** 10.14357/08696527140406

### 1 Введение

Целью данной работы является разработка нового метода гарантированного распространения вредоносного кода [1, 2] с помощью атаки «человек посередине» в протоколе ДНСР [3]. При этом под гарантированным распространением в рамках данной работы понимается отсутствие случайного результата такого распространения. Для достижения поставленной цели решаются следующие задачи: описывается общая идея (концепция) распространения [4] с помощью атаки «человек посередине» в протоколе ДНСР; формулируется основная проблема исследования в виде ограничения распространения, накладываемого протоколом ДНСР; приводится описание разработанного метода, решающего проблему ограничения распространения в протоколе ДНСР.

<sup>1</sup>Институт проблем информатики Российской академии наук, de\_shiko@yahoo.com

<sup>2</sup>Институт проблем информатики Российской академии наук, int03h@mail.ru

<sup>3</sup>Закрытое акционерное общество РНТ, ivashi@mail.ru

## **2 Концепция распространения с помощью атаки «человек посередине» в протоколе DHCP**

Протокол DHCP был разработан в 1990-х гг. на базе протокола BOOTP (bootstrap protocol) для решения задачи динамического распределения адресов в локальных вычислительных сетях. В настоящее время этот протокол активно используется практически во всех компьютерных сетях мира. Для описания концепции распространения с помощью такого протокола рассмотрим более подробно процесс динамической настройки (конфигурации) узла сети. Протокол DHCP работает по модели «клиент–сервер». Для автоматической конфигурации клиент на этапе конфигурации сетевого устройства обращается к серверу и получает от него нужные параметры, а именно: адрес DHCP-сервера, свой сетевой адрес, маску сети, адрес DNS-сервера, адрес WINS-сервера, адрес шлюза, адрес PROXY-сервера, срок аренды своего адреса и т. д. Передача данных производится с помощью протокола UDP (User Datagram Protocol), при этом сервер принимает сообщения от клиентов на порт 67 и отправляет сообщения клиентам на порт 68.

Необходимо отметить, что клиент для конфигурации сетевого устройства рассылает широковещательный запрос на получение необходимых ему параметров. Сервер отвечает на этот запрос и отправляет клиенту требуемые параметры. При этом функция авторизации отсутствует в протоколе DHCP, т. е. ни клиент, ни сервер не имеют возможности подтвердить легальность своего присутствия в сетевом взаимодействии. Именно эта особенность протокола DHCP позволяет реализовывать с его помощью различные схемы распространения. В основу таких схем положен метод «человека посередине» [5].

Рассмотрим концепцию распространения с помощью протокола DHCP.

В силу отсутствия в протоколе DHCP возможности авторизации любой узел сети может выступить в роли сервера. При этом каждый новый узел, выступающий в роли клиента DHCP, может получать от сервера злоумышленника ложные настройки сетевого узла. Например, адреса ложных серверов DNS, PROXY, WINS; адрес ложного шлюза и т. д. Получив ложные настройки, клиент для осуществления сетевого взаимодействия будет обращаться не к легальным сетевым ресурсам, а к ложным, которые, в свою очередь, могут модифицировать сетевой трафик и перенаправлять его легальным ресурсам и обратно. С помощью модификации трафика возможны различные схемы распространения. Например, с помощью внедрения исполняемого кода в веб-трафик, исходящий от ложного PROXY-сервера [5]. Таким образом может быть реализована схема «человек посередине» для распространения вредоносных программ [6].

Как следует из изложенного выше, в основе распространения с помощью протокола DHCP лежат две возможности: создание ложного DHCP-сервера и «навязывание» его клиентам ложных серверов, на которых реализуются атаки типа «человек посередине».

### 3 Ограничения протокола DHCP, накладываемые на концепцию распространения

Основной проблемой в данной концепции распространения является наличие случайной составляющей, которая, в свою очередь, зависит от скорости получения ответа клиентом от DHCP-сервера. Для лучшего понимания данного факта необходимо рассмотреть взаимодействие двух DHCP-серверов и нового DHCP-клиента в одной локальной сети, показанное на рис. 1 и согласующееся с официальной спецификацией протокола DHCP, описанной в RFC (Request For Comments).

Любой новый DHCP-клиент, представляющий собой сетевое устройство, для получения динамической конфигурации посылает широковещательный запрос по протоколу UDP на порт 67. Такой запрос называется DHCPDISCOVER. Оба

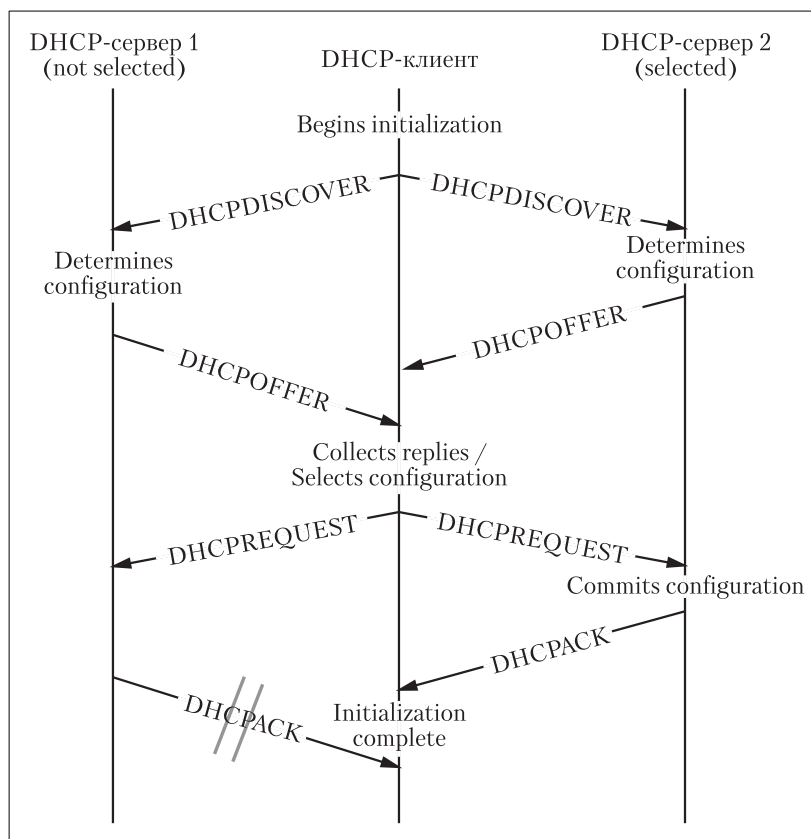


Рис. 1 Диаграмма состояний взаимодействия DHCP-клиента и двух DHCP-серверов

сервера получают данный запрос и отвечают на него каждый одним пакетом, называемым DHCP OFFER, на порт 68. Данный ответ содержит предлагаемые сервером клиенту параметры конфигурации сетевого устройства. Стоит отметить, что клиент при отправке запроса DHCP DISCOVER всегда запрашивает свой предыдущий сетевой адрес. Затем клиент посылает DHCP REQUEST-пакеты DHCP-серверам, в которых указаны запрашиваемые им настройки. Затем серверы отвечают пакетами DHCP ACK. Эти пакеты подтверждают получение клиентом запрашиваемых данных. Таким образом, возможна ситуация, когда оба сервера пришлют клиенту запрашиваемую им конфигурацию. Однако DHCP-сервер, который пришлет ответ клиенту первым, получит приоритет со стороны клиента над DHCP-сервером, который ответит позже.

Следует отметить, что клиент выбирает конфигурацию согласно двум критериям: предлагаемому сервером сетевому адресу и времени доставки ответа от сервера. Де-факто каждый клиент запрашивает при подключении у сервера конфигурацию, которая была у него последней, и предлагаемая конфигурация в виде старого сетевого адреса имеет больший приоритет, чем время получения ответа. Однако в случае получения одинаковой предлагаемой конфигурации сетевых адресов решающую роль играет время получения оной, что показано на рис. 1.

На практике злоумышленнику не составляет труда получить конфигурацию DHCP-узлов, так как с большой долей вероятности конфигурация однородна для всех узлов сети, за исключением различий в сетевых адресах. Создание ложных DHCP-серверов в локальной вычислительной сети (ЛВС) также не представляет сложности, так как требует разрешения для работы по протоколу UDP на портах 67 и 68. Такое разрешение в большинстве случаев присутствует в компьютерных сетях в силу необходимости осуществления работы легального DHCP-сервера. Однако главной проблемой является скорость доставки ответов от ложного DHCP-сервера к клиенту. Дело в том, что сетевое оборудование (сетевые карты, маршрутизаторы, коммутаторы и т. п.) или сетевые серверы имеют в разы большую вычислительную мощность и приоритет обработки, чем рабочие станции, с которых может осуществляться распространение. Как следствие, пакеты ложных DHCP-серверов приходят в подавляющем большинстве медленнее, чем пакеты легальных DHCP-серверов, причем отличие в скорости, согласно результатам практических испытаний<sup>1</sup>, проведенных в ходе работы, составляет не менее двух порядков.

Таким образом, с практической точки зрения использование атаки типа «человек посередине» с помощью воздействия на протокол DHCP носит не просто случайный характер, но является маловероятным событием. Решение данной проблемы и создание гарантированного метода распространения, исключающего вероятностную составляющую, легло в основу текущего исследования.

---

<sup>1</sup> Испытания проводились на профессиональном сетевом оборудовании Cisco/3Com и рабочих станциях уровня среднего предприятия (от 700 до 1000 узлов сети).



#### 4 Метод распространения с помощью атаки «человек посередине» в протоколе DHCP

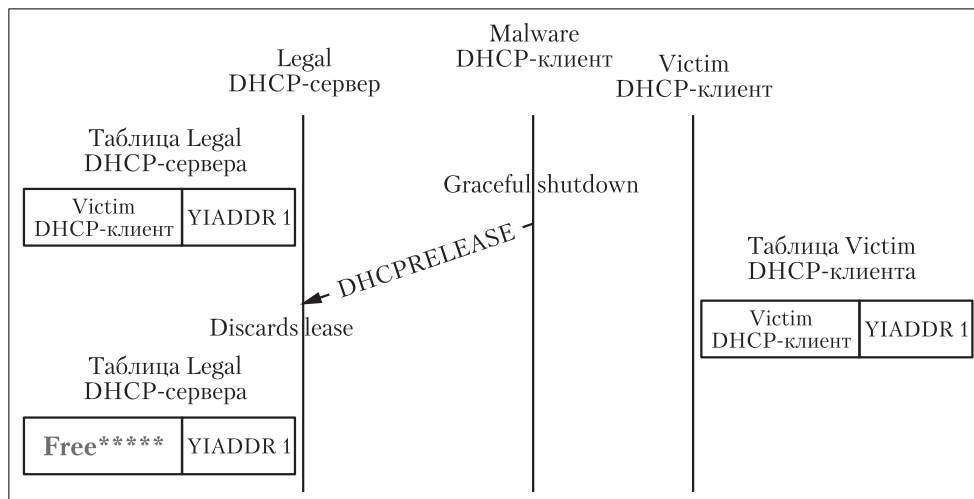
В основу данного метода легли не только рассмотренные свойства протокола DHCP, но и новые свойства. Одним из таких свойств протокола DHCP является отмена аренды сетевого адреса. Пакет отмены посылается от клиента к серверу и называется DHCPRELEASE. С помощью данного пакета клиент в любой момент времени может указать серверу, что освобождает сетевой адрес. Обычно такие пакеты посылаются при выключении сетевых устройств или их перенастройке. В поле YIADDR пакета DHCPRELEASE указывается сетевой адрес, от аренды которого отказывается клиент. Необходимо отметить, что протокол DHCP — это протокол прикладного уровня, который базируется на стеке UDP/IP. Как следствие, любой прикладной процесс с помощью интерфейса сетевых сокетов может осуществить взаимодействие по данному протоколу, т. е. отправку и получение DHCP-пакетов, включая DHCPRELEASE. Злоумышленник может создать пакет с отменой аренды сетевого адреса любого узла сети, что связано с отсутствием возможности авторизации в протоколе DHCP. Решением данной проблемы могло бы стать сопоставление данных, поступающих с различных уровней сетевого стека, например сопоставлением поля источника сетевого адреса в протоколе IP (Internet Protocol) с полем освобождаемого сетевого адреса в протоколе DHCP. Однако такое сопоставление и похожий функционал противоречат основным принципам построения сетевых моделей TCP/IP и OSI (Open Systems Interconnection).

Изложенных выше свойств протокола DHCP достаточно для использования метода гарантированного распространения с помощью атаки «человек посередине» в протоколе DHCP (далее — метод гарантированного захвата DHCP-клиента).

Данный метод предполагает три этапа:

1. *Первый этап* посвящен освобождению адреса целевого узла на легальном сервере DHCP в компьютерной сети. Под *целевым узлом* понимается атакуемый узел сети. Под *адресом целевого узла* понимается сетевой адрес клиента DHCP, на которого направлен вектор атаки. В результате любой узел сети может занять освободившийся адрес, включая узел злоумышленника.
2. *Второй этап* состоит в захвате (аренде) сетевого адреса целевого узла на легальном сервере DHCP, т. е. аренда ложно освободившегося адреса. В результате легальный DHCP-сервер более не может предложить легальному клиенту при подключении его старый адрес, так как он занят.
3. *Третий этап* осуществляет создание ложного DHCP-сервера и отправку ложной конфигурации целевому узлу. При этом в ложной конфигурации содержится старый адрес целевого узла, что ставит предложения от ложного DHCP-сервера в приоритет по сравнению с предложением легального сервера, так как это согласуется с описанием протокола DHCP, приведен-





**Рис. 2** Графическое представление первого этапа

ным в разд. 2. По сути, третий этап повторяет концепцию распространения с помощью атаки «человек посередине» в протоколе DHCP, за исключением случайной составляющей.

Графическое представление этапов работы метода гарантированного захвата DHCP-клиента показано на рис. 2–4.

#### 4.1 Первый этап

На рис. 2 показан первый этап метода гарантированного захвата DHCP-клиента, состоящий из освобождения адреса целевого узла на стороне легального сервера DHCP.

Как показано на рис. 2, легальный сервер DHCP имеет таблицу соответствия между узлами и их сетевыми адресами. После отправки пакета освобождения аренды DHCPRELEASE данный сетевой адрес становится свободным с точки зрения сервера, что выделено на рис. 2 серым цветом. Однако целевой узел по-прежнему считает, что он обладает своим сетевым адресом.

#### 4.2 Второй этап

На рис. 3 показан второй этап метода гарантированного захвата DHCP-клиента, состоящий из аренды адреса целевого узла на стороне легального сервера DHCP.

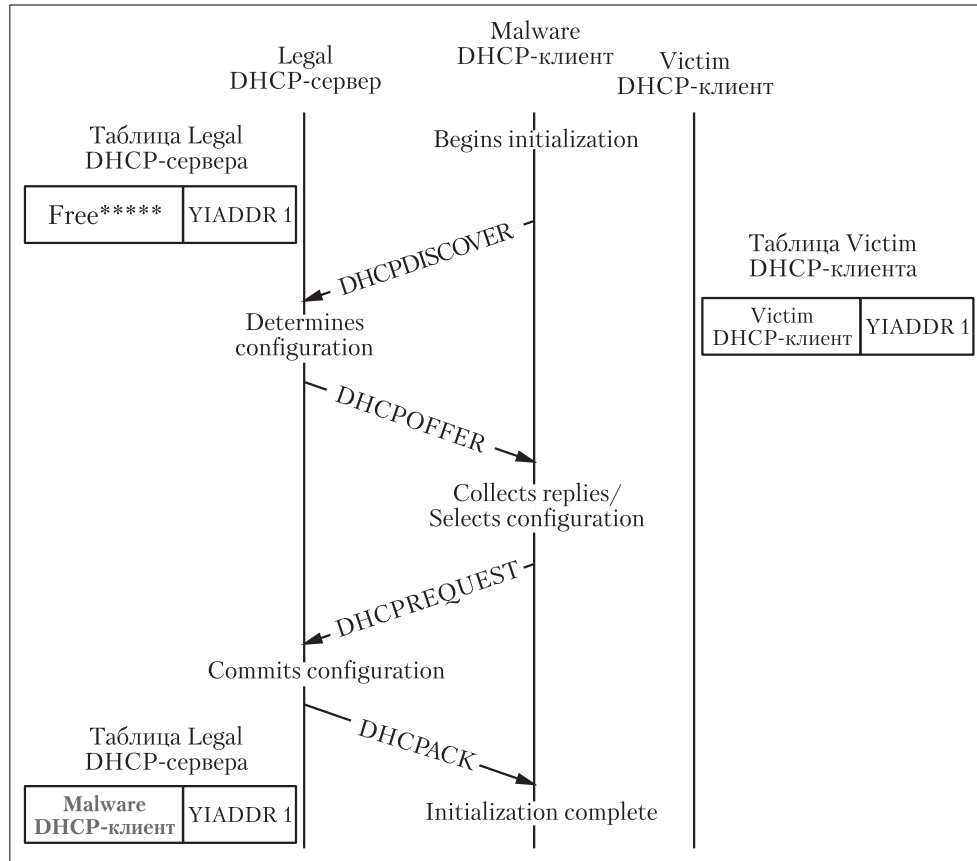


Рис. 3 Графическое представление второго этапа

Как показано на рис. 3, легальный сервер DHCP имеет в начале подключения свободную запись для узла YIADDR 1 в таблице соответствия между узлами и их сетевыми адресами. Затем узел злоумышленника осуществляет подключение к легальному DHCP-серверу и арендует свободный адрес узла YIADDR 1. Изменяется значение в таблице легального DHCP сервера, что выделено на рис. 3 серым цветом. Однако целевой узел по-прежнему считает, что он обладает своим сетевым адресом.

### 4.3 Третий этап

На рис. 4 показан третий этап метода гарантированного захвата DHCP-клиента, состоящий из аренды адреса целевого узла на стороне легального сервера DHCP.

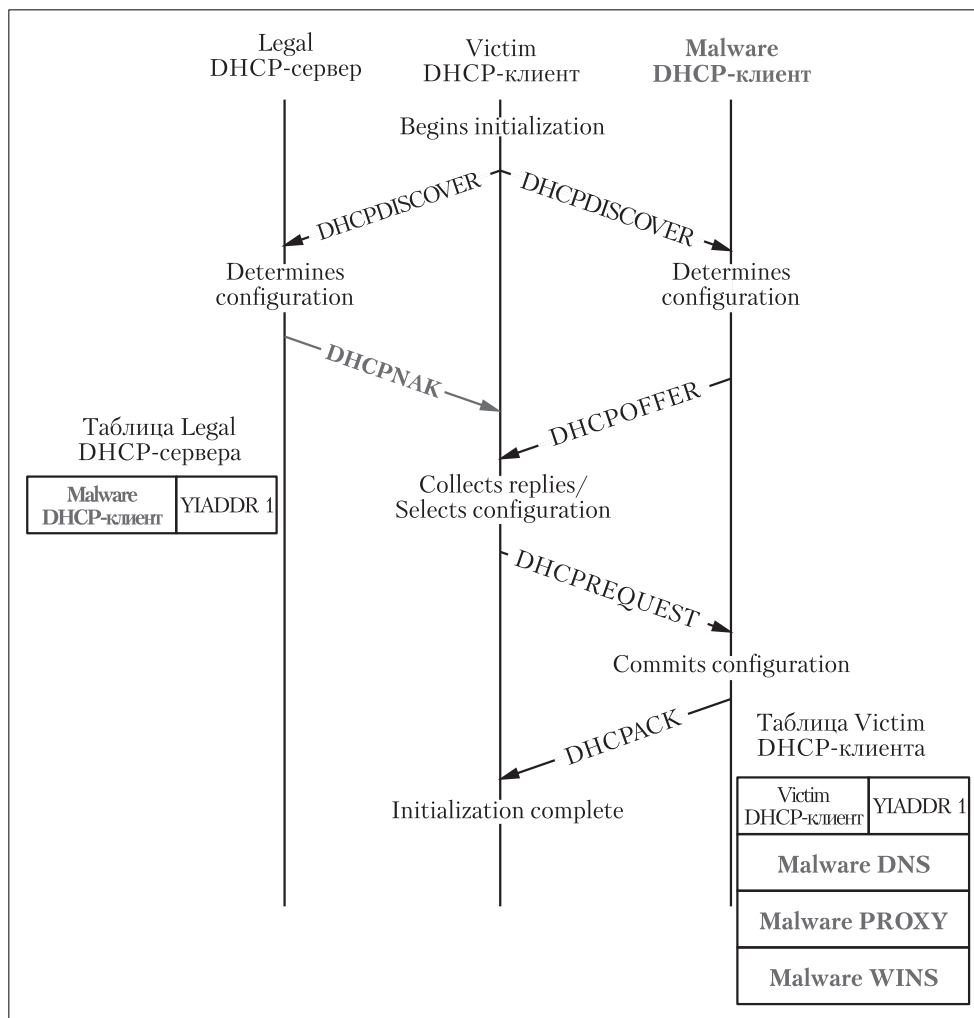


Рис. 4 Графическое представление третьего этапа

Как показано на рис. 4 серым цветом, DHCP-клиент злоумышленника выступает теперь в роли сервера. Легальный DHCP-сервер отвечает при попытке подключения целевого узла пакетом DHCPNAK, который указывает клиенту, что данный адрес уже занят, поскольку в результате второго этапа был арендован адрес целевого узла злоумышленником, как показано на рис. 4 серым цветом. При этом DHCP-сервер злоумышленника предлагает целевому узлу его старый адрес, что является приоритетом в выборе сервера. Целевой узел выбирает

в качестве сервера DHCP-узла злоумышленника, и тот, в свою очередь, предоставляет ложные настройки сетевой конфигурации. Например, предоставляются адреса ложных серверов DNS, PROXY, WINS, что показано на рис. 4 серым цветом. Тем самым организуется возможность реализации атаки типа «человек посередине» на любом из предложенных адресов. Следует отметить, что при таком подходе к захвату DHCP-клиентов отсутствует случайная составляющая, так как нет ситуации соперничества за клиента между легальным и нелегальным DHCP-серверами.

## **5 Заключение**

В данной работе на основании исследования протокола DHCP был разработан новый метод распространения с помощью атаки «человек посередине». Этот метод позволяет осуществить изменение (далее «захват») конфигурации целевого узла. Такое изменение, в свою очередь, позволяет организовать различные атаки типа «человек посередине» на следующие сервисы: DNS, WINS, PROXY, ROUTE и т. д. Принципиальное отличие разработанного метода от существующих заключается в отсутствии вероятностного характера работы, что связано с новым подходом к его организации. Этот подход не базируется на состоянии соперничества между легальным и враждебным DHCP-серверами, а основан на многоэтапном захвате целевого узла. При таком захвате создаются условия, при которых легальный DHCP-сервер не соперничает с враждебным за конфигурацию целевого узла.

В результате проведенных исследований можно сделать следующие выводы: отсутствие функций авторизации в протоколе DHCP дает возможность довольно эффективно реализовывать различные схемы распространения вредоносных программ в компьютерных сетях. Сопоставление данных, получаемых по протоколу DHCP, с данными, получаемыми по протоколу IP, позволяет исключить описанные в настоящий момент в литературе атаки на протокол DHCP и способы распространения, реализуемые с помощью таких атак. Однако такое сопоставление противоречит основным сетевым моделям OSI и TCP/IP.

## **Литература**

1. *Грушо А. А., Тимонина Е. Е.* Распределенные атаки на распределенные системы // *Jet Info*, 2006. № 1. С. 3–14.
2. *Грушо А. А., Грушо Н. А., Тимонина Е. Е.* Методы защиты информации от атак с помощью скрытых каналов и враждебных программно-аппаратных агентов в распределенных системах // *Вестник РГГУ*, 2009. № 10. С. 33–45.
3. *Zolotukhin M., Hamalainen T.* DNS and DHCP spoofing // *TIES327 Network security: Course offered at the Faculty of Information Technology in the autumn semester 2014*. — Department of Mathematical Information Technology, University of Jyvaskyla, 2014.

4. Левыкин М. В. Новые принципы моделирования автономных самораспространяющихся систем // Системы и средства информатики, 2013. Т. 23. № 1. С. 14–26.
5. Al-Hajeri A. DNS spoofing attack: GCIN Practical Assignment version 2.1. — SANS Institute, 2002. 36 p.
6. Левыкин М. В. Новые особенности самораспространяющихся вредоносных программ // Системы и средства информатики, 2011. Т. 21. № 2. С. 69–72.

Поступила в редакцию 02.09.14

---

## THE PROPAGATION METHOD BY MEANS OF AN ATTACK OF THE “MAN-IN-THE-MIDDLE” TYPE IN THE DHCP PROTOCOL

*M. V. Levykin<sup>1</sup>, M. I. Tronenko<sup>1</sup>, and I. V. Shidlovsky-Moskvin<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Institute of Informatics Problems, Russian Academy of Sciences, 44-2 Vavilov Str., Moscow 119333, Russian Federation

<sup>2</sup>Closed Joint Stock Company RNT, 6, 2nd Ostankinskaya Str., Moscow 129515, Russian Federation

**Abstract:** The research of the up-to-date malicious software conducted by the authors detected that one of the main methods of their expansion is the attack to the Dynamic Host Configuration Protocol (DHCP) made in order to organize the “man-in-the-middle” scheme. However, the result of such attack is of probabilistic nature and it depends on the difference between the speeds of response of antagonistic and legal (licensed) DHCP servers. The present paper describes the concept of expansion by means of the “man-in-the-middle” attack in the DHCP protocol and its limitations, imposed by the DHCP protocol. Examination of the DHCP protocol and limitations imposed on the expansion concept in it leads to creation of the new method which executes the attack of the “man-in-the-middle” type. This new method of unavoidable attack on the DHCP protocol excludes the probability of its failure and is the main result of the present research.

**Keywords:** DHCP protocol; man-in-the-middle; local area net (LAN); guaranteed method of propagation; malicious code

**DOI:** 10.14357/08696527140406

### References

1. Grusho, A. A., and E. E. Timonina. 2006. Raspredeleennye ataki na raspredeleennye sistemy [Distributed attacks on distributed systems]. *Jet Info* 1(152):3–14.
2. Grusho, A. A., N. A. Grusho, and E. E. Timonina. 2009. Metody zashchity informatsii ot atak s pomoshch'yu skrytykh kanalov i vrazhdebnykh programmno-apparatnykh agentov v raspredeleennykh sistemakh [Methods of information protection against covert channels in distributed systems].

- attacks and malicious software / hardware agents in distributed systems]. *Vestnik RGGU* [Bulletin of RSUH] 10:33–45.
3. Zolotukhin, M., and T. Hamalainen. 2014. DNS and DHCP spoofing. Department of Mathematical Information Technology, University of Jyväskylä.
  4. Levykin, M. V. 2013. Novye printsiipy modelirovaniya avtonomnykh samorasprostranyayushchikhsya system [New principles of modeling of autonomous self-propagating malware]. *Sistemy i Sredstva Informatiki — Systems and Means of Informatics* 23(1):14–26.
  5. Al-Hajeri, A. 2002. DNS spoofing attack: GCIH Practical Assignment version 2.1. SANS Institute. 36 p.
  6. Levykin, M. V. 2011. Novye osobennosti samorasprostranyayushchikhsya vredonosnykh program [New features of self-propagating malware]. *Sistemy i Sredstva Informatiki — Systems and Means of Informatics* 21(2):69–72.

*Received September 2, 2014*

### **Contributors**

**Levykin Mikhail V.** (b. 1985) — Candidate of Science (PhD) in technology, senior scientist, Institute of Informatics Problems, Russian Academy of Sciences, 44-2 Vavilov Str., Moscow 119333, Russian Federation; de\_shiko@yahoo.com

**Tronenko Maxim I.** (b. 1979) — scientist, Institute of Informatics Problems, Russian Academy of Sciences, 44-2 Vavilov Str., Moscow 119333, Russian Federation; int03h@mail.ru

**Shidlovsky-Moskvin Ivan V.** (b. 1985) — Lead Programmer, Closed Joint Stock Company RNT, 6, 2nd Ostankinskaya Str., Moscow 129515, Russian Federation; ivashi@mail.ru

## ВЛИЯНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ВНЕШНЕЙ ПАМЯТИ СУПЕРКОМПЬЮТЕРНЫХ КОМПЛЕКСОВ НА ВЫПОЛНЕНИЕ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ПРОГРАММ\*

*О. С. Аладышев<sup>1</sup>, Е. А. Киселёв<sup>2</sup>, Г. И. Савин<sup>3</sup>, П. Н. Телегин<sup>4</sup>, Б. М. Шабанов<sup>5</sup>*

**Аннотация:** Рассмотрено использование внешней памяти суперкомпьютерных комплексов (СК). Описаны методы анализа взаимодействия программы с иерархией памяти. Приведена методика исследования профилей взаимодействия параллельных программ с внешней памятью суперкомпьютера. Методика основана на использовании открытого программного обеспечения для мониторинга ресурсов Ganglia и протоколов выполнения системы управления прохождением параллельных заданий (СУППЗ). С помощью разработанной методики были собраны и проанализированы профили задач пользователей Межведомственного суперкомпьютерного центра (МСЦ) РАН. Приводимые приложения выбирались таким образом, чтобы показать все разнообразие схем ввода–вывода в заданиях пользователя. Приведены результаты исследований профилей программ пользователей, выполнявшихся на СК МВС-100К, установленном в МСЦ РАН. Рассмотрена классификация программ по характеру взаимодействия с внешней памятью, приведена статистика. Описаны основные проблемы использования внешней памяти СК.

**Ключевые слова:** суперкомпьютеры; профилирование параллельных программ; внешняя память; операции ввода–вывода

**DOI:** 10.14357/08696527140407

### 1 Введение

Развитие современных СК характеризуется высоким темпом роста производительности, которая повышается двукратно за 18 мес., и этот темп не снижается на протяжении многих лет. В современных кластерных вычислительных системах (КВС) количество вычислительных узлов (ВУ) доходит до десятков и сотен тысяч, а число процессорных ядер одного узла — до тысячи.

Спектр выполняющихся на СК параллельных программ довольно широк: от чисто вычислительных, где объем входных и выходных данных пренебрежи-

---

\* Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации, государственный контракт № 14.514.11.4102.

<sup>1</sup> Межведомственный суперкомпьютерный центр Российской академии наук, Aladyshev@jsgc.ru

<sup>2</sup> Межведомственный суперкомпьютерный центр Российской академии наук, Kiselev@jsgc.ru

<sup>3</sup> Межведомственный суперкомпьютерный центр Российской академии наук, Savin@jsgc.ru

<sup>4</sup> Межведомственный суперкомпьютерный центр Российской академии наук, Telegin@jsgc.ru

<sup>5</sup> Межведомственный суперкомпьютерный центр Российской академии наук, Shabanov@jsgc.ru

мо мал и вычисления не выходят за рамки оперативной памяти ВУ, до задач параллельной обработки больших массивов данных [1]. На время выполнения параллельных программ существенное влияние оказывает медленная работа внешней памяти суперкомпьютера [2], поэтому при проектировании современных систем хранения (СХ) данных важно учитывать профили взаимодействия программ с внешней памятью.

## 2 Методы определения профилей взаимодействия программ с внешней памятью в суперкомпьютерных комплексах

В настоящее время известно несколько методов анализа взаимодействия программы с иерархией памяти:

- (1) *на основе данных о работе программы, полученных от пользователя.* При использовании данного метода пользователь предоставляет профиль взаимодействия программы с памятью в виде обобщенной блок-схемы или алгоритма, отражающих основные этапы выполнения параллельной программы;
- (2) *на основе результатов профилирования и трассировки.* Профиль параллельной программы строится на основе данных, подготовленных программными средствами профилирования и трассировки;
- (3) *на основе данных мониторинга коммуникационных и вычислительных ресурсов вычислительной системы (ВС).* Профиль взаимодействия параллельной программы с памятью строится на основе данных, полученных от специализированных средств мониторинга состояния вычислительных и коммуникационных ресурсов суперкомпьютера.

Первый метод является достаточно трудоемким, поскольку требует непосредственного участия пользователя при анализе исходных текстов программы, а также менее точным, так как пользователь может допускать ошибки при построении профиля взаимодействия программы с памятью.

При использовании второго метода для анализа профиля взаимодействия программы с памятью могут применяться различные средства профилирования и трассировки, которые входят как в состав систем разработки программ (Intel Trace Analyzer and Collector, GNU Gprof Profiler, IBM X-Windows Performance Profiler), так и распространяются отдельно (VampirTrace, TAU Performance System, MPI Parallel Environment). Результаты профилирования и трассировки параллельных программ могут обрабатываться пользователем вручную или с использованием средств визуализации, таких как *Upshot*, *Jumpshot*, *Paraprof 3D Profiler*, *Vampir*. Подобные средства могут быть использованы для построения профиля параллельной программы на основе анализа временных диаграмм, графов межпроцессорных обменов и вызовов функций. При таком подходе требуется участие пользователя, однако характеристики информационного графа



являются более точными. В работе [3] на основе данных профилирования и трассировки проводилась оценка использования коммуникационных операций в MPI (message passing interface) приложениях. Часто результаты трассировки используются и для анализа алгоритмов работы многопоточных приложений. Данный метод применяется для анализа параллельных программ, выполняющихся на небольшом количестве процессоров (как правило, не превышающих нескольких десятков). Для программ с большим числом процессоров применение данного метода становится весьма трудоемким процессом.

Третий метод, как и второй, позволяет автоматизировать процесс сбора информации, необходимой для построения профиля взаимодействия программы с памятью. В то же время требуется наличие специализированных аппаратно-программных средств для вычислительного комплекса. Подобные средства разрабатываются строго для определенного коммуникационного и вычислительного оборудования и зачастую недоступны конечному пользователю, выполняющему вычисления на ресурсах многопроцессорной вычислительной системы (МВС). В качестве примера можно привести средства мониторинга сетей InfiniBand в режиме реального времени InfiniScope Cluster Analysis Tool компании Microway и Ibdump компании Mellanox. Среди отечественных продуктов можно выделить программный комплекс сбора статистических данных LAPTA, разработанный лабораторией параллельных информационных технологий Научно-исследовательского вычислительного центра Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова. Программный комплекс позволяет исследовать взаимодействие программы с памятью суперкомпьютера, однако требует большого числа предустановленных программных пакетов сторонних разработчиков и в настоящее время ориентирован исключительно на системы управления прохождением заданий CLEO или Slurm.

К числу доступных программных средств, распространяемых в открытых исходных текстах и обладающих менее жесткими требованиями, можно отнести средство мониторинга коммуникационной среды и вычислительных ресурсов Ganglia. Ganglia — масштабируемая распределенная система мониторинга, предназначенная для ВС с высокой производительностью, таких как кластеры и системы распределенных вычислений [4]. Она основана на иерархической архитектуре, рассчитанной на интеграцию кластеров. В Ganglia применяются широко используемые технологии, такие как XML (eXtensible Markup Language, расширяемый язык разметки) для представления данных, XDR (External Data Representation, внешнее представление данных) для компактной мобильной передачи данных и RRDtool (набор утилит для работы с RRD — Round-Robin Database, циклической базой данных) для хранения и визуализации данных. В системе мониторинга сведена к минимуму нагрузка на ВУ средств сбора статистики и обеспечена высокая степень параллелизма. Реализация отличается высокой устойчивостью, адаптирована ко многим различным операционным системам (ОС) и процессорным архитектурам. В настоящее время Ganglia уже работает в тысячах кластеров во всем мире.

К недостаткам данного программного продукта можно отнести следующее: Ganglia не предоставляет сведений о том, какие программы и в течение какого времени выполнялись на ВУ суперкомпьютера.

Сведения о том, какие параллельные программы выполнялись, на каких ВУ и в течение какого времени, могут быть получены средствами системы управления прохождением заданий.

### 3 Методика определения профилей взаимодействия программ с иерархией памяти в суперкомпьютерных комплексах

С помощью открытого программного обеспечения Ganglia можно собирать различную статистику о работе КВС. На рис. 1 показана динамика использования оперативной памяти ВУ. Можно заметить, например, что задача, обслуживавшаяся примерно в 3 часа дня, использовала больше памяти, чем доступно на ВУ, и система перенесла часть памяти на локальный диск, что существенно замедлило выполнение программы, если не привело к отказу. Но в данной работе гораздо

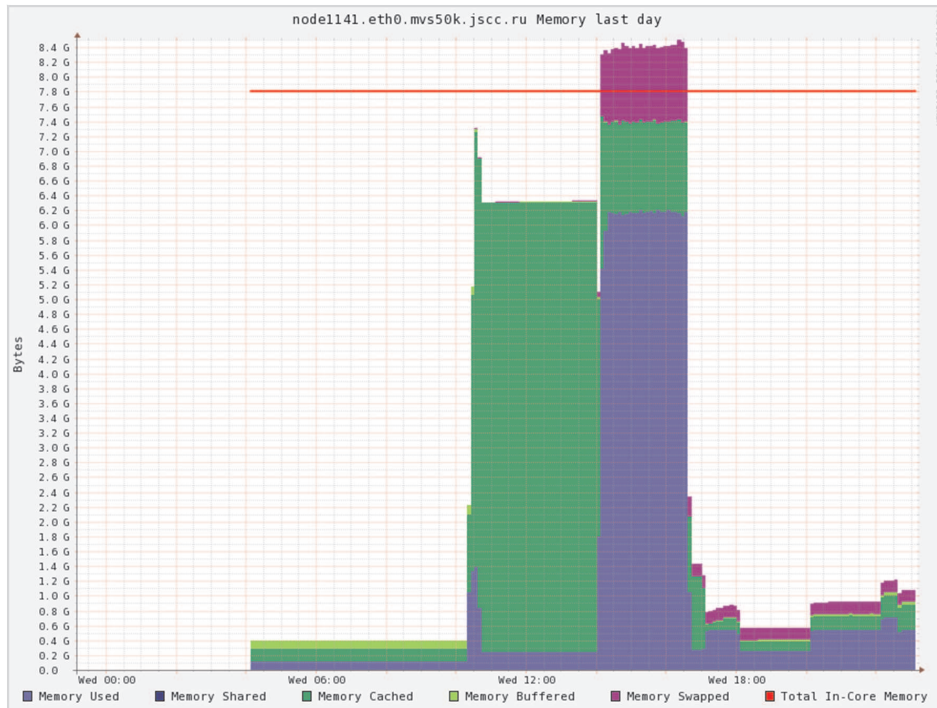
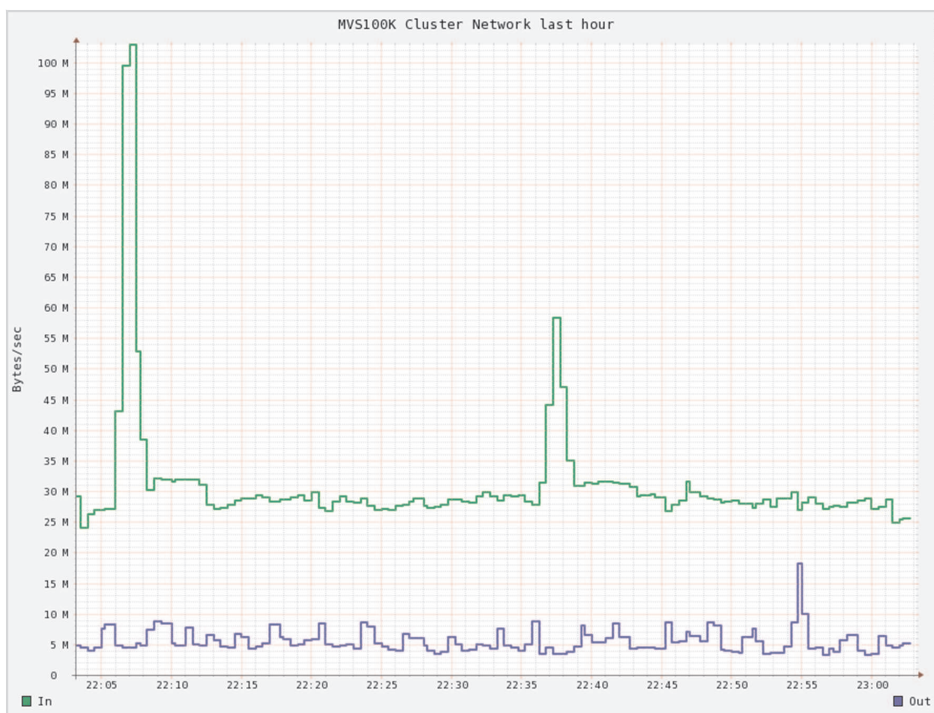


Рис. 1 Использование оперативной памяти ВУ № 1141 за последние сутки



**Рис. 2** Использование сетевых интерфейсов транспортной (файловой) сети во всем КВС за последний час

большой интерес представляет использование внешних систем хранения данных (ВСХД), а для этого необходимо собирать статистику и на сетевом интерфейсе, по которому подключена ВСХД, исключая другой, не относящийся к делу трафик.

На рис. 2 показана статистика использования интерфейсов транспортной сети всей КВС. Можно заметить, что в период 22:06–22:08 было активное чтение с ВСХД. Необходимо из всех ВУ выделить те узлы, которые создавали эту активность. Далее по журналу очереди задач определить задачу, которая выполнялась на этих узлах в это время, и выделить профили использования сетевых интерфейсов транспортной сети указанных ВУ в указанном в протоколе промежутке времени.

Методика определения профиля взаимодействия программы с памятью состоит в последовательном выполнении 5 этапов.

**Этап 1.** Выбрать выполняющуюся на ВС параллельную программу, использующую ВСХД.

- Этап 2.** Зафиксировать паспортные характеристики выполняющейся программы, а именно: имя программы, время ее работы, число параллельных процессов, количество использованных ВУ, номера ВУ. Выделить ВУ, на котором выполняется параллельная ветка с номером 0. Для вычислительных комплексов МСЦ РАН характеристики могут фиксироваться СУППЗ [5], либо очередь заданий, либо через журналы `qserv.log`, либо через веб-интерфейс наблюдения за состоянием очереди, либо через терминальную консоль командой СУППЗ `mqinfo`.
- Этап 3.** Определить ВСХД, с которой взаимодействовала выбранная программа через сеть суперкомпьютера. Для каждого пользовательского проекта в МСЦ РАН задается привязка к строго определенной СХ и даже директории, что позволяет определить СХ, с которой взаимодействовала программа. Более точно определить СХ позволяют средства мониторинга самих СХ. В МСЦ РАН это средства ОС NetApp OnTap, установленной на узлах ввода-вывода, средства параллельной файловой системы GPFS (General Parallel File System). Зачастую задание использует транспортную сеть, предназначенную только для ввода-вывода с ВСХД, для обмена данными между процессами задачи. Такой трафик легко отделить на этом этапе, так как обычно доступ к ВСХД проводится по стандартным программным сетевым портам. К примеру, NFS (Network File System) — это порт № 2049.
- Этап 4.** На основе паспортных характеристик выполненной программы, а именно: времени начала и конца исполнения, списка ВУ и распределения параллельных процессов по ВУ, — выделить из базы статистических данных, собираемых системой Ganglia, профиль использования сетевого интерфейса, по которому производится доступ к ВСХД. Убедиться в том, что данный интерфейс используется только для обмена данными с СХ, можно с помощью средств самих СХ или по профилю для всей КВС. Если графики «in» и «out», как на рис. 3, где на левом графике показано количество передаваемой и получаемой информации, а на правом — частота сетевых передач пакетов, близки друг к другу, то сеть использовалась в качестве коммуникационной сети, т. е. для обмена данными между параллельными процессами. Для более детального анализа можно также выделить профиль использова-

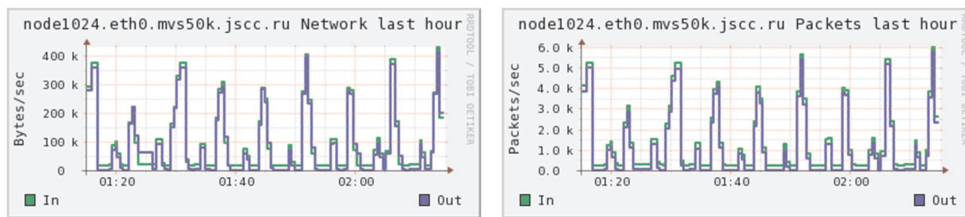


Рис. 3 Профиль использования интерфейса транспортной сети

ния оперативной памяти ВУ, процессорных элементов, коммуникационной сети обмена данными между параллельными процессами. Но самый надежный способ отсеять ненужный трафик — сделать это на предыдущем этапе, собирая статистику только по определенному программному порту.

**Этап 5.** По выделенным профилям определить тип и длительность операций ввода–вывода, стадии выполнения операций, их взаимосвязь между собой, взаимосвязь объема производимых операций с объемом занимаемой оперативной памяти и объемами передаваемых данных между параллельными процессами программы.

#### **4 Сбор и анализ профилей взаимодействия параллельных программ с памятью суперкомпьютера**

С помощью разработанной методики были собраны профили задач пользователей МСЦ РАН. Приводимые приложения выбирались таким образом, чтобы показать все разнообразие схем ввода–вывода в заданиях пользователя.

По отношению к характеру взаимодействия с внешней памятью все приложения можно поделить на несколько групп.

Первая и самая большая группа — это те приложения, где выделен один процесс или один ВУ для организации ввода–вывода. Подход уходит своими корнями глубоко в историю, когда суперкомпьютеры имели только общую память. Проблемы ввода–вывода одного узла хорошо изучены, основная из них — это проблема масштабируемости: пределом для производительности ввода–вывода в кластерных СК является пропускная способность сетевого интерфейса ВУ, производительность же СХ кластерного СК обычно в разы больше. Для данной работы первая группа не представляет большого интереса, если для защиты от сбоя не требуется записывать контрольные точки, но тогда эти приложения скорее будут причислены к другим группам. Хотя в СК коллективного пользования может одновременно выполняться несколько таких приложений, по статистике они редко пересекаются по времени в операциях ввода–вывода. Насколько редко? Чтобы ответить точно, необходимо разработать СХ с элементами мониторинга и статистики операций ввода–вывода в СК по результатам данной работы. Пример профиля параллельной программы из первой группы приведен на рис. 4.

При выполнении программы управляющий процесс приложения на узле node791 осуществляет однократное обращение к внешней памяти с операцией записи (out) (рис. 4, а). Здесь и далее номера ВУ определялись через доступную пользователю информацию на веб-странице (<http://head.mvs50k.jssc.ru>). При выполнении операций записи данных во внешнюю память значительного снижения вычислительной нагрузки на центральный процессор узла не наблюдается. Процессы, размещенные на узле node792, с внешней памятью не взаимодействуют и не оказывают никакой вычислительной нагрузки на процессоры узла



Рис. 4 Профиль взаимодействия приложения первого типа с внешней памятью

(рис. 4, б), что говорит о том, что запуск задания произведен без предварительной оптимизации распределения по ресурсам.

Во вторую группу выделим приложения, в которых операции ввода–вывода производят все параллельные процессы. Доминирующая часть этой группы та, в которой ввод–вывод синхронизирован между собой, т. е. однотипные опера-



ции проводятся одновременно. К этой же группе причисляются и приложения, для которых необходимо делать контрольную точку, т. е. записывать временные результаты или промежуточное состояние памяти процессов с некоторой периодичностью. Период обычно определяется исходя из профиля приложения, выполняющегося на определенном вычислительном комплексе. При этом учитывается вероятность сбоя одного модуля в системе, время выполнения контрольной точки, время выполнения всей программы. Можно с уверенностью сказать, что характер ввода–вывода в приложениях этой группы ярко выраженный и его можно имитировать программой-тестом. Отдельно необходимо имитировать проблему контрольной точки, так как именно установка контрольной точки в программе и есть основная проблема ввода–вывода в современных и перспективных суперкомпьютерах. Профиль приложения второго типа приведен на рис. 5.

На рис. 5 демонстрируется два ВУ (node1130 и node1131) из 56, определенных системой управления заданиями приложению. На остальных узлах профили имеют схожий характер.

При выполнении задания процессы на всех выделенных ВУ с заданной периодичностью обращаются к внешней памяти для записи данных. При средней нагрузке сети в период ввода–вывода в 1,2 МБ/с частота пакетов составляет  $\sim 140$  пакет/с, т. е. размер сетевого пакета максимальный (MTU (maximum transmission unit) сети 9000). Это позволяет сделать вывод, что размер операции ввода–вывода достаточно большой.

Во время работы с ВСХД наблюдается значительное снижение вычислительной нагрузки на процессоры всех узлов. Это значит, что программист не воспользовался механизмом «отложенная запись», а ждет завершения операций вывода и теряет на этом около двух минут из десяти (20% эффективности).

Подобность профилей всех ВУ позволяет сделать вывод о том, что конфликтов операций записи между процессами нет, т. е. программист позаботился о независимости данных и об отсутствии накладных расходов совместного доступа к данным.

На основе разработанной методики были определены базовые профили взаимодействия суперкомпьютерных приложений с иерархией памяти, показывающие реальную картину использования памяти в суперкомпьютерах. Это позволило классифицировать параллельные приложения по отношению к вводу–выводу и разработать программы-имитаторы рабочей нагрузки.

Саму методику можно автоматизировать, создав соответствующую программную систему сбора статистических данных. Но такая статистика мало что дает: непонятно, как использовать усредненные значения для анализа проблем и узких мест программы для рассматриваемого вычислительного комплекса. В представленном виде методика позволяет разбирать профиль приложения на лету, т. е. во время выполнения, и самому пользователю, что увеличивает ее ценность.

Время выполнения задания пользователя на СК кластерного типа напрямую зависит от характеристик внешней памяти для всех классов задач. Задание

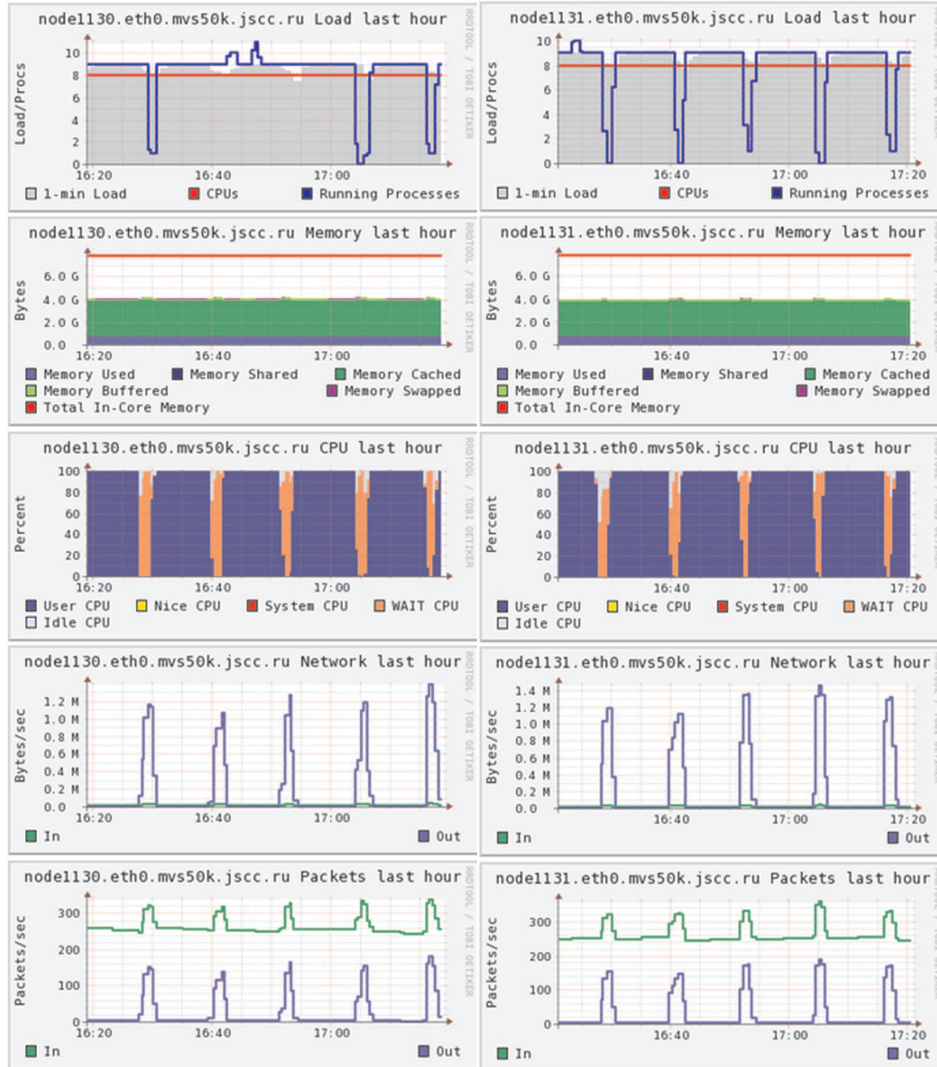


Рис. 5 Профиль взаимодействия приложения второго типа с внешней памятью

пользователя — это скомпилированная параллельная программа одного из трех классов: чисто вычислительные задачи — это задачи, где ввод–вывод ограничивается несколькими мегабайтами данных (задача подбора ключа); вычислительные задачи, использующие внешнюю память для ввода начальных данных или записи конечных или промежуточных результатов работы существенных объемов, измеряемых в сотнях мегабайт и более (к ним относятся задачи линейной алгебры);



задачи обработки больших массивов данных. Некоторые, как, например, чисто вычислительные задачи, слабо зависят от производительности СХ, а некоторые, такие как задачи обработки больших массивов данных, — сильно.

По статистике, самое многочисленное представительство решаемых задач — чисто вычислительные задачи (более 55%). В исследуемых СК не практикуется системная контрольная точка, пользователь сам решает, сохранять промежуточные результаты или нет. Иначе характеристики производительности ВСХД, на которую происходит запись системной контрольной точки, сильно влияли бы на время выполнения заданий. Это влияние было бы сравнимо с влиянием на 2-й класс задач — вычислительных (более 40% задач).

## 5 Заключение

Актуальной задачей является разработка принципов организации внешней памяти для КВС общего пользования, применяемых для решения различных задач современной науки.

Проблему создания контрольной точки можно назвать основной для внешней памяти кластерного СК. Актуальность поиска эффективного решения проблемы повышается по мере развития суперкомпьютерных технологий, так как многократно увеличивается число узлов в комплексе и падает надежность вычислений. Ускорение сохранения контрольных точек может оказать значительный эффект на время выполнения параллельных программ.

Другая значимая проблема — массовый параллельный ввод данных, хотя время, затрачиваемое на этот процесс, в десятки раз меньше, чем на создание контрольной точки.

При создании внешней памяти кластерного СК не стоит забывать и о проблемах параллельных программ, которые используют лишь один параллельный процесс для ввода-вывода. Для таких программ предел скорости обмена данными с внешней памятью равен минимуму из максимальной производительности сетевого канала ВУ, на котором работает процесс ввода-вывода, и производительности СХ.

С использованием разработанной методики были построены для параллельных программ пользователей МСЦ РАН профили взаимодействия с памятью СК МВС-100К.

Полученные данные позволяют строить классификацию параллельных программ СК, определять схемы взаимодействия параллельных программ с внешней памятью, что актуально при создании новых СХД.

## Литература

1. Шабанов Б. М., Телегин П. Н., Аладышев О. С. Особенности использования многоядерных процессоров // Программные продукты и системы, 2008. № 2. С. 7–9.

2. *Аладышев О. С., Шабанов Б. М.* Параллельная кластерная файловая система для высокопроизводительных вычислительных систем // Программные продукты и системы, 2007. № 2. С. 8–14.
3. *Киселёв Е. А.* Построение информационного графа параллельной программы на основе данных профилирования и трассировки // Научный сервис в сети Интернет: экзафлопное будущее: Тр. Междунар. суперкомпьютерной конф. — М.: МГУ, 2011. С. 541–546.
4. Ganglia Monitoring System. <http://ganglia.sourceforge.net>.
5. *Баранов А. В., Лацис А. О., Храмов М. Ю., Шарф С. В.* Руководство системного программиста (администратора) системы управления прохождением задач МВС-1000/М (версия 2.01). — М., 2003. 64 с. <http://www.jssc.ru/informat/1000MPrgGuide.zip>.

*Поступила в редакцию 10.11.13*

---

---

## **INFLUENCE OF EXTERNAL MEMORY FEATURES OF SUPERCOMPUTERS ON PARALLEL PROGRAMS EXECUTION**

*O. S. Aladyshev, E. A. Kiselev, G. I. Savin, P. N. Telegin, and B. M. Shabanov*

Joint Supercomputer Center (JSCC), Russian Academy of Sciences, 32a Leninsky  
Prosp., Moscow 119991, Russian Federation

**Abstract:** The article considers usage of external memory in supercomputers. Methods of analysis of program interaction with memory hierarchy are described. The article provides a technique to study the profiles of parallel programs with external memory supercomputer interaction. The technique is based on the use of the Ganglia open source resource monitoring software and logs of the SUPPZ batch system. The developed technique was used for collection and analysis of JSCC users' jobs profiles. The applications were chosen to illustrate the variety of input–output patterns in the user's job. The article presents the results of studying users' programs profiles, which were collected on the MVS-100K supercomputer installed in JSCC RAS. Program classification based on the patterns of interaction with external memory is considered, statistics are presented. The key problems of using the external memory supercomputer system are described.

**Keywords:** supercomputers; profiling of parallel programs; external memory; I/O operations

**DOI:** 10.14357/08696527140407

### **Acknowledgments**

The work was financially supported by the Ministry of Education and Science of the Russian Federation (State contract No. 14.514.11.4102).

## References

1. Shabanov, B. M., P. N. Telegin, and O. S. Aladyshev. 2008. Osobennosti ispol'zovaniya mnogoyadernykh protsessorov [Features of use of multicore processors]. *Programmnye Produkty i Sistemy* [Software & Systems] 2:7–9.
2. Aladyshev, O. S., and B. M. Shabanov. 2007. Parallelnaya klaster'naya faylovaya sistema dlya vysokoproizvoditel'nykh vychislitel'nykh sistem [Parallel cluster file system for high performance computing]. *Programmnye Produkty i Sistemy* [Software & Systems] 2:8–14.
3. Kiselev, E. A. 2011. Postroenie informatsionnogo grafa parallel'noy programmy na osnove dannykh profilirovaniya i trassirovki [Building information graph of a parallel program based on data profiling and tracing]. *Tr. Mezhdunar. Superkomp'yuternoy Konf. "Nauchnyy Servis v Seti Internet: Ekzaflopsnoe Budushchee"* [Scientific Service in the Internet: Exaflop Future. Supercomputing Conference (International) Proceedings]. Moscow: MGU. 541–546.
4. Ganglia Monitoring System. Available at: <http://ganglia.sourceforge.net> (accessed October 13, 2013).
5. Baranov, A. V., A. O. Latsis, M. Yu. Khramtsov, and S. V. Sharf. 2003. Rukovodstvo sistemnogo programmista (administratora) sistemy upravleniya prokhozhdeniem zadach MVS-1000/M. Versiya 2.01. [SUPZ batch system for MVS-1000. System programmer's (administrator) guide. Version 2.01]. 64 p. Available at: <http://www.jssc.ru/informat/1000MPrgGuide.zip> (accessed October 13, 2013).

Received November 10, 2013

## Contributors

**Aladyshev Oleg S.** (b. 1970) — Candidate of Science (PhD) in technology; Head of Department, Joint Supercomputer Center, Russian Academy of Sciences, 32a Leninsky Prosp., Moscow 119991, Russian Federation; Aladyshev@jssc.ru

**Kiselev Eugeny A.** (b. 1987) — Candidate of Science (PhD) in technology; researcher, Joint Supercomputer Center, Russian Academy of Sciences, 32a Leninsky Prosp., Moscow 119991, Russian Federation; Kiselev@jssc.ru

**Savin Gennady I.** (b. 1948) — Academician of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Science in physics and mathematics, Professor; Director, Joint Supercomputer Center, Russian Academy of Sciences, 32a Leninsky Prosp., Moscow 119991, Russian Federation; Savin@jssc.ru

**Telegin Pavel N.** (b. 1960) — Candidate of Science (PhD) in technology; head of department, Joint Supercomputer Center, Russian Academy of Sciences, 32a Leninsky Prosp., Moscow 119991, Russian Federation; Telegin@jssc.ru

**Shabanov Boris M.** (b. 1954) — Candidate of Science (PhD) in technology, associate professor; Deputy Director, Joint Supercomputer Center, Russian Academy of Sciences, 32a Leninsky Prosp., Moscow 119991, Russian Federation; Shabanov@jssc.ru

## НАСТРАИВАЕМАЯ СХЕМА КОДИРОВАНИЯ СИМВОЛОВ ПЕРЕМЕННЫМ ЧИСЛОМ ОКТЕТОВ — ACE

*И. М. Адамович*<sup>1</sup>, *Д. В. Земсков*<sup>2</sup>

**Аннотация:** Описывается предложенная авторами настраиваемая схема кодирования символов переменным числом октетов (Adjustable Character Encoding, ACE), поддерживающая кодировку полного диапазона кодовых пунктов UCS (Universal Coded Character Set, ISO/IEC 10646) в виде последовательностей от одного до четырех октетов (8-битных кодирующих элементов). Основной целью разработки этой кодировки являлось увеличение, по сравнению с UTF-8 (Unicode Transformation Format, 8-bit), допустимого количества кодовых пунктов, кодируемых однооктетной последовательностью, что дает возможность более компактного представления текстов, написанных с использованием символов избранного национального алфавита, а также возможность сохранения при кодировании бинарного представления символов такого алфавита, совпадающим с их числовыми значениями в однобайтной таблице символов. Данная кодировка сохраняет такие свойства кодировки UTF-8, как отсутствие состояния (кодированное представление символа не зависит от значений предыдущих символов), самосинхронизация (ни одна из допустимых кодированных последовательностей не может присутствовать внутри другой, а также внутри любых нескольких смежных последовательностей, пересекая границу последовательностей) и возможность нахождения начала или конца последовательности, кодирующей символ, в любом месте кодированного текста.

**Keywords:** информатика; схема символьного кодирования; UCS; локализация программ; UTF-8

**DOI:** 10.14357/08696527140408

### 1 Термины и определения

*Байт (byte)* — единица хранения и обработки цифровой информации на компьютере. Имеет числовое значение от 0 до некоторого определенного архитектурой компьютера значения.

*Октет (octet)* — байт, имеющий диапазон значений от 0 до 255.

*Символ (character)* — один из множества элементов, используемых для организации, управления или представления текстовых данных.

---

<sup>1</sup>Институт проблем информатики Российской академии наук, adam@amsd.com

<sup>2</sup>Институт проблем информатики Российской академии наук, dima@amsd.com

*Кодовый пункт* — значение, присвоенное символу в кодовом пространстве UCS.

*Кодовый элемент ACE* (*code unit*, далее — элемент) — октет, использующийся в схеме кодирования символов ACE.

*Группа элементов  $L$ ,  $M$ ,  $N$  или  $T$*  — одно из непересекающихся подмножеств множества всех элементов.

*Индекс элемента группы  $L$ ,  $M$ ,  $N$  или  $T$*  — целочисленное значение в диапазоне от 0 до числа элементов группы минус 1, присвоенное каждому элементу соответствующей группы таким образом, что элементам с меньшими бинарными значениями соответствуют меньшие индексы.

*Инвариантный к системе кодирования элемент* — элемент, являющийся кодовым словом длины 1, кодирующим символ, который, будучи представлен в этой (однобайтной) системе кодирования, имеет числовое значение, совпадающее с числовым значением данного элемента.

*Зарезервированный элемент* — инвариантный к системе кодирования ASCII элемент.

*Кодовое слово ACE* (*code unit sequence*, далее — кодовое слово) — последовательность от 1 до 4 элементов, определяющая кодовый пункт.

*Лексикографическое старшинство одного из двух кодовых слов над другим* определяется нахождением первой пары неодинаковых элементов из каждого слова, находящихся на минимальном одинаковом расстоянии от начала содержащего их слова; при наличии такой пары лексикографическое старшинство имеет кодовое слово, которому принадлежит элемент с меньшим бинарным значением. При отсутствии такой пары лексикографически более старшим считается слово, содержащее меньшее количество элементов. Если количество элементов одинаково, лексикографическое старшинство не определено.

*Лексикографический порядок кодовых слов* — взаимное расположение слов, для которых определено лексикографическое старшинство, таким образом, что любое лексикографически более старшее слово предшествует менее старшему.

*Индекс кодового слова длины 1, 2, 3 или 4* — целочисленное значение в диапазоне от 0 до числа кодовых слов соответствующей длины минус 1, присвоенное каждому кодовому слову данной длины таким образом, что лексикографически более старшим словам соответствуют меньшие индексы.

*Кодирование* — преобразование кодового пункта в кодовое слово.

*Декодирование* — преобразование кодового слова в кодовый пункт.

*Множество кодовых пунктов, кодируемых кодовым словом длины 1*, — упорядоченный по возрастанию значений набор уникальных кодовых пунктов, кодируемых одноэлементной последовательностью.

*Множество кодовых пунктов, кодируемых кодовым словом длины 2*, — упорядоченный по возрастанию значений набор уникальных кодовых пунктов, кодируемых двухэлементной последовательностью.

## 2 Введение

Алфавиты большинства языков мира, включая русский, в которых набор символов не является подмножеством латинских символов, имеют восьмибитную кодировку, в которой отличные от латинских символы расположены в верхней части кодовой таблицы (коды  $80_{\text{hex}}\text{--}FF_{\text{hex}}$ ). При необходимости использования наряду с символами, определенными в такой кодировке, отсутствующих в ней символов единственным стандартизированным способом является представление символов в UCS [1], где каждому символу соответствует 16-битное целочисленное значение, что требует в 2 раза больше места, чем восьмибитная кодировка. Использование кодирования UTF-8 [2] для таких алфавитов не приводит к уменьшению размера кодированных символов национальных алфавитов, поскольку в UTF-8 только символы с кодами  $0_{\text{hex}}\text{--}7F_{\text{hex}}$  кодируются одним октетом. Однако использование UTF-8 часто необходимо по другим причинам, таким как совместимость с существующими программными интерфейсами (API — application programming interface), работающими с восьмибитными кодировками.

Основной целью создания кодировки ACE являлось увеличение, по сравнению с UTF-8, количества однооктетных кодированных символов с сохранением большинства свойств, присущих UTF-8:

1. В UTF-8 октеты с числовым значением в диапазоне 0–127 кодируют символы UCS, имеющие в ASCII (American Standard Code for Information Interchange) то же числовое значение. Такие октеты больше не присутствуют ни в одной кодированной последовательности [3] для других символов. В ACE октеты, из которых будут состоять одноэлементные кодовые последовательности, и кодируемые ими символы UCS задаются при настройке кодировки, что позволяет, к примеру, сделать некоторые символы избранной таблицы восьмибитной кодировки не изменяющимися при кодировании. В ACE такие октеты, так же как и в UTF-8, в кодированной последовательности для других символов не используются.
2. Кодировка UTF-8 является самосинхронизирующейся: ни одна из допустимых кодированных последовательностей не может присутствовать внутри другой, а также внутри любых нескольких смежных последовательностей (пересекая таким образом границу последовательностей). Благодаря этому существует возможность использования байт-ориентированных алгоритмов поиска строк. Вышесказанное справедливо и для кодировки ACE.
3. В UTF-8 границы кодированных символов могут быть легко распознаны поиском четко определенных битовых масок в любом направлении. При потере или порче байтов можно определить начало следующего разрешенного кодированного символа и продолжить обработку текста. В ACE алгоритм поиска границы кодированных символов включает в себя возможную необходимость анализа нескольких соседних октетов, но также является достаточно тривиальным.

В данной статье дается спецификация (набор правил) преобразования любого целого числа в диапазоне от 0 до 1 114 111 в последовательность чисел в диапазоне от 0 до 255 длиной от 1 до 4 и обратного преобразования.

Главной целью разработки данной спецификации является возможность ее применения для кодирования/декодирования любого символа UCS по присвоенному ему стандарту числовому значению в последовательность байтов переменной длины аналогично UTF-8, но допускающей, в отличие от UTF-8, кодирование большего количества символов одним байтом, что имеет значение при использовании символов, отсутствующих в кодировке ASCII (символов национальных алфавитов).

### 3 Формы символьного кодирования

*Символьная строка* — последовательность байтов, кодирующая последовательность символов, каждый из которых представлен одним или несколькими смежными байтами, значения которых определяются системой кодирования символов. Наиболее распространенной системой кодирования символов является ASCII, которая определяет соответствующий каждому байту с числовым значением от 0 до 127 символ.

Поскольку в большинстве современных компьютеров числовое значение байта находится в диапазоне от 0 до 255, байты с числовыми значениями от 128 до 255 являются не определенными стандартом ASCII. Для определения символов во всем диапазоне значений байтов от 0 до 255 были определены так называемые «кодовые страницы», первые 128 числовых значений байтов в которых, как правило, соответствуют символам в кодировке ASCII, а оставшимся обычно присваиваются символы, используемые в одном или нескольких родственных письменных языках.

В связи с растущей потребностью в локализации существующих программ, т. е. поддержки символов алфавитов мировых языков, все больше проявляется недостаток таких систем кодирования, выражающийся в том, что, поскольку каждый символ представляется одним байтом, количество разных кодируемых символов не может превышать 256.

Для преодоления этого ограничения можно использовать так называемые «двухбайтовые кодировки», например UCS-2, где каждый символ кодируется двумя последовательными байтами и количество представленных символов увеличивается до 65 536.

Главной проблемой, возникающей при использовании двухбайтовых кодировок, является не увеличение потребляемой памяти, хотя в некоторых случаях (использование на мобильных устройствах, в системах хранения данных) это критично, а существование огромного количества программ, использующих однобайтную кодировку. Такие программы зачастую состоят из тысяч и даже миллионов строк программного кода, который трудно, а иногда (например, при использовании в программе библиотек объектного кода без исходных текстов)



и просто невозможно переписать с использованием двухбайтовой системы символического кодирования.

Для решения этой задачи были разработаны системы символического кодирования переменной длины, в таких системах каждый кодируемый символ представляется переменным числом последовательных байтов.

Самой широко используемой из таких систем является UTF-8. Будучи стандартизированной, UTF-8 широко применяется в Интернете и в операционных системах, производных от ОС UNIX.

В системе кодирования UTF-8 байты со значениями от 0 до 127 кодируют те же символы, что и в ASCII, и в кодированном представлении других символов отсутствуют, также ни одна из кодовых последовательностей UTF-8 не может являться частью одной или нескольких таких смежных последовательностей (самосинхронизация), что позволяет в большинстве случаев символическим строкам, закодированным в UTF-8, заменить строки в однобайтной кодировке в программах без изменения таких программ в части копирования, конкатенации, сортировки строк, поиска подстрок.

#### 4 Общие принципы кодирования ACE

Каждое кодовое слово представлено одной из последовательностей элементов вида L, MN, MT, NTN или TTNN (буквами обозначены элементы соответствующих групп). Такое кодирование обладает свойством самосинхронизации, что означает, что ни одно из кодовых слов не может являться частью другого кодового слова или нескольких идущих подряд кодовых слов. Начало каждого из таких кодовых слов однозначно определяется последовательностями элементов L, M, NTN и TTN, а конец — последовательностями L, MN, MT, NTN и TTNN.

**Примечание.** Возможно использование также кодовых слов вида NTTT, что позволяет закодировать дополнительно 262 144 кодовых пункта, однако в данной статье использование таких кодовых слов не рассматривается, поскольку вышеупомянутых последовательностей достаточно для кодирования всех кодовых пунктов UCS.

#### 5 Кодирование

Алгоритм формирования кодового слова из кодового пункта представлен в табл. 1 (первый столбец определяет принадлежность кодового пункта к множеству или диапазону значений, следует использовать первую сверху строку, в которой условие выполняется).

Обозначения, используемые в табл. 1:

CP — кодовый пункт.

CS1 — множество кодовых пунктов, кодируемых кодовым словом длины 1.

CS2 — множество кодовых пунктов, кодируемых кодовым словом длины 2.

I — индекс формируемого кодового слова.



**Таблица 1** Формирование кодового слова из кодового пункта

CP	I	1-й элемент	2-й элемент	3-й элемент	4-й элемент
$\in CS1$	CSI1(CP)	L(I)			
$\in CS2$	CSI2(CP)	M(I/80)	если $(I \% 80) < 64$ , то $N(I \% 80)$		
			если $(I \% 80) \geq 64$ , то $T((I \% 80) - 64)$		
$\leq 65\ 535$	CP	$N(I \gg 10)$	$T((I \gg 6) \& 15)$	$N(I \& 63)$	
$\leq 1\ 114\ 111$	CP – 65536	$T(I \gg 16)$	$T((I \gg 12) \& 15)$	$N((I \gg 6) \& 63)$	$N(I \& 63)$

**Примечания.**

1. Нотацией  $\in$  обозначена принадлежность к множеству.
2. Нотацией  $\%$  обозначен остаток от деления.
3. Нотацией  $\&$  обозначена операция побитовый AND.
4. Нотацией  $\gg$  обозначен побитовый сдвиг вправо.

CSI1() — функция, возвращающая индекс кодового пункта в множестве кодовых пунктов, кодируемых кодовым словом длины 1.

CSI2() — функция, возвращающая индекс кодового пункта в множестве кодовых пунктов, кодируемых кодовым словом длины 2.

L(), M(), N(), T() — функции, возвращающие значение элемента по индексу элемента группы L, M, N или T соответственно.

## 6 Декодирование

Алгоритм вычисления значения кодового пункта из кодового слова представлен в табл. 2 (в первом столбце указаны группы элементов, составляющих кодовое слово).

Обозначения, используемые в табл. 2:

I() — функция, возвращающая значение индекса элемента группы L, M, N или T по значению элемента.

**Таблица 2** Вычисление значения кодового пункта из кодового слова

Группа	Значения слагаемых индекса кодового слова				Значение кодового пункта
	I1	I2	I3	I4	
L	I(L)				CP1(I1)
MN	$I(M) * 80$	I(N)			CP2(I1 + I2)
MT	$I(M) * 80$	$64 + I(T)$			
NTN	$I(N) \ll 10$	$I(T) \ll 6$	I(N)		I1   I2   I3
TTNN	$I(T) \ll 16$	$I(T) \ll 12$	$I(N) \ll 6$	I(N)	$65536 + (I1 I2 I3 I4)$

**Примечания.**

1. Нотацией  $\ll$  обозначен побитовый сдвиг влево.
2. Нотацией | обозначено побитовое OR.

CP1() — функция, возвращающая значение кодового пункта из множества кодовых пунктов, кодируемых кодовым словом длины 1, по индексу кодового слова.

CP2() — функция, возвращающая значение кодового пункта из множества кодовых пунктов, кодируемых кодовым словом длины 2, по индексу кодового слова.

## 7 Настройка

Представленная кодировка является настраиваемой. Настройка заключается в задании следующих параметров:

1. Множество кодовых элементов, каждому из которых поставлен в соответствие уникальный кодовый пункт; эти кодовые пункты при кодировании будут представлены кодовыми словами длины 1, состоящими из соответствующего им элемента. Эти элементы будут составлять группу L. Некоторые или все такие элементы могут быть (а) инвариантными к избранной однобайтной схеме кодирования (кодовой странице), что делает их читаемыми в этой кодовой странице; (б) зарезервированными, что делает их читаемыми в любой ASCII-совместимой однобайтной кодировке.
2. Множество кодовых пунктов, которые будут кодироваться кодовым словом, состоящим из двух элементов.

Максимальное количество одно- (обозначено как CW1) и двухэлементных (обозначено как CW2) кодовых слов взаимосвязано и определяется уравнением

$$CW2 = (176 - CW1) \cdot 80.$$

Поскольку каждый элемент группы L используется для однооктетного кодирования кодового пункта, число таких элементов должно быть достаточным для представления:

- служебных символов нижней части таблицы ASCII (символы с кодами 00<sub>hex</sub> (NUL), 09<sub>hex</sub> (HT), 0A<sub>hex</sub> (LF), 0D<sub>hex</sub> (CR). Символы с кодами 0B<sub>hex</sub> (VT) и 0C<sub>hex</sub> (FF) в текстах используются реже, и им часто можно не выделять отдельный элемент. То же относится и к символу 1A<sub>hex</sub> (SUB). Практически не используются в текстах оставшиеся символы с кодами меньше 20<sub>hex</sub> и символ 7F<sub>hex</sub> (DEL), и их можно безопасно использовать в качестве элементов других групп (M, N, T);
- видимых символов нижней части таблицы ASCII. К ним относятся символы с кодами от 20<sub>hex</sub> (SP) до 7E<sub>hex</sub> (~);
- символов национального алфавита в избранной однобайтной кодировке.

После того как вышеупомянутые настраиваемые параметры определены, программная реализация алгоритма формирует на их основе следующие данные:

- (1) формирует группу элементов  $M$  в количестве  $(176 - CW1)$  из элементов с наименьшими числовыми значениями, не включенных в группу  $L$  при настройке;
- (2) формирует группу элементов  $N$  в количестве 64 из элементов с наименьшими числовыми значениями, не включенных в группы  $L$  и  $M$ ;
- (3) формирует группу элементов  $T$  в количестве 16 из элементов с наименьшими числовыми значениями, не включенных в группы  $L$ ,  $M$  и  $N$ ;
- (4) в каждой из четырех групп присваивает элементам целочисленные индексы начиная с 0 таким образом, что элементам с меньшими числовыми значениями соответствуют меньшие индексы;
- (5) подготавливает структуры данных, необходимые для определения элемента заданной группы по индексу в этой группе;
- (6) каждому из кодовых пунктов, заданных при настройке как кодируемые двухэлементным кодовым словом, присваивает целочисленные индексы начиная с 0 таким образом, что кодовым пунктам с меньшими значениями соответствуют меньшие индексы;
- (7) подготавливает структуры данных, необходимые для определения кодового пункта, заданного при настройке как кодируемого двухэлементным кодовым словом, по его индексу, а также определения индекса по такому кодовому пункту.

## 8 Сравнение с UTF-8

Поскольку, в отличие от UTF-8, ACE обладает возможностью гибкого распределения кодируемых символов UCS между одно- и двухэлементными кодовыми словами, в табл. 3 приведены строки, показывающие число одноэлементных кодовых слов ACE и соответствующие им значения максимального количества двухэлементных слов ACE для некоторых вариантов настройки:

**Таблица 3** Максимальное количество кодовых пунктов (символов) UCS, кодируемых словом из 1, 2, 3 или 4 элементов

Схема кодирования	Длина кодового слова			
	1 элемент	2 элемента	3 элемента	4 элемента
UTF-8	128 (0...127)	1920 (128...2047)	61 440 (2048...55 295, 57 344...65 536)	1 048 576 (65 536...1 114 111)
ACE	0 128 152 171 176	14 080 3840 1920 400 0	65 536 (0...65 535, исключая кодовые пункты из столбцов 1 и 2)	1 048 576 (65 536...1 114 111, исключая кодовые пункты из столбцов 1 и 2)

- при задании предельных значений числа одноэлементных слов АСЕ (0, 176);
- при задании числа одноэлементных слов АСЕ, равного количеству одноэлементных представлений символов в UTF-8 (128);
- при задании числа двухэлементных слов АСЕ, равного количеству двухэлементных представлений символов в UTF-8 (1920);
- при задании числа одноэлементных слов АСЕ, использовавшегося в настройке таблицы кодировки для экспериментальной проверки эффективности АСЕ (171).

Как видно из табл. 3, при числе одно- или двухэлементных слов АСЕ на уровне UTF-8 в обоих случаях получается значение сопряженного показателя АСЕ, превышающее соответствующее значение в UTF-8. Так, для равного числа одноэлементных слов получается количество двухэлементных слов АСЕ, вдвое превышающее это значение в UTF-8. При равном числе двухэлементных слов количество одноэлементных слов в АСЕ превышает этот показатель в UTF-8 на 24 кодовых слова.

## 9 Заключение

Предлагаемая схема кодирования АСЕ была опробована в проекте «Историческая фактография» и в примерах кодирования реальных документов, при этом настройка имела следующие параметры:

- все ASCII-символы, за исключением символов в диапазонах  $01_{\text{hex}}-08_{\text{hex}}$  и  $0E_{\text{hex}}-1B_{\text{hex}}$  и символа с кодом  $7F_{\text{hex}}$ , кодировались одноэлементными кодовыми словами. Все кодирующие элементы были зарезервированными (сохраняли численное значение кодируемого символа);
- все символы русского алфавита кодировались одноэлементными кодовыми словами. Все кодирующие элементы были инвариантными к кодовой странице Windows-1251 (Cyrillic);
- все символы, присутствующие в кодировках Windows-1250 (Central and East European Latin), Windows-1251 (Cyrillic), Windows-1252 (West European Latin), Windows-1253 (Greek), Windows-1254 (Turkish), Windows-1255 (Hebrew) и Windows-1257 (Baltic), за исключением вышеупомянутых, кодировались двумя элементами (всего около 400 символов).

При такой настройке все остальные символы UCS кодировались тремя или четырьмя элементами.

АСЕ показала преимущество в плотности кодирования русскоязычных документов по сравнению с Unicode и UTF-8. В табл. 4 приводится пример кодировки двух документов: 4-го выпуска журнала «Информатика и её применения» за 2012 год (текст взят с сайта ИПИ РАН) и поэмы Н. В. Гоголя «Мертвые души» (текст взят из электронной библиотеки «Русская классика»).

**Таблица 4** Пример кодировки двух документов

Параметр	«Информатика и её применения»	«Мертвые души»
Количество символов	405 605	498 279
Объем в кодировке Unicode, байт	811 210	996 558
Объем в кодировке UTF-8, байт	589 240	896 900
Объем в кодировке ACE, байт	416 585	503 313
Соотношение объемов ACE/UTF-8	0,70	0,56
Соотношение объемов ACE/Unicode	0,51	0,50

Как видно из примера, ACE дает выигрыш в объеме, занимаемом текстом, по сравнению с UTF-8, более чем 25% для «смешанного» текста научного журнала и более чем 40% для литературного русскоязычного текста.

## 10 Пример реализации кодирования ACE на языке программирования C

Исходные тексты примера доступны в Интернете по адресам <https://drive.google.com/folderview?id=0B2sgNvDbNq-qeDRJY0JiYkNxaIE&usp=sharing> и <http://goo.gl/ZPGVrL>.

### Литература

1. ISO/IEC 10646 — Information technology — Universal Coded Character Set (UCS). [http://standards.iso.org/ittf/PubliclyAvailableStandards/c056921\\_ISO\\_IEC\\_10646\\_2012.zip](http://standards.iso.org/ittf/PubliclyAvailableStandards/c056921_ISO_IEC_10646_2012.zip).
2. RFC 3629 — UTF-8, a transformation format of ISO 10646. <https://tools.ietf.org/html/3629>.
3. Unicode Technical Report #17 — Unicode Character Encoding Model. <http://www.unicode.org/reports/tr17>.

*Поступила в редакцию 05.05.14*

---



---

## ADJUSTABLE VARIABLE-LENGTH CHARACTER ENCODING SCHEME — ACE

*I. M. Adamovich and D. V. Zemskov*

Institute of Informatics Problems, Russian Academy of Sciences, 44-2 Vavilov Str., Moscow 119333, Russian Federation

**Abstract:** The article describes ACE (Adjustable Character Encoding) — a variable-length character encoding scheme, which is capable of encoding the

full range of UCS (Universal Coded Character Set, ISO/IEC 10646) code points as sequences of one to four octets (8-bit code units). The main reason of creating this encoding was to increase, in comparison with UTF-8 (Unicode Transformation Format, 8-bit), the number of code points encoded as one-octet code unit sequence, thus allowing more compact representation of texts containing characters of a chosen national alphabet, and also to increase the capability to preserve binary representation of encoded characters of such alphabet to match their binary values in a single-byte code table. This encoding retains such properties of the UTF-8 encoding as statelessness (the representation of an encoded character does not depend on the values of previous characters), self-synchronization (none of the valid code sequences can occur inside the other one, nor inside any adjacent sequences across their boundaries), and the possibility to locate the beginning or the end of a code sequence at any place of encoded text.

**Keywords:** character encoding scheme; UCS; program localization; UTF-8

**DOI:** 10.14357/08696527140408

## References

1. ISO/IEC 10646 — Information technology — Universal Coded Character Set (UCS). Available at: <http://standards.iso.org/ittf/PubliclyAvailableStandards/c056921.ISO.IEC.10646.2012.zip> (accessed September 9, 2014).
2. RFC 3629 — UTF-8, a transformation format of ISO 10646. Available at: <https://tools.ietf.org/html/3629> (accessed September 9, 2014).
3. Unicode Technical Report #17 — Unicode Character Encoding Model. Available at: <http://www.unicode.org/reports/tr17/> (accessed September 9, 2014).

*Received May 5, 2014*

## Contributors

**Adamovich Igor M.** (b. 1934) — Candidate of Science (PhD) in informatics, Head of Department, Institute of Informatics Problems, Russian Academy of Sciences, 44-2 Vavilov Str., Moscow 119333, Russian Federation; adam@amsd.com

**Zemskov Dmitry V.** (b. 1969) — leading programmer, Institute of Informatics Problems, Russian Academy of Sciences, 44-2 Vavilov Str., Moscow 119333, Russian Federation; dima@amsd.com

## МЕТОДЫ ОПТИМИЗАЦИИ СИСТЕМ ПОДДЕРЖАНИЯ КОГЕРЕНТНОСТИ НА ОСНОВЕ НАБЛЮДЕНИЯ

*Б. З. Шмейлин*<sup>1</sup>

**Аннотация:** При разработке многопроцессорных систем (МС) важной задачей является поддержание согласованности (когерентности) данных локальных кэшей процессоров. Для обеспечения согласованности данных каждый процессор в системе проверяет другие процессоры на наличие в их кэшах разделенных данных, посылая запросы по сети процессоров. Однако значительная часть таких запросов является избыточной, что повышает сетевой трафик и увеличивает потребление энергии при проверке адресных тегов. В статье приводится обзор различных методов исключения избыточных запросов в системах поддержания когерентности на основе наблюдения. В заключительной части статьи приводятся сравнительные характеристики этих методов и рекомендуются области эффективного применения каждого из методов.

**Ключевые слова:** многопроцессорные системы; системы поддержания когерентности кэш на основе наблюдения; фильтрация запросов обеспечения когерентности

**DOI:** 10.14357/08696527140409

### 1 Введение

В МС с общей памятью и распределенной кэш-памятью (частными кэшами) возникает задача обеспечения согласованности содержимого в частных кэшах, известная как задача поддержания когерентности. Когерентность определяет порядок выполнения чтений и записей в одно и то же место памяти. Для поддержания когерентности необходимо выполнить следующие условия:

- если процессор  $P$  записывает информацию в блок памяти  $X$ , то при последующем считывании этой информации он должен получить ранее записанное значение, если после записи процессором  $P$  другие процессоры не записывали информацию в этот блок памяти;
- если процессор  $P_1$  читает информацию из блока памяти  $X$  после записи процессором  $P_2$  информации в этот блок памяти, то процессор  $P_1$  должен получить записанную процессором  $P_2$  информацию, если между этими операциями записи и чтения не было записей информации другими процессорами в блок памяти  $X$ ;

---

<sup>1</sup>Институт проблем информатики Российской академии наук, shmeilin@mail.ru

- если два процессора последовательно записывают в блок памяти  $X$  значение  $A$ , а затем значение  $B$ , то при считывании каким-либо процессором информации из блока памяти  $X$ , он должен получить значение  $B$ .

Существуют различные системы поддержания когерентности. В данной работе рассматриваются системы на основе наблюдения. Работа системы поддержания когерентности на основе наблюдения заключается в том, что контроллеры кэша следят (наблюдают) за событиями, происходящими на шинах памяти. К таким событиям относятся запросы от процессоров системы на чтение или запись информации в частный кэш.

Для реализации процесса наблюдения контроллер каждой локальной кэш-памяти содержит блок слежения за шиной, который следит за всеми транзакциями на общей шине и, в частности, контролирует все операции записи. Процессоры должны широковещательно передавать на шину любые запросы на доступ к памяти, потенциально способные изменить состояние когерентности совместно используемых блоков данных. Контроллер каждой локальной кэш-памяти процессора затем определяет, присутствует ли в его кэш-памяти копия модифицируемого блока, и если это так, то такой блок аннулируется или обновляется. Протоколы наблюдения характерны для мультипроцессорных систем на базе шины, поскольку общая шина достаточно просто обеспечивает как наблюдение, так и широковещательную передачу сообщений.

Когда наблюдается операция записи другим процессором в строку, которая размещена в кэше данного процессора, контроллер кэша инвалидирует собственную копию блока, т. е. согласно протоколу когерентности MOESI переводит строку кэша в состояние I — невалидное, делая ее недоступной для этого процессора. При запросах на запись в одну и ту же строку нескольких процессоров в устройстве арбитража организуется очередь на запись.

Один из процессоров получает право на запись, остальные копии строки в других кэшах инвалидируются.

При запросе на чтение и наличии валидной строки в кэше происходит чтение данных. Если таковая строка отсутствует в кэш-памяти, запрос через контроллер кэш-памяти передается на шину. Затем данные передаются из кэш-памяти, обладающей ими. Если такая кэш-память не находится, то данные передаются из главной памяти. При запросе процессора на запись управление должно выдать разрешение на запись, т. е. разрешить конфликт между несколькими процессорами, выставившими запросы на запись. После получения разрешения процессор пишет в валидную строку, имеющуюся на данный момент в его кэш-памяти, и помечает эту строку как модифицированную. Если таковой строки не находится, то запрос передается на шину главной памяти, так же как и при чтении. При получении запрашиваемой строки процессор сначала посылает запрос по шине на инвалидацию этой строки в кэш-памяти всех других процессоров и в главной памяти, а затем записывает в строку информацию.



Таким образом, для поддержания когерентности от каждого из процессоров контроллером кэша по сети распространяются запросы, которые в дальнейшем будем называть запросами наблюдения. Предыдущими исследованиями было установлено, что существенная часть запросов наблюдения избыточна, т. е. не нужна для реализации протокола когерентности. В работе [1] показано, что в среднем по 10 приложениям доля избыточных запросов на чтение и запись составляет примерно 60%.

Поясним причину возникновения избыточных запросов наблюдения на примере работы МС, состоящей из трех процессоров с локальными кэшами  $L_2$ . Если при обращении процессора  $P_1$  в свой кэш  $L_2$  получился промах, то генерируется запрос наблюдения, который поступает в процессоры  $P_2$  и  $P_3$ . Пусть запрашиваемый блок содержится в кэше  $L_2$  процессора  $P_2$  и отсутствует в кэше  $L_2$  процессора  $P_3$ . Тогда процессор  $P_1$  получает копию блока из кэша  $L_2$  процессора  $P_2$ . Процессор  $P_3$  не поставляет копию этого блока. Однако все равно запрашиваемый адрес блока сравнивается с адресными тегами кэша  $L_2$  процессора  $P_3$ , что приводит к ненужному и довольно значительному потреблению энергии и времени.

В данной работе анализируются различные методы устранения избыточных запросов наблюдения, что позволяет снизить интенсивность распространяемых по сети запросов, уменьшить потребление энергии при просмотре адресных тегов и в некоторых случаях повысить производительность МС в целом. Во всех рассматриваемых методах для их реализации используются дополнительные аппаратно-программные средства, позволяющие определить, является ли запрос наблюдения избыточным.

В разд. 2 описывается система, в которой фильтруются (отсеиваются) избыточные запросы наблюдения с помощью дополнительной аппаратно-программной структуры — фильтра. В разд. 3 приведено описание систем, в которых согласованность данных определяется не для отдельного блока (строки кэша), а для области памяти (региона), что позволяет существенно снизить количество избыточных запросов наблюдения. В разд. 4 описана система, в которой для каждого региона памяти определяется подмножество процессоров, не обращающихся с запросами наблюдения к этому региону. Такие запросы не вырабатываются и не посылаются по сети. В разд. 5 приводятся обобщенные данные по эффективности каждого из описанных методов. Эффективность определяется снижением интенсивности запросов наблюдения, уменьшением потребления энергии и повышением производительности, а также объемом дополнительных ресурсов, необходимых для реализации каждого из методов. На основании таких данных выработаны рекомендации по применению каждого из методов.

## 2 Фильтрация запросов наблюдения

Во многих работах предлагается отсеивать (фильтровать) избыточные запросы наблюдения. Так, в работе [2] с целью снижения потребления энергии

выполняется фильтрация запросов наблюдения. Для этого используется специальный фильтр, размещенный между кэшем  $L_2$  каждого процессора и шиной памяти. Этот фильтр получает запросы наблюдения и по имеющейся у него информации определяет, нужно ли передавать запрос данному процессору.

В работе [2] предлагаются фильтры трех типов:

- (1) исключающий, содержащий список блоков, отсутствующих в кэше  $L_2$  данного процессора;
- (2) включающий, содержащий список блоков, присутствующих в кэше  $L_2$  данного процессора;
- (3) гибридный, содержащий комбинированную информацию.

Принцип фильтрации заключается в следующем. **Исключающий фильтр** сохраняет адреса блоков, содержащихся в последних запросах наблюдения из других процессоров и отсутствующих в кэше данного процессора. Строка массива фильтра содержит адресный тег и бит наличия —  $p$ . Совпадение адреса в запросе наблюдения из других процессоров с одной из строк исключающего фильтра данного процессора гарантирует, что в кэше этого процессора отсутствует запрашиваемый блок. При последующих запросах наблюдения с теми же адресами блоков такие запросы будут отфильтрованы без проверки всех адресных тегов кэша данного процессора.

Новая строка в исключающем фильтре появляется в том случае, когда появляется запрос наблюдения с новым адресом из другого процессора и запрашиваемый блок отсутствует в кэше данного процессора. Строка фильтра удаляется, если при обращении процессора в свой кэш  $L_2$  происходит промах и адрес этого обращения содержится в фильтре. При обработке промаха в кэше появляется строка, совпадающая с одной из строк фильтра, а такой строки в исключающем фильтре быть не должно.

Экономия расхода энергии на просмотр адресных тегов объясняется тем, что число адресных тегов локального кэша во много раз превышает число строк фильтра.

**Включающий фильтр.** Число различных адресов в запросах наблюдения может возрасти настолько, что массив строк исключающего фильтра станет недопустимо большим. Как альтернатива исключающему фильтру предлагается включающий фильтр. Такой фильтр сохраняет адреса блоков, содержащихся в последних запросах наблюдения из других процессоров и присутствующих в кэше данного процессора.

Несовпадение адреса в запросе наблюдения из других процессоров ни с одной из строк включающего фильтра данного процессора гарантирует, что в кэше этого процессора отсутствует запрашиваемый блок. Структура включающего фильтра такая же, как у исключающего. Новая строка во включающем фильтре появляется в том случае, когда появляется запрос наблюдения с новым адресом из другого процессора и запрашиваемый блок присутствует в кэше данного процессора.

**Таблица 1** Распределение копий блока в кэшах процессоров

Приложение	Доля обнаруженных копий запрашиваемого блока, %				Доля несовпадений адресов в запросе наблюдения с адресными тегами, %
	0	1	2	3	
Barnes	47	28	15	10	71
Cholesky	92	5	3	0	95
Em3d	80	17	2	1	92
Fft	93	7	0	0	98
Fmm	82	15	2	1	93
Lu	73	26	1	0	91
Ocean	97	3	0	0	99
Radix	82	15	2	1	94
Raytrace	100	0	0	0	100
Unstructured	33	55	4	8	71
Среднее значение	79,6	15,6	2,6	1	91

Удаление строки из фильтра происходит в случае вытеснения строки из кэша данного процессора.

В разных случаях применение этих двух типов фильтров может дать разный эффект. Если блок с адресом в запросе наблюдения присутствует во всех кэшах процессоров (наихудший случай), то использование фильтров может даже увеличить потребление энергии. **Гибридный тип фильтра** совмещает два предыдущих, причем работают оба типа фильтров параллельно. Исключающий фильтр является резервной копией включающего. Строка в массив включающего фильтра помещается только тогда, когда она отсутствует во включающем фильтре. Эксперименты показали, что гибридный тип фильтра устраняет недостатки первых двух типов и позволяет достичь наименьшего потребления энергии.

В работе приводятся результаты экспериментов с различными приложениями.

В табл. 1 приведены данные по распределению количества копий блока в запросе наблюдения, обнаруженных во всех кэшах процессоров [2]. В колонке  $i$  (0, 1, 2, 3) показана доля всех запросов наблюдения, при выполнении которых обнаружено  $i$  копий запрашиваемого блока в кэшах других процессоров. Например, в колонке 0 показана доля запросов наблюдения, когда запрашиваемый блок не содержится ни в одном из локальных кэшей процессоров, а только в главной памяти. В колонке 1 показана доля от всех запросов наблюдения, при которых копия запрашиваемого блока имеется только в одном кэше процессора, и т. д.

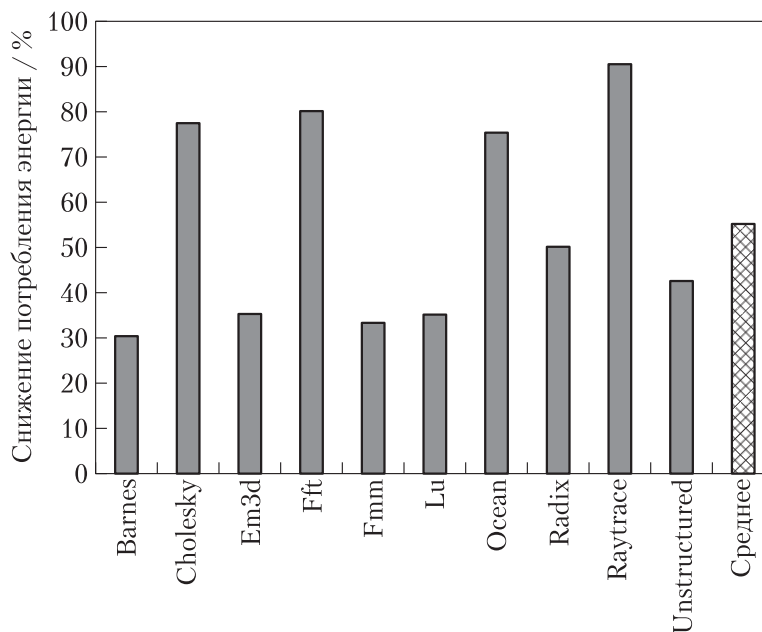
В последней колонке табл. 1 представлена доля несовпадений адресов в запросе наблюдения с адресными тегами по отношению ко всем запросам наблюдения. В целом данные в этой колонке коррелируют с данными в колонке 0 для доли запросов наблюдения, при которых не обнаружено ни одной копии запрашиваемого блока.

Применение предлагаемых фильтров эффективно для всех приложений, за исключением Barnes, так как при его работе велика вероятность того наихудшего случая, когда копии запрашиваемого блока имеются в кэшах  $L_2$  всех процессоров. Из представленных в табл. 1 данных видно, что в приложении raytrace вообще нет разделенных данных и, следовательно, можно ожидать для этих приложений наилучших показателей по снижению потребляемой энергии.

В статье [2] исследуется вопрос эффективности предлагаемых фильтров. Для такой оценки используется такой показатель, как доля фильтрации блоков, отсутствующих в кэше процессора при поступлении запроса наблюдения от других процессоров. Неполнота покрытия таких блоков фильтрами объясняется их ограниченными объемами.

В работе [2] приводятся данные по всем приложениям для фильтров различного типа. В среднем по всем приложениям с помощью фильтра исключающего типа фильтруется 40% запросов наблюдения, с помощью фильтра включающего типа — 46% запросов наблюдения, с помощью фильтра гибридного типа — 70% запросов наблюдения.

Другим показателем эффективности предлагаемого метода является снижение потребления энергии. В представленном на рис. 1 графике показано, насколько снижается потребление энергии при использовании фильтра гибридного типа относительно потребления энергии при выполнении запросов наблюдения в обыч-



**Рис. 1** Снижение потребления энергии при использовании фильтра гибридного типа

ной системе. Как и следовало ожидать, снижение потребления энергии наиболее заметно для приложений *cholesky*, *fft*, *ocean* и *raytrace*. Как видно из табл. 1, при работе этих приложений подавляющее большинство копий запрашиваемых блоков содержится только в главной памяти, что делает в большинстве случаев запросы наблюдения излишними.

В работах [3–5] предлагается уменьшение размера фильтра включающего типа. Для этого в фильтре используется сплошной диапазон адресов, размер которого определяется разностью в адресах двух последовательных запросов наблюдения. Здесь используется свойство локальности данных. Такой фильтр менее точен, чем обычный включающий фильтр, так как в выделенном диапазоне адресов могут и не содержаться копии блоков с адресами, содержащимися в запросах наблюдения. При запросе наблюдения, содержащем адрес, попадающий в выделенный диапазон адресов, будет выполняться его обработка, хотя кэш данного процессора может и не содержать запрашиваемой копии.

### 3 Использование укрупненных областей памяти (регионов) для исключения избыточных запросов

Многие из предлагаемых методов оптимизации определяют когерентность, т. е. согласованность данных не для отдельного блока (строки кэша), а для области памяти, размер которой существенно больше строки кэша. Здесь рассматриваются два метода — метод анализа регионов наблюдения и метод определения массива регионов когерентности.

#### 3.1 Анализ регионов наблюдения

В работе [6] вводится понятие анализа регионов наблюдения, использование которых позволяет уменьшить число избыточных запросов наблюдения и снизить время просмотра адресных тегов. Применение анализа регионов наблюдения позволяет достичь хороших результатов при небольших дополнительных объемах памяти и умеренной сложности алгоритма.

Под регионом наблюдения понимается выравненный сегмент памяти, объем которого равен длине строки кэша, умноженной на  $2^n$ . Запрос блока  $B$  в кэш  $C$  приводит к промаху в регионе  $R$ , если кэш  $C$  не содержит ни одного блока в регионе  $R$ .

В предыдущих исследованиях было установлено, что часто запросы в кэши всех процессоров системы приводят к промахам в регионе  $R$ . Такие промахи называются глобальными промахами в регионе  $R$  — *global region misses (GRM)*. Доля GRM среди всех запросов наблюдения обозначается как *GRM ratio (GRMR)*. В работе [6] приведены данные по среднему значению GRMR для различных приложений. Значения GRMR приведены для различных размеров регионов, разного числа процессоров в системе и разных конфигураций системы (с разделенным кэшем второго уровня или с разделенной общей памятью).

**Таблица 2** Значения GRMR для различных размеров региона наблюдения и разного числа процессоров

Размер региона наблюдения, КБ	GRMR, %		
	4 процессора	8 процессоров	16 процессоров
1	67	58	36
2	60	50	35
4	56	47	35
8	54	45	33

Для всех приложений значение GRMR обратно пропорционально количеству процессоров в системе и размеру региона.

Объяснить такое явление довольно просто: при увеличении размера региона вероятность существования региона, в котором отсутствуют блоки, кэшированные во всех процессорах системы, уменьшается. Аналогичное заключение можно сделать и при увеличении числа процессоров в системе. В табл. 2 приведены значения GRMR для различных размеров региона наблюдения и разного числа процессоров.

При выполнении запроса к памяти каким-либо процессором  $N$  он опрашивает также все другие процессоры, имеется ли хотя бы один блок в их кэшах, размещенный в запрашиваемом регионе. Если нет ни одного такого блока, то регион записывается в процессоре  $N$  как неразделенный. В следующий раз при запросе блока из этого региона процессор, уже не опрашивая другие процессоры, непосредственно обращается к памяти. Когерентность в любой момент времени обеспечивается тем, что когда другой процессор запрашивает блок, размещенный в данном регионе, он посылает всем процессорам в сети запрос на отмену записи региона как неразделенного.

Метод реализуется с помощью двух структур, дополняющих управление кэшем каждого процессора:

- (1) таблицы неразделенных регионов — not shared region table (NSRT);
- (2) таблицы кэшированных регионов — cached region table (CRT). Под кэшированным регионом понимается регион, содержащий хотя бы один блок, размещенный на данный момент в локальном кэше данного процессора.

Таблица NSRT — это таблица, каждая строка которой соответствует определенному региону. В каждой строке этой таблицы содержится бит валидности и адресный тег региона. Строка NSRT удаляется либо при превышении выделенного под эту таблицу объема памяти, либо когда другой процессор запрашивает блок в данном регионе.

Таблица CRT — это таблица, каждая строка которой соответствует определенному региону. В любой строке этой таблицы содержится поле счетчика и бит наличия. Счетчик содержит число блоков в регионе, содержащихся в кэше

данного процессора. Преобразование CRT выполняется либо при размещении нового блока в кэше данного процессора, либо при вытеснении из кэша какого-то блока. Бит наличия меняет свое значение либо при обнулении счетчика, либо при изменении его с 0 на 1.

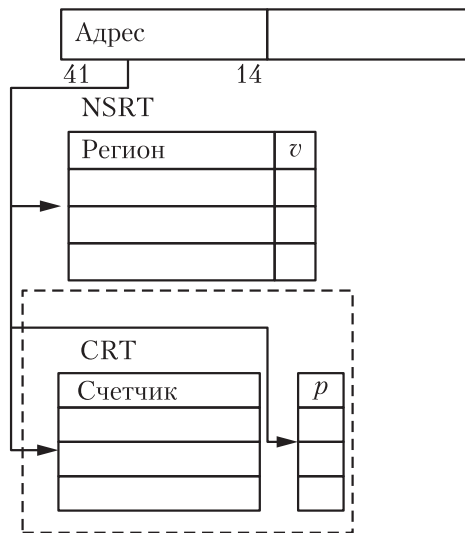
Эти структуры работают следующим образом. Вначале все CRT и все NSRT обнулены, т. е. обнулены все строки обеих таблиц. При запросе к памяти какого-либо процессора система поддержания когерентности на основе наблюдения работает как обычно, но кроме того все другие процессоры на запрос наблюдения сообщают системе с помощью своего CRT о кэшировании какого-либо блока в регионе, в котором содержится запрашиваемый блок. Если соответствующая запись в CRT отсутствует во всех процессорах, то регион является неразделенным. При этом все процессоры записывают этот регион в свои таблицы NSRT. В следующий раз любой процессор при запросе к памяти сначала проверяет свою таблицу NSRT. Если соответствующая запись обнаружена, то процессор знает, что другие процессоры не имеют кэшированных блоков в этом регионе и запрос наблюдения не нужен.

Для обеспечения когерентности при запросе процессором блока памяти, имеющегося в одном из неразделенных регионов, этот регион аннулируется (обнуляется бит валидности) в соответствующей строке NSRT всех процессоров.

Когда процессор помещает новую строку (блок) в свой кэш, то по адресу обращения определяется соответствующий регион и строка CRT, относящаяся к этому региону, инкрементируется, а при удалении блока из кэша строка CRT декрементируется. Если у процессора  $N$  в строке CRT, соответствующей региону  $R$ , счетчик равен нулю, это значит, что в регионе  $R$  нет блоков, размещенных в кэше процессора  $N$ .

Система анализа регионов разработана дополнительно к основным средствам обычной системы наблюдения, т. е. это система без дополнительных средств устранения избыточных запросов наблюдения. Эта система не вносит никаких изменений в обычную систему наблюдения и работает параллельно с ней. Система анализа регионов собирает информацию динамически и адаптируется к изменениям состояний регионов, так как каждый регион может быть разделенным только временно. Так как перед выполнением запроса наблюдения процессором проверяется его NSRT, то появляется дополнительная задержка при обработке запроса. Однако исследования показали, что для NSRT, содержащей вплоть до 64 строк, эта задержка относительно невелика. На рис. 2 представлена схема работы предлагаемой системы анализа регионов. Здесь показано, как 42-битный адрес используется для индексации NSRT и CRT. Каждая строка NSRT содержит тег региона (старшие биты адреса) и бит валидности. Наличие записи в строке NSRT означает, что данный регион не является разделенным ресурсом. Строка NSRT из таблицы удаляется либо при превышении размера таблицы, либо при размещении каким-то другим процессором блока в данном регионе.

Строка CRT содержит счетчик числа блоков, кэшированных в данном регионе, и бит наличия —  $p$ . В худшем случае все блоки будут размещаться в одном



**Рис. 2** Схема работы системы анализа региона

регионе. Поэтому поле счетчика в строке CRT должно быть равно  $\log$  (размер кэша/размер блока). Бит  $p \neq 0$  указывает на наличие блоков в строке. Наличие бита  $p$  ускоряет просмотр строк CRT, что снижает потребление энергии. Строки CRT преобразуются при размещении блоков в кэше или удалении их. Бит  $p$  обнуляется при обнулении соответствующей строки CRT.

Предлагаемые структуры требуют дополнительной памяти в следующих объемах. Структура CRT для кэша объемом 1 МБ с 64 битами в блоке состоит из 256 строк и потребует примерно 4 КБ; 64 строки NSRT занимают 1 КБ.

В проведенных экспериментах [6] наблюдалось, как влияет размер региона на GRMR. По этому показателю программы разделились на три группы:

- (1) программы, при выполнении которых GRMR не зависит от размера региона, это программы *cholesky*, *fft* и *ocean*. При этом значения GRMR относительно высоки;
- (2) программы, при выполнении которых значение GRMR почти линейно уменьшается при увеличении размера региона. Это программы *barnes*, *fmm* и *raytrace*;
- (3) при выполнении программ *radix*, *raytrace* и *lu* значение GRMR резко снижается при достижении размера региона 4 КБ, а ниже этого уровня значение GRMR почти не меняется.

В работе [6] представлены данные по снижению трафика на шинах памяти при работе предлагаемой системы в сравнении с работой обычной системы. Эти данные приведены для систем с различным числом процессоров. В системе с 8 процессорами и размером региона 4 КБ трафик составляет 73% от трафика в обычной системе с локальным кэшем  $L_2$  и 63% — с разделенным кэшем  $L_2$ .

Относительное снижение потребляемой энергии *EnergyRatio* вычисляется по следующей формуле:

$$\text{EnergyRatio} = \frac{\text{TagEnergyWithRegionScout} + \text{RegionScoutEnergy}}{\text{TagEnergyWithoutRegionScout}},$$

где *TagEnergyWithRegionScout* — потребляемая энергия при просмотре адресных тегов при использовании метода анализа регионов; *RegionScoutEnergy* —



энергия, потребляемая дополнительными ресурсами при использовании метода анализа регионов; TagEnergyWithoutRegionScout — потребляемая энергия при просмотре адресных тегов в обычной системе поддержания когерентности на основе наблюдения.

Существенное снижение потребляемой энергии наблюдается в системах с 4 и 8 процессорами на приложениях radix и raytrace. На приложении radix потребление энергии при просмотре адресных тегов составляет 70% в системе с 4 процессорами и 58% в системе с 8 процессорами по сравнению с работой в обычной системе. На приложении raytrace эти данные равны 80% и 69% соответственно. При работе других приложений в среднем эти показатели составляют 97% в системе с 4 процессорами и 87% в системе с 8 процессорами. Эти данные позволяют оценить, для каких приложений предлагаемый метод дает заметный эффект (например, на приложениях radix и raytrace).

Следует отметить, что работа самой системы анализа регионов требует незначительного дополнительного расхода энергии: самое большое значение — 5% при работе приложения raytrace.

### 3.2 Использование массива регионов когерентности

Этот метод использует специальную структуру — массив регионов когерентности — region coherence array (RCA) [1]. Каждая строка RCA соответствует некоторому региону и содержит информацию о когерентном состоянии каждого процессора по отношению к этому региону. Все когерентные состояния описаны в первой колонке табл. 3. Размер региона может быть различным, но равным размеру строки кэша, умноженному на  $2^n$ .

При получении запроса наблюдения от запрашивающего процессора каждый процессор свой ответ сопровождает собственным RCA. Запрашивающий процессор логически суммирует все полученные ответы от процессоров системы и сохраняет результат в своем RCA. Такая информация позволяет в дальнейшем этому процессору определить, какому из остальных процессоров нужно послать запрос наблюдения.

В основе метода лежит протокол региона. В этом протоколе рассматривается семь когерентных состояний региона. Описание этих состояний приведено в табл. 3.

Таким образом, у локального процессора имеются для каждого региона следующие когерентные состояния: I, CI, CC, CD, DI, DC, DD. Первая буква в названии когерентного состояния показывает, что среди строк, размещенных в данном регионе, в кэше данного процессора:

- нет ни одной строки (состояние I);
- имеются только немодифицированные строки (состояние C);
- имеется хотя бы одна модифицированная строка (состояние D).

Вторая буква в названии когерентного состояния показывает, что среди строк, размещенных в данном регионе, в кэшах всех других процессоров:

Таблица 3 Описание состояний региона

Когерентное состояние региона	Данный процессор	Другие процессоры	Необходимость запроса наблюдения
Невалидное (I)	Нет кэшированных копий	Безразлично	Да
«Чистое»– невалидное (Clean–Invalid, CI)	Только немодифицированные копии	Нет кэшированных копий	Нет
«Чистое»– «чистое» (Clean–Clean, CC)	Только немодифицированные копии	Только немодифицированные копии	Нет
«Чистое»– модифицированное (Clean–Dirty, CD)	Только немодифицированные копии	Могут быть модифицированные копии	Да
Модифицированное– невалидное (Dirty–Invalid, DI)	Могут быть модифицированные копии	Нет кэшированных копий	Нет
Модифицированное– «чистое» (Dirty–Clean, DC)	Могут быть модифицированные копии	Только немодифицированные копии	Для модифицированных копий
Модифицированное– модифицированное (Dirty–Dirty, DD)	Могут быть модифицированные копии	Могут быть модифицированные копии	Да

- нет ни одной строки (состояние I);
- имеются только немодифицированные строки (состояние C);
- имеется хотя бы одна модифицированная строка (состояние D).

Если по отношению к некоторому региону кэш данного процессора находится в состоянии I, то состояние кэшей других процессоров не определяется.

Каждому процессору в строке RCA отведено 2 бита в строго определенной позиции для каждого процессора. Сочетание 00 в этих битах означает состояние I данного процессора для данного региона, сочетание 10 — состояние «чистое» (C), сочетание 01 — состояние модифицированное (D).

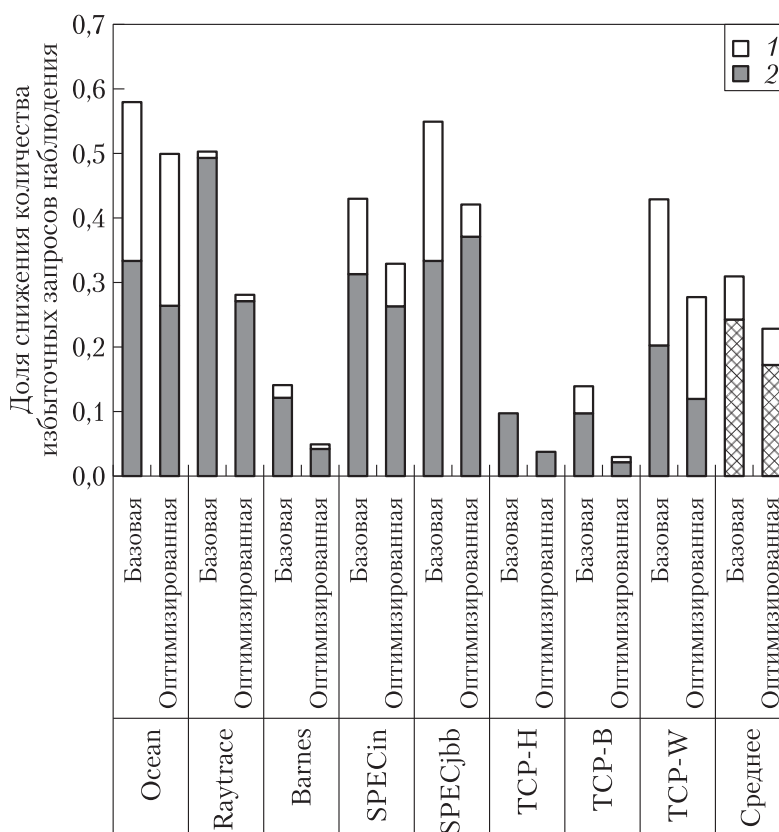
Запрашивающий процессор получает от всех других процессоров строки RCA для данного региона и, логически суммируя их и зная свое собственное состояние (I, C или D), однозначно определяет одно из семи состояний региона.

Состояния CI и DI — эксклюзивные, так как ни один из процессоров, кроме данного, не имеет копий блока в этом региона. Состояния CC и DC — внешне «чистые», так как некоторые другие процессоры обращались к строкам

в этом регионе только по чтению. В этих состояниях процессор при промахе в кэш может не рассылать по сети запросы наблюдения. Состояния CD и DD — внешне модифицированные, т. е. имеются процессоры, выполнившие записи в строки из этого региона. В этих состояниях процессор должен разослать по сети запросы наблюдения, как в обычной системе поддержания когерентности без средств устранения избыточных запросов наблюдения.

Для проведения эксперимента по проверке эффективности предлагаемого метода использовалась система моделирования PowerPC ISA. При моделировании учитывались системные и пользовательские коды программ. Эксперименты проводились для регионов трех различных размеров — 256 Б, 512 Б и 1 КБ в системе из 4-х процессоров.

Моделирование выполнялось на 9 приложениях — как коммерческих, так и предназначенных для научных исследований.



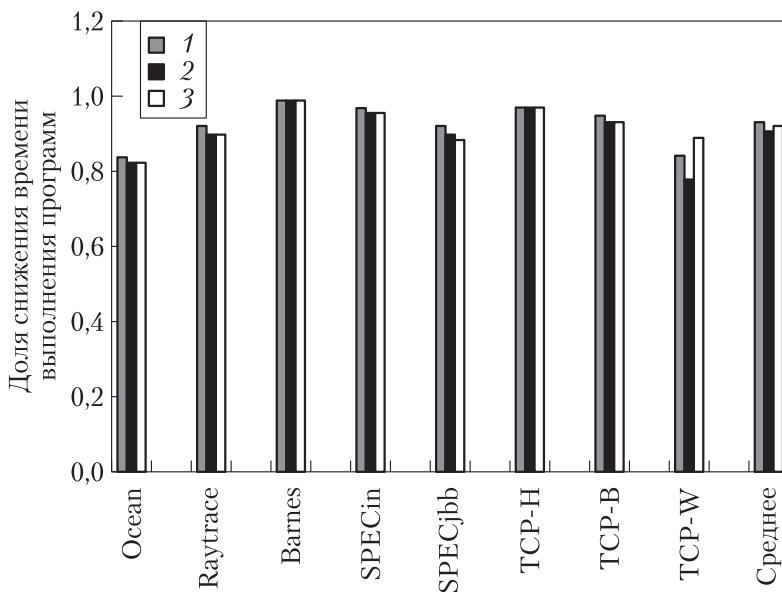
**Рис. 3** Снижение количества избыточных запросов наблюдения: 1 — запись; 2 — чтение

Сначала исследовалось, насколько снижается количество запросов наблюдения, для которых не нужно распространение по сети. Для разных приложений получились различные результаты. Следует отметить, что по всем приложениям размер региона незначительно влиял на количество таких запросов.

На рис. 3 приведены данные по снижению количества запросов наблюдения при использовании предлагаемого метода (размер региона — 512 Б).

На графике для каждого приложения отведены две колонки. Правая колонка соответствует доле избыточных запросов наблюдения в обычной системе поддержания когерентности, а левая колонка показывает долю запросов наблюдения при использовании данного метода. Из приведенных здесь данных видно, что по сравнению с обычной системой количество запросов наблюдения снизилось в среднем на 22%.

На рис. 4 показано, насколько снижается время выполнения программ при использовании предлагаемого метода. Приведены данные для регионов размерами 256 Б, 512 Б и 1 КБ. Преобразование распространяемых по сети запросов наблюдения в непосредственные запросы к памяти существенно снижает среднюю задержку на обработку запроса, особенно для региона размером в 512 Б. На коммерческих программах время их выполнения снижается в среднем на 10,4%, а на всем наборе бенчмарков — на 8,8%. Наилучших результатов — 21,7% — удалось достичь на приложении TCP-W.



**Рис. 4** Снижение времени выполнения программ для регионов различных размеров: 1 — 256 Б; 2 — 512 Б; 3 — 1 КБ

## 4 Использование области наблюдения

В работе [7] предлагается метод фильтрации запросов наблюдения, который называется методом определения области наблюдения. Под областью наблюдения (Space Snooping — SS) региона  $R$  понимается подмножество процессоров, запросы наблюдения которых содержат адреса блоков, размещенных в регионе  $R$ . Метод опирается на поддержку операционной системы (ОС) и использует таблицу страниц (page table — PT) и буферы трансляции адресов обращения к памяти (translation lookaside buffer — TLB).

Подмножество процессоров, составляющих область наблюдения, записывается в PT и в TLB процессоров. Для сокращения количества запросов наблюдения последние передаются только в процессоры, составляющие область наблюдения.

По сравнению с другими методами снижения количества запросов наблюдения данный метод характеризуется меньшим объемом дополнительных средств, так как в нем только расширяются PT и TLB.

В отличие от методов, в которых запросы наблюдения фильтруются исходя из того, является регион частным или разделенным, данный метод базируется на том факте, что существенная часть страниц памяти относится к лишь частично разделенным. Под частично разделенной страницей понимается страница, разделенная между несколькими, но не всеми процессорами, т. е. к странице обращается только часть процессоров системы.

Авторами [7] были проанализированы результаты моделирования работы различных приложений в МС (16 процессоров). Этот анализ показал, что имеется по крайней мере три вида приложений, при работе которых в системах наблюдения обращение процессоров к странице выполняется по-разному. При работе первого вида приложений к одной странице обращаются все 16 процессоров. Второй вид приложений работает так, что значительная часть страницы является частной, т. е. к ней обращается только один процессор. При работе третьего вида приложений к странице обращаются от 2 до 15 процессоров. В среднем по всем приложениям страницы, к которым обращаются от 2 до 15 процессоров, составляют 42% от всех страниц. Работа [7] нацелена на устранение избыточных запросов к этим страницам. Причем длительное выполнение приложений не меняет существенно характера их обращений к страницам памяти. Данная работа нацелена на снижение количества запросов наблюдения при работе третьего вида приложений.

Авторами были проведены эксперименты с 15 приложениями в МС (16 процессоров) с целью определения, насколько часто запросы наблюдения обращаются к страницам с различными значениями области наблюдения. В табл. 4 представлено, какая доля запросов наблюдения соответствует страницам с различным значением области наблюдения (размер страницы 8 КБ).

Для реализации предлагаемого метода в соответствующую строку PT записываются номера процессоров, обратившихся к данной странице. Эти номера записываются и в соответствующие строки буферов трансляции страниц (TLB)

**Таблица 4** Соответствие запросов наблюдения значениям областей наблюдения

Значение области наблюдения	Доля запросов наблюдения, %
1	5,7
2–3	7,0
4–7	17,8
8–15	17,3
16	52,2

VPN	PPN	Вектор разделения
0xd100	0x100	0000000100000010

**Рис. 5** Вектор разделения: VPN — виртуальный адрес страницы; PPN — физический адрес страницы

всех процессоров. Запросы в системе наблюдения будут передаваться только этим процессорам. Каждому процессору в строках РТ и TLB отводится 1 бит. Все дополнительные биты образуют вектор разделения. На рис. 5 приведен пример записи вектора разделения в строку TLB.

В данном примере вектор разделения содержит номера второго и девятого процессора. Эти два процессора составляют область наблюдения страницы с физическим адресом 0x100. При добавлении нового процессора в область наблюдения векторы разделения в РТ системы и TLB всех процессоров должны преобразовываться. Для предотвращения состязаний преобразование строк РТ и TLB должно завершиться до того, как процессору будет предоставлена возможность обращения к странице.

В описанном здесь методе номера процессоров добавляются в вектор разделения, но никогда не удаляются из него. Однако в ходе выполнения приложения вектор разделения может содержать и так называемые «устаревшие биты», т. е. биты, соответствующие номеру процессора, прекратившего обращаться к данной странице. Чтобы учесть такую ситуацию, используется процесс сокращения вектора разделения (и области наблюдения). В ходе такого процесса отслеживаются удаления страницы из TLB процессора. По завершении удаления страницы из вектора разделения удаляется соответствующий бит (как в строке TLB процессора, так и в РТ). Для сокращения области наблюдения процессор, пытающийся удалить себя из этой области, преобразует вектор разделения в соответствующей строке РТ, а затем посылает запросы на сокращение векторов разделения в TLB процессоров, принадлежащих данной области наблюдения.

Процесс сокращения подобласти наблюдения запускается в тот момент, когда из частного кэша процессора вытесняется некоторый блок. При этом соответствующая этой странице строка TLB должна быть аннулирована. Чтобы не влиять на производительность системы, процесс сокращения области наблюдения выполняется как фоновый.

При работе МС в любой момент времени должно быть обеспечено соответствие строк РТ и TLB процессоров. В обычной системе строка РТ преобразуется

при изменении виртуальной страницы обращения к памяти или изменении прав доступа к странице. В предлагаемой системе строка РТ должна преобразоваться при изменении области наблюдения. Возможны два способа поддержания соответствия строк РТ и TLB. Первый способ заключается в выработке специального межпроцессорного прерывания, которое указывает процессору на необходимость аннулирования строки в своем TLB. Однако проще выполнить эту задачу, пошлав сообщения всем процессорам в сети о необходимости аннулирования строки в своих TLB. После выполнения аннулирования процессоры посылают сообщения о его завершении.

При промахе в TLB одного из процессоров в этом TLB кэшируется новая строка, после чего выполняется атомарная (т. е. неделимая) операция чтения–модификации–записи в новой строке TLB в части вектора разделения. Процессор изменяет только бит, соответствующий своему номеру, не искажая других битов в векторе разделения. Атомарность операции чтения–модификации–записи исключает возможность состязаний в системе. После этой операции модифицируется соответствующая строка в РТ. Запрос процессора к памяти выполняется только после того, как этот процессор получит сообщения от других процессоров, принадлежащих данной области наблюдения, о завершении ими модификации строк в своих TLB.

По сравнению с обычной системой поддержания когерентности в предлагаемой системе имеются две дополнительные операции. Первая из них — атомарная операция чтения–модификации–записи. Вторая — рассылка указаний о модификации строк TLB процессорам, принадлежащим данной подобласти наблюдения, и ожидание от них ответа с подтверждением. Первая операция выполняется системой поддержания когерентности, а вторая — ОС.

В связи с этим важно определить, не снижает ли предлагаемый метод общую производительность системы. В работе [7] приводятся данные по работе 15 приложений — научных, коммерческих и серверных программ — о доле операций преобразования подобласти наблюдения среди всех инструкций приложений. Эти данные показывают, что такие операции весьма редки. Так, на 1000 инструкций в приложении Apache выполняется 0,103 преобразования подобласти наблюдения — это самая большая доля. Для остальных приложений эта доля составляет от 0,001 до 0,053 преобразования подобласти наблюдения на 1000 инструкций.

**Результаты экспериментов.** С целью проверки эффективности предложенного метода были проведены эксперименты с 15 прикладными программами. Моделируемая система состояла из 16 процессоров. Система содержала кэш второго уровня объемом 512 КБ, число каналов — 8, размер строки — 64 Б. Данные по снижению количества запросов наблюдения приведены относительно снижения запросов при использовании идеального протокола, т. е. такого протокола, при котором каждый процессор обладает информацией о необходимости посылки запроса когерентности. Такие данные не представляют особого интереса.

Следует только отметить, что сокращение области наблюдения дает небольшое снижение количества запросов наблюдения — в среднем по всем приложениям 4%. В работе делается предположение, что небольшой эффект от сокращения области наблюдения объясняется относительно небольшим временем работы приложений и что при увеличении этого времени эффект будет становиться заметнее.

**Сетевой трафик.** Сетевой трафик в системах поддержания когерентности на основе наблюдения составляют запросы наблюдения и передача данных. Метод выделения подобластей наблюдения позволяет уменьшить количество когерентных запросов в среднем на 23%. А на отдельных приложениях снижение сетевого трафика существенно заметнее. Так, на приложении *cholesky* трафик снижается на 40%, на приложении *fft* — на 52%, на приложении *lu* — на 48%, на приложении *ocean* — на 50%.

**Повышение производительности.** В табл. 5 приведены данные по снижению времени выполнения программ для пяти приложений. Данные разбиты на две группы — для системы с сокращением области наблюдения и без сокращения. При работе остальных приложений время выполнения либо вообще не меняется, либо уменьшается незначительно.

**Таблица 5** Уменьшение времени выполнения программ

Приложение	Уменьшение времени выполнения программ, %	
	Без сокращения области наблюдения	С сокращением области наблюдения
Cholesky	4	4
Fft	4	4
Fmm	7	8
Lu	2	2
Ocean	3	3
Среднее значение	4	4,2

Из приведенных здесь данных видно, что заметное повышение производительности достигается только на приложении *fmm*.

## 5 Выводы

В статье представлены различные методы оптимизации систем поддержания когерентности на основе наблюдения. В этом разделе приведены краткое описание каждого их методов, данные по эффективности методов и избыточность, необходимая для реализации каждого из этих методов (табл. 6–8).



**Таблица 6** Описание методов оптимизации систем поддержания когерентности

Метод	Краткое описание
Фильтрация запросов наблюдения	Фильтрация запросов наблюдения, адреса которых не содержатся в локальном кэше процессора и для которых не нужно проверять адресные теги строк локального кэша
Анализ регионов наблюдения	Выделение для каждого процессора областей (регионов) общей памяти, не содержащих ни одной из строк, размещенных в локальном кэше этого процессора
Использование массивов регионов наблюдения	Использование информации о когерентном состоянии каждого процессора по отношению к какой-либо области (региону) общей памяти. При этом учитываются такие же состояния других процессоров системы. Под когерентным состоянием понимаются такие состояния, как невалидное, «чистое», модифицированное
Использование области наблюдения	Выделение области наблюдения для каждой страницы общей памяти. Такая область определяется подмножеством процессоров, запросы наблюдения которых содержат адреса блоков, имеющихся в данном регионе

**Таблица 7** Показатели эффективности методов оптимизации систем поддержания когерентности

Метод	Показатели эффективности		
	Снижение интенсивности запросов наблюдения	Снижение потребления энергии	Повышение производительности
Фильтрация запросов наблюдения	70% (фильтр гибридного типа)	55% (фильтр гибридного типа)	Нет данных
Анализ регионов наблюдения	27% (локальный кэш L <sub>2</sub> ) 37% (разделенный кэш L <sub>2</sub> )	3% (система из 4 процессоров) 13% (система из 8 процессоров)	Нет данных
Использование массивов регионов наблюдения	7%	Нет данных	0,86%
Использование области наблюдения	23%	Нет данных	2,9%

## 6 Заключение

Метод использования области наблюдения более эффективен в системах с большим числом процессоров. Этот метод требует меньше дополнительных средств, так как используются имеющиеся в системе ресурсы, а именно TLB.

**Таблица 8** Дополнительные средства, используемые в методах оптимизации систем поддержания когерентности

Метод	Используемые дополнительные средства
Фильтрация запросов наблюдения	Фильтры (исключающие, включающие и гибридные). В модифицированных методах фильтрации — потоковые регистры, счетчики запросов наблюдения
Анализ регионов наблюдения	Таблица неразделенных регионов. Таблица кэшированных регионов
Использование массивов регионов наблюдения	Массив регионов когерентности, каждая строка которого содержит информацию о состоянии процессора по отношению к данному региону
Использование области наблюдения	Поддержка ОС, используются PT и TLB. В этих структурах введена дополнительная информация о процессорах, совместно использующих данную страницу

Эффективность метода фильтрации существенно зависит от характера приложения, т. е. от степени разделения данных по регионам памяти.

При сравнении методов анализа регионов наблюдения и использования массивов регионов наблюдения следует отдать предпочтение последнему как более тонкому методу, в котором учитывается не только наличие разделенных данных, но и их когерентное состояние, т. е. содержит регион блок модифицированных данных или нет. Для реализации каждого из этих двух методов требуется примерно одинаковый объем средств.

## Литература

1. *Cantin J., Lipasti M., Smith J.* Improving multiprocessor performance with coarse-grain coherence tracking // ISCA'05: 32nd Annual Symposium (International) on Computer Architecture Proceedings. — Washington: IEEE Computer Society, 2005. P. 246–257.
2. *Moshovos A., Memik G., Choudhary A., Falsafi B.* JETTY: Filtering snoops for reduced energy consumption in SMP servers // HPCA'01: 7th Symposium (International) on High-Performance Computer Architecture Proceedings. — Washington: IEEE Computer Society, 2001. P. 85–96.
3. *Salapura V., Blumrich M., Gara A.* Improving the accuracy of snoop filtering using stream registers // MEDEA'07: 2007 Workshop on Memory Performance: Dealing with Applications, Systems and Architecture Proceedings. — New York: ACM, 2007. P. 25–32.
4. *Blumrich M. A., Salapura V., Gara A.* Exploring the architecture of a stream register-based snoop filter // Transactions on high-performance embedded architectures and compilers III. — Springer, 2011. P. 93–114.
5. *Ranganathan A., Bayrak A. G., Kluter T., Brisk P., Charbon E., Ienne P.* Counting stream registers: An efficient and effective snoop filter architecture // 2012 Conference

- (International) on Embedded Computer Systems Proceedings. — Washington: IEEE Computer Society, 2012. P. 120–127.
6. *Moshovos A.* RegionScout: Exploiting coarse grain sharing in snoop-based coherence // ISCA'05: 32nd Annual Symposium (International) on Computer Architecture Proceedings. — Washington, IEEE Computer Society, 2005. P. 234–245.
  7. *Kim D., Ahn J., Kim J., Huh J.* Subspace snooping: Filtering snoops with operating system support appears // PACT'10: 19th Conference (International) on Parallel Architectures and Compilation Techniques Proceedings. — New York: ACM, 2010. P. 111–122.

Поступила в редакцию 01.07.14

---

---

## METHODS OF OPTIMIZATION OF SNOOPING CACHE COHERENCE SYSTEMS

*B. Z. Shmeilin*

Institute of Informatics Problems, Russian Academy of Sciences, 44-2 Vavilov Str.,  
Moscow 119333, Russian Federation

**Abstract:** During development of multiprocessor systems, an important task is maintenance of consistency (coherence) of data local cache processors. To ensure consistency of data, each processor in the system checks other processors on the presence of shared data in their cache by sending requests on network processors. However, a significant part of such requests is redundant, which increases network traffic and energy consumption when checking address tags. This article provides an overview of various methods of eliminating redundant requests in snoop-based coherence systems. The final section provides comparative characteristics of these methods and recommendations for the effective use of each method.

**Keywords:** multiprocessor systems; snoop-based coherence systems; page table; translation lookaside buffer

**DOI:** 10.14357/08696527140409

### References

1. *Cantin, J., M. Lipasti, and J. Smith.* 2005. Improving multiprocessor performance with coarse-grain coherence tracking. *ISCA'05: 32nd Annual Symposium (International) on Computer Architecture Proceedings*. Washington: IEEE Computer Society. 246–257.
2. *Moshovos, A., G. Memik, A. Choudhary, and B. Falsafi.* 2001. JETTY: Filtering snoops for reduced energy consumption in SMP servers. *HPCA'01: 7th Symposium (International) on High-Performance Computer Architecture Proceedings*. Washington: IEEE Computer Society. 85–96.
3. *Salapura, V., M. Blumrich., and A. Gara.* 2007. Improving the accuracy of snoop filtering using stream registers. *MEDEA'07: 2007 Workshop on Memory Performance*:

- Dealing with Applications, Systems, and Architecture Proceedings*. New York, ACM. 25–32.
4. Blumrich, M. A., V. Salapura, and A. Gara. 2011. Exploring the architecture of a stream register-based snoop filter. *Transactions on high-performance embedded architectures and compilers III*. Springer. 93–114.
  5. Ranganathan, A., A. G. Bayrak, T. Kluter, P. Brisk, E. Charbon, and P. Ienne. 2012. Counting stream registers: An efficient and effective snoop filter architecture. *2012 Conference (International) on Embedded Computer Systems Proceedings*. Washington: IEEE Computer Society. 120–127.
  6. Moshovos, A. 2005. RegionScout: Exploiting coarse grain sharing in snoop-based coherence. *ISCA'05: 32nd Annual Symposium (International) on Computer Architecture Proceedings*. Washington, IEEE Computer Society. 234–245.
  7. Kim, D., J. Ahn, J. Kim., and J. Huh. 2010. Subspace snooping: Filtering snoops with operating system support appears. *PACT'10: 19th Conference (International) on Parallel Architectures and Compilation Techniques Proceedings*. New York: ACM. 111–122.

Received July 1, 2014

## Contributor

**Shmeilin Boris Z.** (b. 1939)—Candidate of Science (PhD) in technology, associate professor, senior scientist, Institute of Informatics Problems, Russian Academy of Science, 44-2 Vavilov Str., Moscow 119333, Russian Federation; shmeilin@mail.ru

## О НОВОЙ КОНЦЕПЦИИ ИНФОРМАТИЗАЦИИ ОБРАЗОВАНИЯ

*В. В. Вихрев<sup>1</sup>, А. С. Христочевская<sup>2</sup>, С. А. Христочевский<sup>3</sup>*

**Аннотация:** Рассматриваются вопросы информатизации образования. Проанализированы результаты выполнения прогнозирувавшихся трех этапов, намеченных в первых концепциях информатизации образования (КИО). Отмечено, что радикального изменения системы образования так и не произошло, несмотря на успехи информатизации общества в целом. Авторы выделяют четыре этапа, которые реально были осуществлены: компьютеризация, мультимедиазация; интернетизация и электронизация. В связи с переходом к новой форме государственности в России, стабилизации экономических и социальных процессов, принятием нового закона об образовании обосновывается необходимость разработки новой КИО, в которой необходимо провести системный анализ результатов выполнения предыдущих концепций (последняя была подготовлена еще в 1998 г.), учесть особенности текущего этапа электронизации, в котором на смену экстенсивным факторам развития должны прийти интенсивные при взрывном характере так называемой «мобильной интернет-революции», учесть потребности информатизации образования для людей со специальными потребностями в образовании. Также должны быть разработаны критерии эффективности использования информационно-коммуникационных технологий (ИКТ) в образовании. Предлагается проведение широкого обсуждения новой концепции.

**Ключевые слова:** информатизация образования; концепция информатизации образования; безопасность Интернета; мобильная революция

**DOI:** 10.14357/08696527140410

Процесс информатизации среднего образования<sup>4</sup> в России продолжается почти 30 лет. Можно утверждать, что инициирован он был Академией наук СССР: первая КИО была подготовлена рабочей группой под руководством академика А. П. Ершова в 1988 г. [1]. В данной концепции ставились, в частности, следующие задачи:

- формирование компьютерной грамотности как элемента общеобразовательной подготовки человека; обучение профессиональному использованию новых информационных технологий (НИТ);

<sup>1</sup>Институт проблем информатики Российской академии наук, VVikhrev@ipiran.ru

<sup>2</sup>Автономная некоммерческая организация «Информационные технологии в образовании», cas@ito.edu

<sup>3</sup>Институт проблем информатики Российской академии наук, SChristochevsky@ipiran.ru

<sup>4</sup>В статье не рассматриваются вопросы, связанные с информатизацией высшего образования.

- развитие содержания и методов обучения на основе НИТ;
- использование НИТ в качестве орудий труда;
- досуговое применение электронных вычислительных машин (ЭВМ);
- использование ЭВМ в управлении образованием.

Предполагалось, что впоследствии должен произойти массовый переход к изучению общеобразовательных дисциплин с использованием ЭВМ на всех ступенях образования, а также ввод в действие общедоступных баз данных для всех видов обучения и управления образованием.

Уже через год, т. е. в 1989 г., на Втором пленуме Общественного научно-методического совета информатизации образования на основе этой первой концепции А. П. Ершова была принята следующая, более краткая версия концепции [2], в которой сжато были изложены положения первой концепции. Главенствующим для обеих концепций было следующее положение: «Информатизация образования — процесс подготовки человека к полноценной жизни в условиях информационного общества». Одновременно были поставлены и цели, связанные с радикальным изменением самой системы образования [2]:

«Проникновение НИТ в сферу образования позволит педагогам качественно изменить содержание, методы и организационные формы обучения. Информатизация образования является не только следствием, но и стимулом развития НИТ, способствует ускоренному социально-экономическому развитию общества в целом. Новые информационные технологии в образовании способствуют:

- раскрытию, сохранению и развитию индивидуальных способностей обучаемых, присущего каждому человеку уникального сочетания личностных качеств;
- формированию у учащихся познавательных способностей, стремления к самосовершенствованию;
- обеспечению комплексности изучения явлений действительности, неразрывности взаимосвязи между естествознанием, техникой, гуманитарными науками и искусством;
- постоянному динамичному обновлению содержания, форм и методов процессов обучения и воспитания».

В Концепции [2] прогнозировалось осуществление трех этапов. Сегодня не вызывает сомнений факт, что задачи первого этапа, связанные с освоением информационных технологий, разворачиванием исследовательской работы, поиском новых методов и форм, неприменимых при использовании традиционной технологии, в основном были выполнены.

Задачи второго этапа содержали, в частности, следующие цели:

- «активное освоение и фрагментарное внедрение средств НИТ в традиционные учебные дисциплины и на этой основе — массовое освоение педагогами новых методов и организационных форм учебной работы;

- практическая постановка вопроса о радикальном пересмотре содержания образования, традиционных форм и методов учебно-воспитательной работы;
- разработка и начало освоения систем учебно-методического обеспечения («программно-методических комплексов», «компьютерных курсов»), включающих программные средства для ЭВМ, различные видео- и аудиоматериалы, тексты для учащихся и методические материалы для педагогов. При изучении «компьютерных курсов» традиционные организационные формы и методы обучения свободно сочетаются с индивидуальными, групповыми и лекционными формами работы, с занятиями в компьютерных, физических и других лабораториях».

Предполагалось, что на третьем этапе должна произойти радикальная перестройка содержания всех ступеней непрерывного образования, обусловленная процессом информатизации общества, смена методической основы обучения, освоение каждым педагогом широкого спектра конкурирующих и взаимодополняющих методов и организационных форм обучения, поддерживаемых соответствующими средствами НИТ.

Можно констатировать, что задачи второго этапа на сегодня решены далеко не полностью, а к радикальной перестройке содержания системы образования в целом мы еще даже не приступали (хотя, безусловно, нельзя отрицать наличие новых элементов, внедряемых педагогами-энтузиастами и оказывающих положительное влияние на достаточно инертную образовательную систему). Такое положение объясняется тем, что в тот период ставились завышенные, идеализированные цели и задачи, делался упор в первую очередь на повсеместное внедрение вычислительной техники как базовой основы для информатизации общества, и это объективно было необходимо для привлечения общественного внимания к проблеме информатизации образования и обеспечения соответствующего финансирования. Однако сегодня уже представляется ошибочным ставить проведение радикальной реформы образования в прямую зависимость от степени информатизации, которая к тому же на практике обычно понимается гораздо более узко — как компьютеризация, т. е. просто техническое оснащение учебных заведений (что, в свою очередь, тоже объективно оправданно: техническое оснащение поддается количественному учету, следовательно, достижения в этой области гораздо проще представить в различного рода отчетных формах, чем качественные показатели реформы образования). Но опыт прошедших трех десятилетий убедительно показывает, что внедрение ИКТ является необходимым, но не достаточным фактором, и не способно в отрыве от качественной составляющей решительно повлиять на перестройку образования.

По мнению авторов, при рассмотрении процесса информатизации образования в контексте развития средств ИКТ и информатизации общества в целом можно выделить определенные этапы, через которые реально прошло наше общество и которые не вполне совпадают с тем, что закладывалось в первых

концепциях (хотя общая направленность движения очевидна и не противоречит первоначальному плану):

- *компьютеризация*, т. е. оснащение школ минимально необходимым количеством вычислительной техники и минимальным педагогическим программным обеспечением;
- *мультимедиазация* — замена первых поколений персональных компьютеров мультимедийными и последующее широкое использование медийных средств в иллюстративных и прочих целях, создание локальных баз электронных образовательных ресурсов (ЭОР);
- *интернетизация* — подключение школ к сети Интернет, создание федеральных хранилищ ЭОР, начало формирования единого информационно-образовательного пространства.

При этом пока еще рано говорить о наличии сформировавшейся культуры использования возможностей, появившихся у образовательных учреждений в связи с подключением к сети Интернет, и о достаточной степени ориентированности пользователей в открывшемся едином информационном пространстве.

Каждый из перечисленных этапов характеризуется совокупностью проблем и задач, в выявлении, обозначении и попытках решения которых, собственно, и состоял до настоящего времени процесс информатизации образования. Отметим, что различные регионы страны проходили эти этапы в совершенно различные сроки (так, в одних регионах фактически уже заканчивался третий этап, а в других только начинали появляться первые компьютеры в школах, причем появление компьютера в школе далеко не всегда являлось гарантией начала его незамедлительного использования в образовательном процессе). К ключевым проблемам всех регионов, возникшим с первых же шагов информатизации, можно отнести недостаточную надежность технических средств, трудности в обслуживании первых учебных компьютеров, отсутствие четких методических рекомендаций при разработке программного обеспечения для поддержки образовательного процесса, необходимость перестройки системы подготовки и переподготовки преподавателей, а также просто необходимость повышения уровня компьютерной грамотности. В результате к настоящему моменту в масштабах страны все же сложилась определенная инфраструктура информатизации образования.

Следует отметить, что на протяжении довольно длительного времени разработке учебно-методического обеспечения уделялось недостаточное внимание как разработчиками программного обеспечения, так и непосредственно работниками сферы образования, в том числе появилась трудно решаемая проблема несовпадения интересов разработчиков с реальными потребностями и запросами системы образования (необходимость быстрого выпуска массового продукта, приносящего коммерческий успех, с одной стороны, и устоявшиеся традиции и стереотипы обучения, с другой). Тем не менее уже в первом десятилетии XXI в. были разработаны и введены в эксплуатацию несколько государственных хранилищ ЭОР (в контексте данной работы электронные и цифровые ресурсы



рассматриваются как синонимы). Наиболее посещаемое из них — это Единая коллекция цифровых образовательных ресурсов: к концу сентября 2014 г. ее ресурсами воспользовалось более 30 млн человек, каждый из которых в среднем просмотрел как минимум четыре ресурса [3]. Всего за это время пользователи просмотрели в Единой коллекции более 125 млн ресурсов. К сожалению, оперировать здесь можно только количественными данными, но не качественными, на основе которых можно было бы судить о степени успешности применения просмотренных ресурсов в учебном процессе, и это еще раз подтверждает высказанное авторами статьи мнение, что наиболее заметный для общественности период информатизации приходится на ее начальные этапы, т. е. те периоды, когда качественные сдвиги можно было действительно выразить в количественных показателях — установленная техника, часы преподавания информатики в школе и т. п., в настоящее же время, несмотря на достаточно бурное развитие средств ИКТ и неизбежное внедрение их в образовательный процесс, в обществе нарастает состояние неудовлетворенности, вызываемое видимым замедлением происходящих в сфере образования процессов.

Повторим, что, несмотря на успешное выполнение ряда задач по информатизации образования, пока не произошло предсказанного концепциями радикального изменения системы образования<sup>1</sup> и вряд ли необходимо связывать его только с процессом информатизации. К недостаткам первых концепций можно отнести также и то, что в них весьма расплывчато была дана оценка влияния информатизации на эффективность как самого образовательного процесса, так и использования применяемых средств ИКТ. Вопросы повышения эффективности актуальны и сейчас (см., например, [4]: «Что считать критерием эффективности включенности информационно-коммуникационных технологий в целом и каждого отдельного элемента ИКТ в отдельности в образовательный процесс?»). Можно обратить внимание и на тот факт, что совершенно неожиданно в среде педагогов и методистов сформировалось убеждение, что именно учитель должен стать разработчиком ресурсов, поскольку именно он лучше всех представляет себе потребности своих учеников. Такое мнение, безусловно, имеет право на существование, однако широкое внедрение этого принципа (а тенденции к этому отчетливо прослеживаются, в частности, в ходе проведения ежегодных конкурсов педагогического мастерства по применению ЭОР в образовательном процессе) говорит скорее о нарастании непонимания между методистами-разработчиками и педагогами-практиками, об искажении роли педагога, о недостаточном умении прежде всего самого педагога свободно ориентироваться в информационном потоке, анализировать информацию и адаптировать ее для нужд конкретного урока. Вместе с тем это говорит и о недостаточном умении разработчиков создавать ресурсы, снабжая их четким поисковым аппаратом, структурируя информацию,

---

<sup>1</sup>Введение Единого государственного экзамена (ЕГЭ) едва ли можно считать радикальной реформой образования, поскольку его с гораздо большим основанием можно отнести к показателям количественным, нежели качественным.

с тем чтобы облегчить работу педагогу при подборе материалов. Все это еще раз иллюстрирует недостаточный уровень информационной культуры общества в целом и образования в частности, и это является одной из актуальных задач, на решение которой должна быть направлена новая концепция информатизации.

В настоящее время процесс информатизации образования вступает в новый этап, который может быть назван этапом *электронизации*. Он связан с повсеместным (можно даже сказать «революционным») распространением мобильных электронных устройств различного типа и назначения, что позволяет уже вести речь о таком явлении, как наступление эпохи мобильного Интернета. Следует отметить, что мобильная революция реализуется на базе предшествующих технических революций: мультимедийной и сетевой. Главная особенность этого этапа — переход к новому типу компьютера, означающий новую стадию в развитии вычислительной техники. В свое время эпохальным оказался переход от больших и малых ЭВМ к микроЭВМ, к персональному компьютеру, и это означало большой качественный сдвиг в развитии ИКТ. Аналогичные эпохальные сдвиги мы наблюдаем и сегодня: переход от персонального компьютера к мобильному устройству означает глобальную смену комплекса парадигм, связанных с пониманием места, роли и задач вычислительной техники, способов ее использования. Можно отметить, что Министерство образования и науки РФ инициировало проект, связанный с разработкой и начальной апробацией интерактивных мультимедийных электронных учебников, как часть проекта «Развитие образовательных интернет-ресурсов нового поколения» (<http://www.openclass.ru/node/234344>) в 2011–2012 гг., однако после первой апробации руководство Министерства потеряло интерес к продолжению научно-исследовательских и пилотных работ в этом направлении.

Отметим также, что используемые коллекции ЭОР достаточно быстро устаревают — как в связи с прогрессом вычислительной техники, так и в связи с теми быстро меняющимися требованиями, которое выдвигает современное информационное общество. Сегодня понятию жизненного цикла для коллекций ЭОР не только не уделяется должного внимания — оно даже не обсуждается, фактически мы видим технологию «разработал–разместил–забыл», о поддержке речи не ведется. Отсутствует понимание того, что федеральные хранилища образовательных ресурсов, насчитывающие в настоящее время свыше 150 тыс. электронных ресурсов, должны регулярно актуализироваться как с точки зрения учебно-методического содержания, так и в связи с переходом на современные программно-аппаратные платформы, а также обновляться с учетом реального опыта их использования в учебном процессе. Однако мнение, что фирмы, которые разрабатывают учебно-методическое обеспечение для среднего образования, должны теперь разрабатывать его самостоятельно, а задача министерства или экспертов — выбрать из разработанного лучшие образцы, — это мнение опровергается жизненной ситуацией. Разработка учебного программного обеспечения требует очень больших затрат и, как

правило, не окупается в дальнейшем, и фирмы-разработчики не могут быть в таких условиях заинтересованы еще и в поддержке разработанных ресурсов в течение даже весьма непродолжительного времени. Поэтому нужны целевые государственные программы поддержки разработчиков образовательных ресурсов, причем принцип организации таких программ должен быть пересмотрен в сторону более разумных сроков исполнения, отладки и тем более поддержки продукта. Отсутствие таких целевых программ, опять же, приведет к тому, что педагоги будут вынуждены самостоятельно пытаться разработать ресурсы, вместо того чтобы применять на практике лучшие из уже имеющихся.

Несмотря на перечисленные проблемы, требующие скорейшего и внимательного решения, в Российской Федерации в целом вопросам информатизации образования уделяется все меньше внимания: не так давно был ликвидирован Департамент Минобрнауки РФ, который курировал соответствующие направления, а государственная поддержка программ информатизации образования продолжает неуклонно сокращаться. Концепция информатизации образования не актуализировалась на протяжении более 10 лет, что практически привело к вакууму в сфере образования, где кардинальные изменения в ИКТ происходят каждые 3–4 года. Последняя редакция КИО для высшей школы была подготовлена еще в 1998 г. С тех пор мы пребываем в ситуации, когда система образования вынуждена делать тактические шаги при отсутствии общей стратегии.

Безусловно, нельзя не отметить и достаточное количество положительных сдвигов: сложились и продолжают развиваться команды разработчиков ЭОР, накоплен немалый опыт разработки и практического использования ЭОР, создана система бесплатного распространения ресурсов, практически сложилась система обмена опытом в сфере информатизации. На основе сети Интернет складывается единое информационное образовательное пространство, становится доступным для анализа и применения зарубежный опыт постановки и решения проблем информатизации образования. Однако все эти разрозненные шаги необходимо связать в единое целое, с тем чтобы обеспечить максимальную эффективность каждого из звеньев в цепочке информатизации.

Наступил момент, когда на смену экстенсивным факторам развития должны были бы прийти интенсивные, и, казалось бы, ничего нереального в этой задаче быть не должно. Однако ситуация осложняется тем, что этот момент совпал с началом так называемой «мобильной революции». Ее принципиальное отличие от предыдущей смены поколений персональных компьютеров состоит в том, что теперь компьютер превращается в часть личной информационной среды, окружающей человека и влияющей на характер самого существования человека. Одновременно формируется искусственная компьютеризированная окружающая среда. При этом компьютер как инструмент человеческой деятельности ориентирован прежде всего на поддержку когнитивной составляющей этой деятельности. В самом общем виде применительно к информатизации общества ситуация мо-

жет быть охарактеризована как необходимость трансляции человеческого знания в «компьютерную» форму.

Следует обратить внимание и на то, что проблема организации образовательного процесса в среде мобильного Интернета заключается в резком возрастании рисков нежелательных явлений, связанных с пребыванием школьников в сети Интернет, в частности при общении со сверстниками вне занятий. Сейчас учащийся может, используя свой мобильный телефон, выходить в сеть не только из дома или из школы, но и из любой точки, в которой оператор мобильной связи обеспечивает доступ к мобильному Интернету. Это не только предоставляет дополнительные возможности для решения различных образовательных задач, но и прежде всего позволяет школьникам проводить гораздо больше времени в социальных сетях и Интернете без использования домашнего или школьного компьютера, который может контролироваться взрослыми. Установление же тотального запрета на использование школьниками мобильного Интернета представляется мерой абсурдной, однако, несомненно, требуется принятие мер, защищающих несовершеннолетних от нежелательного контента и обеспечивающих им безопасное пребывание в сети Интернет, в том числе и с использованием точек мобильного доступа. Это является одной из проблем, которая также должна решаться при помощи стратегии, сформулированной в новой КИО, необходимость в создании которой представляется очевидной.

С точки зрения авторов, в современных условиях совершенно необходимо вести речь о комплексной оценке сложившейся ситуации в целом и о начале разработки новой КИО. Почему именно сейчас назрела острая необходимость в выработке новой КИО?

Налицо соединение ряда важных социотехнических моментов. Завершился переход к новой форме государственности в России, относительно стабилизировались экономические и социальные процессы. В области образования это выразилось в формировании новых институций, часть из которых еще должна пройти проверку временем (как, например, ЕГЭ). Новый Закон об образовании фиксирует сложившуюся новую ситуацию, процессы трансформации в образовании в целом наметились. Завершается переход от индустриального общества к первой ступени общества информационного. Информатизация общества стала свершившимся фактом, изменившим и изменяющим экономический, социальный и культурный базисы российской цивилизации. Наконец, собственно в сфере вычислительной техники происходит стадийный переход от микрокомпьютерной, базирующейся на использовании персональных компьютеров, фазы развития ИКТ к мобильной фазе, спецификой которой становится повсеместное распространение мобильных и встроенных устройств.

В этих условиях информатизация образования уже подходит к своему тридцатилетнему рубежу. Накоплен немалый опыт, наметились отчетливые тенденции, обозначились и проблемы, в том числе нерешенные или даже в принципе нерешаемые. Следовательно, необходимым становится системный анализ всего, что достигнуто в этой сфере, в контексте сложившейся ситуации. Необходимы

также оценочные прогнозы возможных перспектив и путей развития. Можно согласиться с Прокудиным [5], что информатизация образования является основным фактором развития отечественного образования, поэтому разработка новой концепции объективно является жизненно необходимой.

Авторы полагают, что в новой концепции должны быть затронуты вопросы, связанные с наступлением этапа электронизации (т.е. распространения мобильных электронных устройств различного типа и назначения), с использованием мобильного Интернета и его возможностей для реализации непрерывного образования, в том числе для людей со специальными потребностями в образовании, непременно должна быть проработана проблема обеспечения безопасного использования Интернета и пр. Должны быть также разработаны критерии эффективности использования ИКТ в образовании. Важной частью концепции должна стать задача формирования информационной культуры общества, также должно быть уделено внимание проблемам разработки программных средств и электронных ресурсов для образовательных целей и мерам государственной поддержки таких разработок. При этом концепция должна пройти этап широкого обсуждения, в котором могли бы принять участие как ученые, так и работники сферы образования всех уровней, что позволит учесть максимально полно все нюансы стратегии развития информатизации образования на ближайшие годы. По результатам широкого обсуждения новой концепции представляется необходимым снова развернуть научно-исследовательские работы в институтах Российской академии образования и институтах Федерального агентства научных организаций, поскольку совершенно очевидным является то, что задачи, стоящие перед современной системой образования в России, не могут быть решены без применения комплексного научного подхода, учитывающего максимально возможное количество факторов. Все это приведет к тому, что новая КИО станет стратегическим планом и даст мощный импульс для создания конкретных планов по реализации положений концепции в различных регионах и образовательных учреждениях.

## Литература

1. Концепция информатизации образования (использование средств вычислительной техники в сфере образования): Проект. — М.: НИИШОТСО АПН СССР, 1988. 46 с.
2. Концепция информатизации образования // Информатика и образование, 1990. № 1. С. 3–9.
3. Единая коллекция цифровых образовательных ресурсов. [http://school-collection.edu.ru/statistic/?stat\\_status=1&sort=8](http://school-collection.edu.ru/statistic/?stat_status=1&sort=8).
4. Дудко Ю. Н. Оценка эффективности использования интерактивного оборудования в образовательных учреждениях. — Pandia.ru: Энциклопедия знаний, 2012. <http://www.pandia.ru/text/78/340/522.php>.

5. Прокудин Д. Е. Информатизация отечественного образования: итоги и перспективы. — Антропология: веб-кафедра философской антропологии, 2006. [http://anthropology.ru/ru/texts/prokudin/art\\_inf\\_edu.html](http://anthropology.ru/ru/texts/prokudin/art_inf_edu.html).

Поступила в редакцию 18.09.14

---

---

## TO A NEW CONCEPT OF INFORMATIZATION OF EDUCATION

V. V. Vikhrev<sup>1</sup>, A. S. Christochevskaya<sup>2</sup>, and S. A. Christochevsky<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Institute of Informatics Problems, Russian Academy of Sciences, 44-2 Vavilov Str., Moscow 119333, Russian Federation

<sup>2</sup>Autonomous noncommercial organization “Information Technologies in Education,” 72/2 Leninsky Prosp., Moscow 119261, Russian Federation

**Abstract:** The authors consider problems of using the information-communication technology in education (informatization of education). The results of three phases prognosticated in the first concepts of informatization of education are analyzed. It should be noted that there are no radical changes in the education system yet, though there is progress in informatization of the society as a whole. The authors consider four stages of informatization of education: computerization, multimediazation, internetization, and electronization. Taking into consideration a new form of state system in Russia, stabilization of economic and social processes, and adoption of a new education law, the authors base the necessity for developing and approving a new concept of informatization of education. According to this concept, it is necessary to analyze the results of fulfilling prior concepts (the latest one was presented in 1998), take into consideration peculiarities of the current electronic stage, when extensive factors are gradually substituted by intensive ones. Of course, the explosive character of “mobile Internet revolution” should be taken into account. This concept should also consider the role of informatization for people with special education needs. Criteria of usage of information and communications technologies in education should be developed as well. The paper provides wide discussion of the new concept.

**Keywords:** informatization of education; concept of informatization of education; mobile revolution; Internet security

**DOI:** 10.14357/08696527140410

## References

1. Kontseptsiya informatizatsii obrazovaniya (ispol'zovanie sredstv vychislitel'noy tekhniki v sfere obrazovaniya): Proekt [The concept of informatization of education (the use of computer technology in education): The project]. 1988. Moscow: NIISHOTSO APN SSSR [NIISHOTSO Academy of Pedagogical Sciences]. 46 p.

2. Kontsepsiya informatizatsii obrazovaniya [The concept of informatization of education]. 1990. *Informatika i Obrazovanie* [Informatics and Education] 1:3–9.
3. Edinaya kolleksiya tsifrovyykh obrazovatel'nykh resursov [A united collection of digital educational resources]. Available at: [http://school-collection.edu.ru/statistic/?stat\\_status=1&sort=8](http://school-collection.edu.ru/statistic/?stat_status=1&sort=8) (accessed May 31, 2014).
4. Dudko, Yu. N. 2012. Otsenka effektivnosti ispol'zovaniya interaktivnogo oborudovaniya v obrazovatel'nykh uchrezhdeniyakh [Evaluation of the effectiveness of interactive equipment in educational institutions]. Pandia.ru: Entsiklopediya znaniy [Encyclopedia of Knowledge]. Available at: <http://www.pandia.ru/text/78/340/522.php> (accessed May 31, 2014).
5. Prokudin, D. E. 2006. Informatizatsiya otechestvennogo obrazovaniya: Itogi i perspektivy [Informatization of education in Russia: Results and prospects]. *Antropologiya: Veb-kafedra filosofskoy antropologii* [Anthropology: Web Department of Philosophical Anthropology]. Available at: [http://anthropology.ru/ru/texts/prokudin/art\\_inf\\_edu.html](http://anthropology.ru/ru/texts/prokudin/art_inf_edu.html) (accessed May 31, 2014).

*Received September 18, 2014*

## **Contributors**

**Vikhrev Vladimir V.** (b. 1957) — senior scientist, Institute of Informatics Problems, Russian Academy of Sciences, 44-2 Vavilov Str., Moscow 119333, Russian Federation; [VVikhrev@ipiran.ru](mailto:VVikhrev@ipiran.ru)

**Christochevskaya Anna S.** (b. 1974) — Deputy Director, Autonomous non-commercial organization “Information Technologies in Education,” 72/2 Leninsky Prosp., Moscow 119261, Russian Federation; [cas@ito.edu](mailto:cas@ito.edu)

**Christochevsky Sergey A.** (b. 1971) — Candidate of Science (PhD) in physics and mathematics, Head of Laboratory, Institute of Informatics Problems, Russian Academy of Sciences, 44-2 Vavilov Str., Moscow 119333, Russian Federation; [SChristochevsky@ipiran.ru](mailto:SChristochevsky@ipiran.ru)



## О МЕХАНИЗМЕ РЕАЛИЗАЦИИ КОЭВОЛЮЦИОННОЙ МОДЕЛИ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА РАЗРАБОТКИ КОМПЬЮТЕРНЫХ ПРОГРАММ ДЛЯ ОБУЧЕНИЯ

*В. В. Вухрев*<sup>1</sup>

**Аннотация:** На основе рассмотрения ситуации в ключевой отрасли информатизации образования — отрасли разработки программного обеспечения (ПО) для обучения — определяется круг проблем, стоящих перед отраслью, и предлагается подход к решению нескольких, самых острых из них, путем применения возможностей сервисов Интернета. Компьютерная программа — тот элемент, который превращает универсальное устройство информационно-коммуникационных технологий (ИКТ) в средство обучения. Качество процесса обучения, зависящее от качества программ, определяется, как следствие, состоянием дел в отрасли разработки ПО. Между тем эта отрасль исследована совершенно недостаточно. Беглый анализ элементов дискурса участников процесса информатизации образования показывает, что внешняя картина не соответствует реальным отношениям внутри отрасли. Более глубокий анализ приводит к выводу, что начиная с первых шагов информатизации отрасль держалась в значительной степени на инициативе одиночек и небольших команд энтузиастов. В условиях хронического недофинансирования основным ресурсом развития стала энергия энтузиазма. А с массовым включением учителей в процесс информатизации школы сложилась искаженная картина о месте учителя в отрасли разработки ПО. На учителя легла обязанность разработчика. Между тем его деятельность должна лишь дополнять работу программиста. Правильно распределить обязанности в процессе разработки ПО для обучения поможет система кооперации труда разработчиков и учителей, основанная на модели коэволюции, т. е. взаимосвязанного развития ПО и его применения в конкретных педагогических технологиях. Для учителя эта система предоставит консультативную информацию. Для разработчика система станет средством дополнительного исследования предметной области и инструментом сопровождения, т. е. поддержкой тех этапов жизненного цикла программы для обучения, которые в наибольшей степени страдают от недофинансирования. Система реализуется на основе сервисов Интернета.

**Ключевые слова:** информатизация образования; отрасль разработки программного обеспечения; образовательный сегмент отрасли разработки программного обеспечения; программное обеспечение для обучения; коэволюция; коллективный разум

**DOI:** 10.14357/08696527140411

---

<sup>1</sup>Институт проблем информатики Российской академии наук, VVikhrev@ipiran.ru



## 1 Введение

Настоящая статья переводит в практическую плоскость проведенную ранее аналитическую работу по исследованию процессов внедрения ИКТ в школу и формирования на основе новых информационных технологий элементов самоорганизации в системе среднего образования [1–8].

Компьютерная программа — ключевое звено информатизации образования в той его части, что связана с предметным преподаванием. Именно специализированная компьютерная программа для обучения превращает универсальные устройства ИКТ в инструмент образования. За годы, прошедшие с начала информатизации образования в нашей стране (СССР, затем Российская Федерация) сложилась отрасль разработки ПО для образования. Она сложна и достаточно слабо исследована. Подобно тому, как финансирование образования не является приоритетной статьёй бюджетов разных уровней, эта отрасль также находится на втором плане внутри финансового пространства системы образования. В статье обозначаются принципиальные особенности разработки ПО для обучения, формулируются главные проблемы отрасли и предлагается вариант решения части названных проблем в сложившейся инфраструктуре информационного образовательного пространства.

## 2 Отрасль разработки программного обеспечения для обучения и ее проблемы

### 2.1 Что такое компьютерная программа и программное обеспечение для обучения?

Прежде всего ответим на вопрос: что означают термины *программа* и *программное обеспечение*? Ответ прост для любого, кто достаточно близок к предметной области «информатика и вычислительная техника». Он может звучать так: программа — это набор команд, записанных на языке того или иного уровня, совокупность которых (после перевода в форму, «понятную» компьютеру) реализует управление компьютером для достижения какой-либо цели. Тогда программное обеспечение — это совокупность программ, обеспечивающая возможность полезного использования компьютера при решении каких-либо задач. Эти значения возникли на заре вычислительной техники и вряд ли изменятся в обозримом будущем.

Компьютерная программа для обучения — это такая программа, которая управляет компьютером для достижения какой-либо из целей обучения. А ПО для обучения — такая совокупность программ, которая позволяет решать совокупность задач обучения. Под обучением здесь и далее понимается обучение предметное, т. е. изучение математики, физики, истории, языков и т. д.

С определенного момента, однако, термина *программа* оказывается недостаточно для обозначения артефактов ПО. Появляются термины *пакет прикладных программ*, *программный комплекс*, *программная система*. При взгляде на эти

термины, даже не пытаясь вникнуть в их значения, далекий от программирования человек способен сообразить, что сами по себе, набором входящих слов, они говорят об определенных трансформациях в области разработки программ — об увеличении в размерах и структурировании того, что называется программой, например.

О чем говорит появление терминов *система управлением базой данных* и *информационная система* или *текстовый процессор* и *издательская система*, заменяющих в дискурсе термин программа? Первые два есть взгляд с позиций программирования, они указывают, что произошло качественное переосмысление некоего факта, известного программистам и ранее. А именно: любая команда из набора, который выше назван *программой*, работает с некоторыми *данными*, несущими *информацию*. Но потребовалось проникновение вычислительной техники в новые области применения, в сферы экономики и управления социальными системами, в частности, чтобы как откровение и лозунг прозвучало: программа = структуры данных + алгоритмы [9]. Вторую пару терминов, *текстовый процессор* и *издательская система*, можно интерпретировать как взгляд на программу со стороны пользователя, когда слово *программа* заменяется в обозначении ПО названием главной цели или главной задачи его использования (языковой прием метонимии).

Трансформация терминосистемы во времени является индикатором происходящих в предметной области процессов даже для далекого от нее наблюдателя. Взглянем с этой точки зрения на изменения в использовании терминов терминосистемы ПО в образовательном дискурсе.

Обратимся к материалам конференции «Применение новых технологий в образовании», ежегодно проводимой в г. Троицке с 1990 г. Посмотрим, какие термины использовали докладчики для обозначения того, что по своей сути есть ПО для обучения, на трех конференциях, отнесенных на десять лет одна от другой (выборка составлена по заголовкам докладов):

**1994:** компьютерная программа, инструментальный пакет, исполнитель, компьютер, персональный компьютер, программно-методическая система, программно-методический комплекс, обучающая программа, программно-педагогическое средство (ППС), новая информационная технология, компьютерная поддержка, инструментальное средство, инструментальная система, обучающая среда, среда обучения, пакет программ, компьютерное обеспечение, графический редактор, программная среда, компьютерная лабораторная работа, обучающая контролирующая программа, компьютерный учебный курс, игровой компьютерный комплекс;

**2004:** электронное учебное издание, компьютерная программа, программное обеспечение, новая информационная технология, интерактивный курс, образовательная среда на основе динамических слайд-лекций, мультимедийный урок-игра, компонент информационных технологий, информационная система документооборота, информационная технология, программно-мето-

дический комплекс, информационная система, компьютерная технология, интерактивная мультимедийная программа, компьютерный тренажерный комплекс, система автоматизированного проектирования, урок-телеконференция, презентационная технология, моделирующая лабораторная работа, программный комплекс, автоматизированный компьютерный комплекс, e-learning система, школьный компьютерный тренажер, обучающая система, адаптивная обучающая система, инструментальное интеллектуальное программное средство, электронная презентация, виртуальная информационная среда;

**2014:** цифровой образовательный ресурс (ЦОР), электронный образовательный ресурс (ЭОР), интернет-ресурс, ресурс онлайн-обучения, гипертекстовый образовательный ресурс, сайт, электронное издание, электронный учебник, электронное пособие, электронный учебно-методический комплекс, средство электронного обучения, образовательный продукт, программа, компьютерная система, обучающая среда, обучающая видеоигра, виртуальная игровая модель, авторское средство, мультимедийная лекция, цифровая лаборатория, графический редактор, система динамической геометрии, видеоквест, конструктор текстов, информационный ролик, компьютерная модель, информационная система, средства ИКТ, ИКТ, информационная технология, компьютерная технология.

Сложность терминосистемы может свидетельствовать как о сложности предметной области, так и о сложных и размытых отношениях между акторами, действующими субъектами. С позиций разработчика достаточно легко прослеживается эволюция базового термина «программа» вслед за эволюцией вычислительной техники:

**1994:** программно-педагогический комплекс (программно-педагогическое средство) — достаточно простые персональные компьютеры, объединенные локальной сетью;

**2004:** электронное учебное издание (электронный учебник, мультимедийный учебник) — реализация технологий мультимедиа и компакт-диск как средство доставки;

**2014:** электронный (цифровой) образовательный ресурс — единое информационное пространство на основе Интернета.

Совсем другое дело — пользователи ПО, в основном педагоги высшего и среднего образования. Основная масса приведенных терминов порождена в их дискурсе. Часть из них — своего рода адаптация терминологии разработчиков, часть — продукт собственного понимания реалий предметного поля. Бросается в глаза обилие терминов, обозначающих, как следует из докладов, ПО и построенных по принципу синекдохи, т. е. имя целого обозначает часть. Например, термин *информационно-коммуникационная технология* был употребляем, как правило, именно в случаях, когда имелось в виду ПО. Вот фрагмент

доклада учителя [10, с. 110]: «По сравнению с традиционной формой ведения урока использование ИКТ высвобождает большое количество времени, которое можно употребить для дополнительного объяснения материала. На своих уроках в целях развития творческих способностей я использую следующие виды ИКТ:

- презентация — это наиболее распространенный вид представления демонстрационных материалов;
- обучающие игры и развивающие программы для младших школьников;
- дидактические материалы (представленные в электронном виде);
- программы-тренажеры;
- электронные учебники, энциклопедии».

В известном смысле появление и укоренение термина электронный (цифровой) образовательный ресурс можно рассматривать как бессилие человеческого ума в поисках ответа на вопрос: «Что такое компьютерная программа или ПО для обучения?»

## **2.2 Краткая характеристика ситуации в отрасли разработки программного обеспечения для обучения**

Уже первичный анализ терминологии показывает, что отношения между разработчиками ПО и учителями, его потребителями, отличаются от, так сказать, классических отношений программист–пользователь. Они гораздо сложнее. Программа для обучения для школы — это не просто товар, который можно выложить на прилавок.

Сложная оппозиция программист–учитель была замечена уже на заре информатизации. Вот, например, четкая и лаконичная формулировка данной проблемы в конце 1980-х гг. [11, с. 6]: «Программные средства учебного назначения могут создаваться следующими способами:

1. Программное средство создается программистом — низкое качество с точки зрения педагогики.
2. Программное средство создается педагогом — низкое качество с точки зрения программиста.
3. Программное средство создается при тесном контакте педагога с программистом (сюда же относится случай педагога-программиста) — качество высокое, но недостаточно большое число таких коллективов.
4. Программисты создают некоторый пакет прикладных программ (в нашем понимании инструментальное средство), с помощью которого педагог-непрограммист в состоянии строить требующиеся программные средства — возможность массовой разработки программных средств учебного назначения, но значительные, в смысле программирования, сложности по разработке самих программных средств».

Другими словами, решение оппозиции программист–учитель предполагалось осуществить в рамках парадигмы «автоформализации знаний» или «персональных вычислений» как этапа развития информационных технологий. «Основная задача персональных вычислений — формализации профессиональных знаний — выполняется, как правило, полностью самостоятельно непрограммирующим профессионалом или при минимальной технической поддержке программиста, который в этом случае имеет возможность включиться в процесс формализации знаний только на инструментальном уровне, оставляя наиболее трудную для его понимания содержательную часть задачи специалисту в данной предметной области» [12, с. 99].

Что же мы имеем в настоящее время? На поверхности картина выглядит следующим образом. С одной стороны, существует рынок ПО для обучения, товар на него поставляют несколько софтверных компаний, к которым в последние годы присоединяются издательства с электронными приложениями к тем учебникам, которые они печатают. С другой стороны, Интернет как информационное образовательное пространство имеет в бесплатном доступе хранилища ЭОР (по сути — ПО для обучения), где созданные профессионалами на государственные деньги коллекции соседствуют с коллекциями ресурсов социальных сообществ учителей, материалами школьных и учительских персональных сайтов. Получается, что деятельность команд-разработчиков гармонично соединяется с автоформализующими свои знания учителями. Однако поверхностный взгляд не позволяет верно понять, ни кто по-настоящему разрабатывает программы для обучения, ни в каком состоянии находится оппозиция разработчик–учитель.

Приглядимся к программистам разработчикам. Какие типовые команды принимали участие в разработке в процессе информатизации?

**1988** (по данным [13]):

1. Специалисты специальных отделов академических институтов, отраслевых институтов, научно-производственных объединений, вычислительных центров.
2. Коллективы университетов, педагогических вузов, объединяющие педагогов, инженеров и студентов.
3. Коллективы из школ, объединяющие учителей и школьников.
4. Независимые авторы, самостоятельно представляющие свою работу (пользуясь формулой Ильфа и Петрова — «кустари-одиночки с мотором» (с компьютером)).

**2008** (по данным об авторах Единой коллекции образовательных ресурсов):

1. Специалисты отделов медиаиздательств и книжных издательств.
2. Программисты коммерческих фирм.
3. Коллективы кафедр вузов.

4. Специалисты научно-исследовательских институтов.
5. Независимые авторы.

Анализ выявил дальнейшую градацию для кафедр вузов:

- (1) «россыпь талантов»: институтские преподаватели с научными интересами в той или иной области, приобщившиеся к компьютерным технологиям и способные самостоятельно реализовать идеи по применению компьютера в обучении. Устойчивый интерес к компьютерным технологиям в обучении реализуется в форме своеобразного хобби. Основной результат деятельности имеет форму фрагментарных разработок типа учебных модулей, ЦОР;
- (2) «россыпь талантов» и кафедра ИКТ: разработчики ЭОР по роду профессиональной деятельности оказались далеки от компьютера в смысле личного владения навыками работы на нем. В помощь привлекаются сотрудники или лаборанты специализированных подразделений, например кафедры ИКТ;
- (3) авторы учебника и разработчики набора ЦОР к учебнику в одном вузе;
- (4) авторы учебника в вузе, ЦОР делают сторонние организации;
- (5) мультимедиа-лаборатории в вузе: специализированные подразделения внутри вуза, где преподаватели работают помимо основной деятельности на кафедре;
- (6) мультимедиа-центры на стороне. Преподаватели реализуют свой интерес к компьютерам не в рамках организационных структур внутри вуза, а на базе независимых структур, возможно, ими же созданных;
- (7) дистанционные профильные школы при вузах.

К перечню 2008 г. необходимо добавить учителей и школьников, деятельность которых отчетливо проявляется в материалах конференций по вопросам информатизации образования. Таким образом, структура сообщества разработчиков довольно сложна и, как показывает сравнение 1988 и 2008 гг., была таковой на всем протяжении информатизации.

Ситуация в отрасли разработки ПО для обучения может быть в целом охарактеризована следующими положениями:

1. Систематическое, хроническое недофинансирование является даже не проблемой, а контекстом существования (жара в пустыне или мороз в тундре) отрасли.
2. Рынок, на который выходят разработчики, — это не классический рынок законченных товаров (товар + инструкция на пятнадцати языках), а скорее рынок высокотехнологичного оборудования. Самоокупаемость здесь, видимо, невозможна без мощных программ государственной поддержки.

В таких суровых условиях выживают лишь энтузиасты и увлеченные бессребреники, чья энергия и является главным ресурсом развития отрасли ПО для обучения. Приходят годы тучные, появляется государственный заказ, и вокруг

них группируются команды из энтузиаста (или группы энтузиастов) и временных помощников. Приходят годы тощие, и они снова в одиночестве продолжают свою творческую работу. Часто они действуют сами по себе, но, как правило, их привлекают к работе фирмы и издательства, выпуская в свет их труд под своим торговым знаком.

Чтобы энтузиазм не выгорел дотла, он должен быть поддержан. А для этого необходимо понять, какого рода проблемы нужно решить в отрасли разработки ПО для обучения.

### **2.3 Каноническая схема жизненного цикла программного обеспечения**

Чтобы сформулировать представление о проблемах, необходимо выбрать точку отсчета. В качестве такой точки отсчета или нормы, которой можно поверить ситуацию в отечественной отрасли разработки ПО для обучения, возьмем концепцию жизненного цикла программы.

Считается, что до начала 1980-х гг. программирование было скорее ремеслом и искусством, чем промышленной профессией [14]. Однако громадный рост потребности в программах и повышение цены ошибки программиста по мере нарастания интенсивности процесса информатизации сначала промышленности, экономики, а затем и всего общества, потребовал пересмотра взглядов на организацию труда программистов. Появились и начали регулярно обновляться и переиздаваться труды по научной организации процесса разработки ПО. Оформилось представление о жизненном цикле программы, который включает следующие этапы:

- (1) постановка задачи, формулировка требований;
- (2) исследование проблемной области, разработка проекта;
- (3) программирование, отладка;
- (4) тестирование, доработка по результатам тестирования;
- (5) сопровождение, доработка в процессе эксплуатации;
- (6) формирование требований на переработку.

Хотя внимание большинства авторов монографий и учебников [15, 16], посвященных разработке ПО, сосредоточено на первых этапах жизненного цикла, существует также обширная литература, ориентированная на особенности этапа сопровождения [17]. Этот этап признается столь важным, что предлагается выделять в команде специалиста, ответственного исключительно за сопровождение. В процессе сопровождения в канонической схеме происходит накопление требований к обновлению программы.

Стремительное развитие вычислительной техники в эпоху персональных компьютеров трансформировало исходную схему жизненного цикла. Теория эволюции ПО [18, 19], прежде применявшаяся к большим программным системам, теперь может быть распространена практически на все ПО. Эволюция,



т. е. выпуск обновленных версий старой программы, происходит по нескольким ключевым причинам. Обновившаяся техническая база стимулирует непрерывное углубление представления о проблемной области, для которой предназначена программа, что приводит к реализации новых функций в программе. При неизменных функциях может совершенствоваться интерфейс взаимодействия с пользователем. Наконец, при неизменных функциях и неменяющемся интерфейсе могут оптимизироваться ресурсы программы. Все это означает, что в работу по сопровождению должен включаться и пользователь программы, которому необходимо отслеживать происходящие изменения и проецировать их на свою деятельность. Другими словами, по мере становления информационного общества и роста информационной и технокультуры элементом этой культуры становится интерес к новостям в той области ПО, на которой строится информационная работа пользователя.

Необходимо отметить, что, поскольку каноническая схема в целом ориентирована на программу как товарный продукт, в ней не предусмотрено процедур систематического взаимодействия пользователей и программистов. Такие взаимодействия хотя и подразумеваются, однако имеют характер отдельных акций.

### **3 Формулировка проблем**

Как было отмечено, отрасль разработки ПО для обучения функционирует в условиях хронического недофинансирования. При этом обучение является одним из сложнейших видов деятельности. Педагогическая наука пока не исследовала его до такой степени, чтобы относительно просто различать содержательную и дидактическую сторону этого процесса. Всякий раз соединение учебного материала со способом его подачи является искусством. В этом ключевая проблема сложности предметной области. Кроме того, разнообразие условий обучения и различие качества участников этого процесса делает неразрешимой задачу однозначного методического описания. Как следствие — спектр проблем разработчика и пользователя-учителя.

Проблемы разработчика:

1. Точность постановки задачи.
2. Разработка грамотного методического обеспечения.
3. Привязка ситуации к разнообразным ситуациям и условиям применения.
4. Сопровождение, наличие сил и возможностей для грамотного решения задачи.

Главная проблема разработчика ПО для обучения — он не обладает ресурсами для полноценной реализации канонической схемы жизненного цикла.

Проблемы учителя:

1. Овладение возможностями ПО при недостаточной помощи разработчика (у которого на эту помощь нет ресурсов).



2. Адаптация возможностей ПО к конкретной ситуации в силу недостаточной собственной квалификации или особой сложности ситуации.
3. Разработка педагогической технологии на основании использования возможностей имеющейся программы.

Главная проблема учителя — он не обладает ресурсами для детального и достаточно самостоятельного углубления в программу и ее возможности.

Заметим, что при нехватке материальных ресурсов ситуация отчасти исправляется, а проблемы решаются за счет главного человеческого ресурса — времени жизни.

И, наконец, в условиях ограниченности материальных ресурсов необходимо компенсировать работу энтузиаста хотя бы тем, что он получает удовлетворение от вида результатов своего труда — проблема «обратной связи», важная не только для разработчика, но и для пользователя.

## **4 Коэволюционная схема жизненного цикла программного обеспечения**

### **4.1 Разрешение оппозиции программист–учитель**

Предположение о том, что учитель должен (или может) выступать в роли программиста-разработчика, как кажется, подтверждается жизненной практикой. Количество ЭОР, которые учителя выложили в Интернет, едва ли уступает, а возможно, и превосходит количество ресурсов, созданных профессиональными разработчиками. Однако этот факт, на взгляд автора, лишь затемняет истинное положение вещей. Несомненно, существуют учителя, и их немало, которые на вполне профессиональном уровне освоили ремесло разработчика. Они могут создавать вполне конкурентоспособные программы. Это не меняет сути дела, которая состоит в том, что учитель, включаясь в процесс информатизации, входит туда со своей особой ролью.

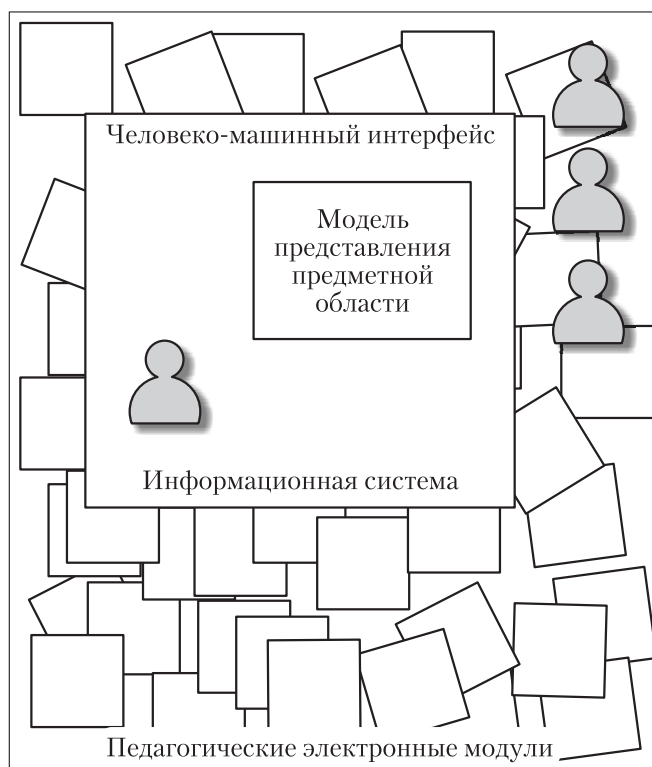
О правомерности использования термина *педагогическая технология* дискуссия в педагогическом сообществе еще продолжается. У него много противников. В данном случае важно, что технология — универсальный способ описания сложного процесса по шагам. Тогда педагогическая технология — описание педагогического процесса или процесса обучения. Задача учителя состоит в том, чтобы спроектировать этот процесс с включением в него ИКТ. Фактически педагогический процесс соединяется с информационно-коммуникационным процессом, поддержанным техническими, программными и информационными ресурсами.

В идеале учитель привлекает некоторое ПО для обучения в качестве информационной системы, основы процесса. Но даже теоретически не существует такого ПО, которое идеально вписалось бы в «ландшафт» урока. Необходима привязка к местности. Такая привязка может быть названа адаптацией. Существует три типа адаптации:

- (1) параметрическая — путем настройки параметров;
- (2) модульная — путем отбора используемых блоков;
- (3) конструктивная — путем разработки недостающих блоков.

При огромном дефиците качественного ПО для обучения учитель невольно оказывается в ситуации, когда он сам вынужден конструировать, разрабатывать программы. Большинство созданных учителями ЭОР вызвано необходимостью конструктивной адаптации существующего ПО.

Другая часть ЭОР, внесенных в информационно-образовательное пространство учителями, принадлежит к типу «электронная версия методики проведения урока», т. е. технологическая карта педагогической технологии. Именно эти ЭОР представляют особую ценность. Любое ПО в информационно-образовательном пространстве можно представить окруженным такими педагогическими электронными модулями (рис. 1).



**Рис. 1** Отражение программы для обучения (информационной системы) в информационно-образовательное пространство

## 4.2 Анализ ситуации разработки программного обеспечения сквозь призму концепции коллективного разума

Описанная ситуация идеально ложится на концепцию коллективного интеллекта [20, 21].

Разработчик ПО для обучения и учителя, применяющие в своей практике его разработку, образуют социальную группу с четким разделением социальных ролей и хорошо понятными ролевыми функциями. Хотя каждый из участников действует автономно, у них есть интерес объединиться для интеллектуального исследования ситуации.

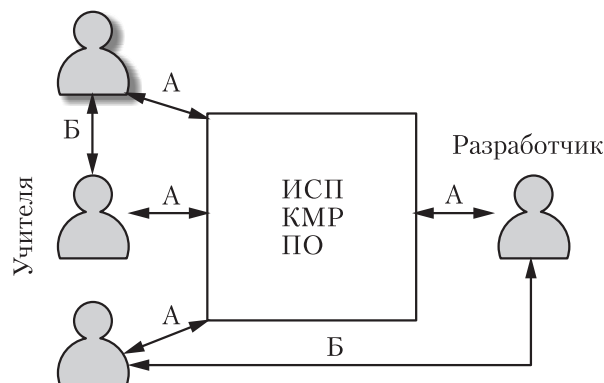
При адекватном ситуации поведении участников их коммуникация позволит выявлять проблемы и находить пути их решения, т. е. реализовать основную функцию интеллекта. Так возникает коллективный разум.

## 4.3 Предпосылки для развития коммуникации

Все стороны, участвующие в коммуникации, заинтересованы в развитии на основе этой коммуникации. Возникают предпосылки для совместной эволюции — коэволюции.

Разработчик, по существу, реализует функцию этапа сопровождения, одновременно исследуя проблемную область (уточнение постановки задачи на ПО) и отслеживая потребности в обновлении версии (эволюция ПО).

Для учителя – пользователя ПО существует объективная потребность в обмене методическим опытом. В рамках школы учителя обычно образуют методические объединения, которые часто выходят за рамки школы. Материалы конференций показывают, что уже на ранних шагах информатизации она рассматривалась как средство накопления опыта (базы методических данных), налаживания контактов между заинтересованными в методическом общении. Раз-



**Рис. 2** Общая структура информационной системы поддержки коэволюционной модели разработки ПО (ИСП КМР ПО)

витие Интернета и формирование единого информационного образовательного пространства сопровождалось формированием в нем методического сегмента.

При этом основной поток коммуникаций осуществляется через информационную систему поддержки коэволюционной модели разработки ПО (связи, обозначенные буквой А на рис. 2), что не исключает возможности контактов по другим каналам (связи Б).

#### 4.4 Реализация модели коэволюционного развития программного обеспечения для обучения

Основой системы является сайт разработчика ПО. Его функциональная архитектура представлена на рис. 3.

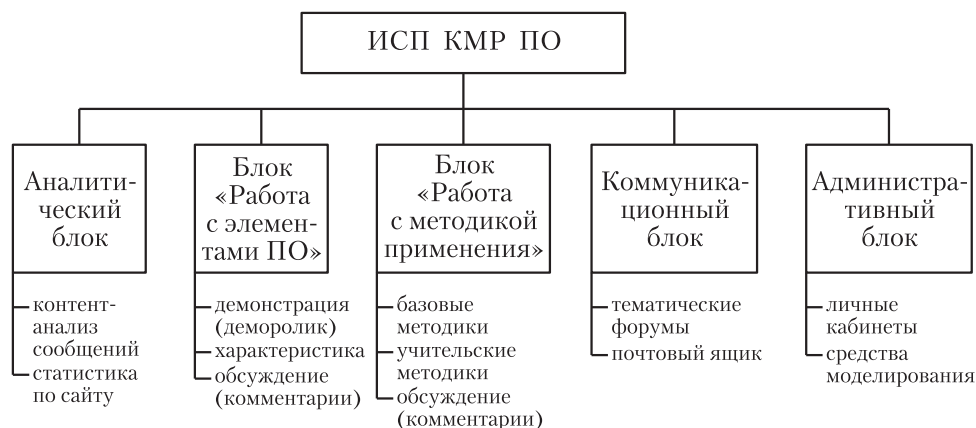


Рис. 3 Функциональная архитектура ИСП КМР ПО

Обязанности модератора ложатся на разработчика как на энтузиаста продвижения своего ПО. Стандартный режим работы:

- привлечение новых участников;
- обмен мнениями;
- информационная рассылка;
- выкладывание методик;
- выкладывание новых версий ПО.

## 5 Заключение

Информатизация образования — непрерывно разворачивающийся процесс. Для сверхсложной социотехнической системы, каковой становится система образования по мере информатизации, управляющее регулирование сверху должно

сочетаться с саморегулированием и самоорганизацией. Самоорганизация держится на деятельности малой части социального сообщества, на людях, склонных к повышенной активности, а также к особой форме проявления активности — к инновациям. Должны создаваться механизмы, ячейки коллективного разума, способные поддерживать развитие системы на ресурсе энергии человеческой инициативы. Задача системы регулирования — подпитывать точки роста другими видами ресурсов. Предложенный в статье механизм самоорганизации в рамках отрасли разработки ПО для обучения может быть назван такой точкой.

## Литература

1. *Вихрев В. В.* Смена парадигмы: от электронного учебника к ЦОРу // Новые образовательные технологии в вузе: Сб. мат-лов VII Междунар. науч.-методич. конф. — Екатеринбург: УГТУ-УПИ им. Б. Н. Ельцина, 2010. Ч. 2. С. 20–24.
2. *Вихрев В. В., Шпакова Т. Ю.* Компьютерное творчество учителей как ресурс информатизации образования // Новые образовательные технологии в вузе: Сб. мат-лов VII Междунар. науч.-методич. конф. — Екатеринбург: УГТУ-УПИ им. Б. Н. Ельцина, 2010. Ч. 2. С. 24–28.
3. *Вихрев В. В.* О методической поддержке учителя, ключевой фигуры информатизации школы // Информационные технологии для Новой школы: Мат-лы конф. — СПб: Региональный центр оценки качества образования и информационных технологий, 2010. С. 92–95.
4. *Вихрев В. В.* Концептуальная модель представления системы образования как аутопоэтической системы // Всеросс. конф. «Информационные технологии в образовании XXI века». Всеросс. молодежная науч. конф. «Информационные технологии в образовательном процессе исследовательского университета»: Сб. науч. тр. — М.: НИЯУ МИФИ, 2011. С. 381–385.
5. *Вихрев В. В.* О некоторых аспектах влияния технологических изменений на программное обеспечение для образования // Применение ЭОР в образовательном процессе (ИТО-ЭОР-2011): Тезисы докл. Всеросс. конф. — Обнинск: ИАТЭ НИЯУ МИФИ, 2011. С. 50–51.
6. *Вихрев В. В.* О концептуальной модели информатизации системы образования (в порядке постановки задачи) // Современные информационные технологии и ИТ-образование: Сб. избранных докл. VI Междунар. науч.-практич. конф. — М.: ИНТУИТ.РУ, 2011. С. 111–120.
7. *Вихрев В. В.* Электронный образовательный ресурс: через феноменологию к типологии // Ученые записки ИСГЗ, 2013. № 1(11). С. 72–79.
8. *Вихрев В. В.* Инь и ян процесса информатизации (к феноменологии термина «электронный образовательный ресурс») // Применение инновационных технологий в образовании (ИТО-Троицк-2013): Сб. докл. XXIV Междунар. конф. — Троицк-Москва: Байтик, 2013. С. 163–166.
9. *Вирт Н.* Структуры данных + алгоритмы = программа / Пер. с англ. — М.: Мир, 1985. 406 с. (*Wirth N.* Algorithms + data structures = programs. — Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, Inc., 1976. 366 p.)
10. *Бабичек И. А.* Развитие способностей младших школьников во внеурочной деятельности через использование информационно-коммуникационных технологий //

- Применение новых технологий в образовании: Мат-лы XXV Междунар. конф. — Троицк–Москва: Байтик, 2014. 640 с.
11. Федосеев А. А., Христочевский С. А. Об инструментальных средствах для разработки ППС // Разработка и применение программных средств ПЭВМ в учебном процессе: Мат-лы IV Всесоюзн. семинара. — М.: ИПИАН, 1988. С. 6–8.
  12. Громов Г. Р. Национальные информационные ресурсы: проблемы промышленной эксплуатации. — М.: Наука, 1985. 240 с.
  13. Компьютеризация образования (средства, методы, передовой опыт): Тематическая выставка. — М.: ВДНХ, 1988. 109 с.
  14. Боэм Б. У. Инженерное проектирование программного обеспечения / Пер. с англ. — М.: Радио и связь, 1985. 512 с. (*Boehm B. U. Software engineering economics.* — Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall, Inc., 1981. 767 p.)
  15. Брауде Э. Дж. Технология разработки программного обеспечения / Пер. с англ. — СПб.: Питер, 2004. 655 с. (*Braude E. J. Software engineering: An object-oriented perspective.* — N.Y.: John Wiley & Sons, 2001. 560 p.)
  16. Газарина Л. Г., Кокорева Е. В., Виснадул Б. Д. Технология разработки программного обеспечения. — М.: Форум–ИНФРА-М, 2008. 400 с.
  17. Гласс Р., Нуазо Р. Сопровождение программного обеспечения / Пер. с англ. — М.: Мир, 1983. 156 с. (*Glass R. L., Noiseux R. A. Software maintenance guidebook.* — Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, Inc., 1981. 204 p.)
  18. Hongji Y., Ward M. Successful evolution of software systems. — Norwood: Artech House, 2003. 282 p.
  19. Software evolution / Eds. T. Mens, S. Demeyer. — Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2008. 347 p.
  20. Шуровьески Дж. Мудрость толпы. Почему вместе мы умнее, чем поодиночке, и как коллективный разум влияет на бизнес, экономику, общество и государство / Пер. с англ. — М.: Вильямс, 2007. 304 с. (*Surowiecki J. The wisdom of crowds.* Phillips & Nelson Media, 2004. 336 p.)
  21. Collective intelligence: Creating a prosperous world at peace / Ed. M. Tovey. — Oakton: Earth Intelligence Network, 2008. 612 p.

Поступила в редакцию 18.09.14

---

---

## ON THE MECHANISM OF IMPLEMENTATION OF COEVOLUTIONARY MODEL OF THE DEVELOPMENT LIFE CYCLE OF COMPUTER PROGRAMS FOR LEARNING

V. V. Vikhrev

Institute of Informatics Problems, Russian Academy of Sciences, 44-2 Vavilov Str.,  
Moscow 119333, Russian Federation

**Abstract:** The article considers the situation in the key sector of education informatization (i. e., the field of education software development), determines the range of problems faced by the main sector, and suggests an appropriate approach to solving the most serious problem by using Internet services. A computer program is an element that turns a universal device of information and

communication technologies into an education tool. The quality of training process depends on the quality of programs and, consequently, is defined by the state of affairs in the field of software development. Meanwhile, this sector of education informatization is studied poorly. A quick analysis of the discourse elements of participants in the education informatization process demonstrates that the external picture does not correspond to the real relations within the sector. An astute analysis leads to the conclusion that from the very beginning of informatization, the industry has kept largely on the initiative of individuals and small teams of enthusiasts. Under the conditions of chronic underfunding, the energy of enthusiasm has become a major resource for development. The active inclusion of teachers into the process of school informatization has created a distorted picture of teacher's place in the industry of software development. The function of development engineer has been placed on teachers. But their activities should only supplement the work of programmers. Therefore, the cooperative system of development for engineers' and teachers' labour based on the coevolutionary model (i. e., the interrelated software development and its application in the specific pedagogical technologies) can help allocate duties right in the process of education software development. For teachers, this system can provide advisory data. For development engineers, the system can become a means of a further research in the subject area and can become a support tool of the stages of education software development life cycle that primarily suffer from underfunding. The system is implemented on the basis of Internet services.

**Keywords:** informatization of education; software development; educational software; coevolution; collective intelligence

**DOI:** 10.14357/08696527140411

## References

1. Vikhrev, V. V. 2010. Smena paradigmy: Ot elektronnoy uchebnika k TsORu [Paradigm shift: From an electronic textbook to a digital education resource]. *Novye Obrazovatel'nye Tekhnologii v Vuze: Sb. mat-lov VII Mezhdunar. Nauch.-Metodich. Konf.* [New Educational Technologies in Higher Education: 7th Scientific-Methodical Conference (International) Proceedings]. Ekaterinburg. 2:20–24.
2. Vikhrev, V. V., and T. Yu. Shpakova. 2010. Komp'yuternoe tvorchestvo uchiteley kak resurs informatizatsii obrazovaniya [Computer creativity of teachers as a resource of informatization of education]. *Novye Obrazovatel'nye Tekhnologii v Vuze: Sb. mat-lov VII Mezhdunar. Nauch.-Metodich. Konf.* [New Educational Technologies in Higher Education: 7th Scientific-Methodical Conference (International) Proceedings]. Ekaterinburg. 2:24–28.
3. Vikhrev, V. V. 2010. O metodicheskoy podderzhke uchitelya, klyuchevoy figury informatizatsii shkoly [On the methodological support of teachers, key of school informatization]. *Informatsionnye Tekhnologii dlya Novoy Shkoly: Mat-ly Konf.* [Information Technology for the New School: Conference Proceedings]. St. Petersburg. 92–95.
4. Vikhrev, V. V. 2011. Kontseptual'naya model' predstavleniya sistemy obrazovaniya kak avtopoeticheskoy sistemy [Conceptual model of representation of the education system as an autopoietic system]. *Vseross. Konf. "Informatsionnye Tekhnologii v Obrazovanii"*

- XXI Veka.” Vseross. Molodezhnaya Nauch. Konf. “Informatsionnye Tekhnologii v Obrazovatel’nom Protsesse Issledovatel’skogo Universiteta:” Sb. nauch. tr. [All-Russian Conference “Information Technologies in Education of the XXI Century.” All-Russian Youth Scientific Conference “Information Technologies in the Educational Process Research University: Collection of scientific works]. Moscow. 381–385.
5. Vikhrev, V. V. 2011. O nekotorykh aspektakh vliyaniya tekhnologicheskikh izmeneniy na programmnoe obespechenie dlya obrazovaniya [On some aspects of the impact of technological changes on software for education]. *Primenenie EOR v Obrazovatel’nom Protsesse (ITO-EOR-2011): Tezisy dokl. Vseross. Konf.* [The Use of e-Learning Resources in the Educational Process (ITO-RAR-2011): Abstracts of the All-Russian Conference]. Obninsk. 50–51.
  6. Vikhrev, V. V. 2011. O kontseptual’noy modeli informatizatsii sistemy obrazovaniya (v poryadke postanovki zadachi) [Conceptual model of informatization of the education system (in the order of statement of the problem)]. *Sovremennye Informatsionnye Tekhnologii i IT-Obrazovanie: Sb. izbrannykh dokl. VI Mezhdunar. Nauch.-Praktich. Konf.* [Modern Information Technology and IT-Education: A Collection of Selected Papers of the 6th Scientific-Practical Conference (International)]. Moscow. 111–120.
  7. Vikhrev, V. V. 2013. Elektronnyy obrazovatel’nyy resurs: Cherez fenomenologiyu k tipologii [Electronic educational resource: Through phenomenology to typology]. *Uchenye Zapiski ISGZ* [Kazan ISGS “Scientific Notes”]. 1(11):72–79.
  8. Vikhrev, V. V. 2013. In’ i yan protsessa informatizatsii (k fenomenologii termina “elektronnyy obrazovatel’nyy resurs”) [Yin and Yang of the process of informatization (on phenomenology of the term “electronic educational resource”)]. *Primenenie Innovatsionnykh Tekhnologiy v Obrazovanii (ITO-Troitsk-2013): Sb. dokl. XXIV Mezhdunar. Konf.* [New Computer Technology in Education: 24th Conference (International) Proceedings]. Moscow–Troitsk: Bytik. 163–166.
  9. Wirth, N. 1976. *Algorithms + data structures = programs*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, Inc. 366 p.
  10. Babichek, I. A. 2014. Razvitie sposobnostey mladshikh shkol’nikov vo vneurochnoy deyatel’nosti cherez ispol’zovanie informatsionno-kommunikatsionnykh tekhnologiy [The development of the abilities of younger students in extracurricular activities through the use of information and communication technologies]. *Primenenie Novykh Tekhnologiy v Obrazovanii: Mat-ly XXV Mezhdunar. Konf.* [New Computer Technology in Education: 25th Conference (International) Proceedings]. Moscow–Troitsk: Bytik. 109–111.
  11. Fedoseev, A. A., and S. A. Khristochevskiy. 1988. Ob instrumental’nykh sredstvakh dlya razrabotki PPS [On tools for developing software and educational tools]. *Razrabotka i Primenenie Programmykh Sredstv PEVM v Uchebnom Protsesse: Mat-ly IV Vsesoyuzn. Seminara.* [Development and Application of Software PC Tools in the Educational Process: 4th All-Union Seminar Proceedings]. Moscow. 6–8.
  12. Gromov, G. R. 1985. *Natsional’nye informatsionnye resursy: Problemy promyshlennoy ekspluatatsii* [National information resources: Problems of industrial exploitation]. Moscow: Nauka. 240 p.
  13. *Komp’yuterizatsiya obrazovaniya (sredstva, metody, peredovoy opyt): Tematicheskaya vystavka* [Computerization of education (means, methods, best practices): A thematic exhibition]. 1988. Moscow: VDNKh. 109 p.



14. Boehm, B. U. 1981. *Software engineering economics*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall, Inc. 767 p.
15. Braude, E. J. 2001. *Software engineering: An object-oriented perspective*. N.Y.: John Wiley & Sons. 560 p.
16. Gagarina, L. G., E. V. Kokoreva, and B. D. Visnadul. 2008. *Tekhnologiya razrabotki programmogo obespecheniya* [The technology of software development]. Moscow: Forum – INFRA-M. 400 p.
17. Glass, R. L., and R. A. Noiseux. 1981. *Software maintenance guidebook*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall, Inc. 204 p.
18. Hongji, Y., and M. Ward. 2003. *Successful evolution of software systems*. Norwood: Artech House. 282 p.
19. Mens, T., and S. Demeyer, eds. 2008. *Software evolution*. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag. 347 p.
20. Surowiecki, J. 2004. *The wisdom of crowds*. Phillips & Nelson Media. 336 p.
21. Tovey, M., ed. 2008. *Collective intelligence: Creating a prosperous world at peace*. Oakton: Earth Intelligence Network. 612 p.

*Received September 18, 2014*

### **Contributor**

**Vikhrev Vladimir V.** (b. 1957) — senior scientist, Institute of Informatics Problems, Russian Academy of Sciences, 44-2 Vavilov Str., Moscow 119333, Russian Federation; VVikhrev@ipiran.ru

## СПЕЦИФИКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАЦИОНАЛЬНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В КОНТЕКСТЕ ЕЕ ИНФОРМАЦИОННОГО МОНИТОРИНГА

*Г. В. Лукьянов<sup>1</sup>, Д. А. Никишин<sup>2</sup>, Г. Ф. Веревкин<sup>3</sup>, В. В. Косарик<sup>4</sup>*

**Аннотация:** Статья посвящена проблемам методологии создания системы мониторинга и индикаторной оценки национальной безопасности Российской Федерации. Основное внимание в статье уделено разработке и обоснованию требований к показателям, которые используются для оценки национальной безопасности. Цель данной работы состоит в выработке методологической основы для изучения полноты и адекватности системы используемых показателей в целях формирования обобщенной оценки национальной безопасности Российской Федерации в среднесрочной и долгосрочной перспективе. Применение в разрабатываемой методологии важнейших составляющих программно-целевого подхода дает возможность использовать средства мониторинга для оценки соответствия результатов проводимых мероприятий в сфере национальной безопасности, а также привлекаемых для этого ресурсов целям и задачам обеспечения национальной безопасности.

**Ключевые слова:** мониторинг национальной безопасности Российской Федерации; информационный мониторинг; индикаторная оценка; показатели непосредственных результатов; показатели конечных результатов

**DOI:** 10.14357/08696527140412

### 1 Введение

Начиная с 1990-х гг. наблюдается неуклонный рост интереса к сочетанию методов субъективной экспертной и объективной индикаторной оценки состояния, потенциала и перспектив развития сложных и ресурсоемких сфер деятельности федерального (национального) и международного масштаба, а также определения эффективности и результативности программно-целевой деятельности в этих сферах.

Начавшись исторически в 1969 г. в рамках Агентства международного развития США<sup>5</sup>, программно-целевой подход к настоящему времени распространился практически на все сферы общественно значимой деятельности, что сопровожда-

<sup>1</sup>Институт проблем информатики Российской академии наук, gena-mslu@mail.ru

<sup>2</sup>Институт проблем информатики Российской академии наук, dn@a170.ipi.ac.ru

<sup>3</sup>Институт проблем информатики Российской академии наук,  
gennadij.verevckin2012@yandex.ru

<sup>4</sup>Институт проблем информатики Российской академии наук, valery@a170.ipi.ac.ru

<sup>5</sup>United States Agency for International Development (USAID).

лось, как правило, разработкой методических основ создания систем мониторинга и индикаторной оценки с учетом специфики каждой из сфер, включая формулировки требований к этим системам.

Теоретические основы этого подхода были созданы и развивались учеными разных стран во второй половине прошлого века, в том числе в СССР академиком Г. С. Поспеловым [1, 2]. Одной из особенностей этих теоретических исследований является то, что сферы общественно-значимой деятельности характеризуются высокой степенью неоднозначности описания происходящих в них процессов, а значит, их информационного отражения в системах мониторинга и индикаторной оценки [3, 4]. Тем не менее, разработка таких систем с учетом объективных ограничений в степени экспликации процессов возможностям и полноте их отражения позволяет делать обоснованные выводы и прогнозы, необходимые для принятия адекватных и своевременных мер во многих общественно значимых сферах деятельности.

К настоящему времени программно-целевой подход хорошо себя зарекомендовал как основа планирования, управления, мониторинга и оценивания программно-целевой деятельности в широком спектре сфер деятельности. Существует несколько вариантов реализации программно-целевого подхода, что нашло свое отражение в разных его описаниях [5–7]. В частности, в США один из этих вариантов после ряда достаточно глубоких исследований [8, 9] был закреплён нормативно в Законе о результативности и эффективности деятельности правительства США от 1993 г.<sup>1</sup>

Характерной особенностью мониторинга и оценки национальной безопасности является необходимость моделирования весьма сложных процессов государственного управления. Эта деятельность в российских условиях многократно усложняется вследствие непростого административно-территориального устройства [10], огромных и неравномерно освоенных территорий страны [11]. В связи с этим необходимо методологическое исследование в области мониторинга и оценки национальной безопасности как в теоретическом, так и в прикладном аспекте.

Указанные геополитические особенности России предполагают обработку больших объемов данных и вычисление по результатам этой обработки десятков или даже сотен различных показателей как основы для вывода обобщенной оценки о состоянии национальной безопасности. Очевидно, что успешное решение этой задачи немислимо без внедрения современных информационных технологий и средств вычислительной техники.

Целью данной работы является анализ имеющихся реализаций программно-целевого подхода и их применения в процессе создания и использования систем мониторинга и индикаторной оценки национальной безопасности государства, структуризация предметной области и выделение основных групп показателей.

Одна из задач исследования состоит в выработке методологической основы для оценивания полноты и адекватности системы используемых показателей в це-

---

<sup>1</sup>Government Performance and Results Act of 1993. Принят Конгрессом США 05 января 1993 г.

лях формирования обобщенной оценки национальной безопасности Российской Федерации в среднесрочной и долгосрочной перспективе. Применение программно-целевого подхода для выработки методологической основы даст возможность использовать системы мониторинга для оценки соответствия целей и задач результатам проводимых мероприятий в сфере национальной безопасности, а также привлекаемым ресурсам.

## 2 Основные понятия и определения

Как показывает опыт решения крупных социально-экономических и научно-технических задач в США, ЕС и России, предполагающих участие в них многих ведомств, учреждений и организаций, одна из наиболее серьезных проблем при реализации программно-целевого подхода заключается в слабой проработке терминологического аппарата [3, 8, 9, 12, 13].

Наиболее острые противоречия в экспертных оценках и процедурах использования индикаторов возникают в ходе мониторинга и оценки крупных межведомственных программ, так как на этом этапе определяется эффективность использования выделенных финансовых, людских и иных ресурсов и, конечно, результативность деятельности каждого участвующего в планировании и реализации программы ведомства. Недостатки терминологического аппарата являются той причиной, которая приводит к разным толкованиям одних и тех же понятий и к схожему восприятию принципиально разных явлений и процессов.

В частности, эта проблема была сформулирована в материалах семинара по методическим вопросам оценивания федеральных научно-исследовательских программ США, который состоялся 4–5 декабря 2003 г. В этом документе изложено более двух десятков сложных вопросов реализации программно-целевого подхода, решение большинства которых требует проведения достаточно глубоких научных исследований [3]. В частности, среди нерешенных вопросов применительно к мониторингу и оценке указаны следующие:

- отсутствуют модели и методы мониторинга, анализа и оценивания научно-исследовательских программ, обеспечивающие проверку точности данных, используемых для оценки результативности этих программ;
- основу конфликтов между руководителями и специалистами Административно-бюджетного управления<sup>1</sup> и иных федеральных ведомств США составляет неоднозначность применяемых терминов и различное толкование смысла индикаторов и других показателей результатов, эффективности и результативности программ;

---

<sup>1</sup>Административно-бюджетное управление (Office of Management and Budget, OMB) является центральным органом в системе высшей исполнительной власти США, которое осуществляет прогнозирование, управление, контроль и координацию правительственных программ и их финансирование. Среди финансовых задач этого ведомства особенно выделяется разработка федерального бюджета и утверждение (финансовых) программ всех прочих федеральных ведомств и учреждений.

- в используемой методике мониторинга, анализа и оценивания программ подразумевается линейная зависимость между ресурсами и результатами исследований, что, в общем случае, не является верным, а нелинейность этой зависимости неизменно проявляется в процессе оценивания результатов, эффективности и результативности научно-исследовательских программ.

Терминологическая путаница, несопоставимость и многозначность понятий может привести к серьезным искажениям и в оценке национальной безопасности. В связи с этим целесообразно обобщить уже накопленный опыт и выделить из него опробованные на практике решения. В соответствии с действующими в России нормативными актами ключевые термины национальной безопасности определяются следующим образом [14]:

**Национальная безопасность** — состояние защищенности личности, общества и государства от внутренних и внешних угроз, которое позволяет обеспечить конституционные права, свободы, достойное качество и уровень жизни граждан, суверенитет, территориальную целостность и устойчивое развитие Российской Федерации, оборону и безопасность государства.

**Угроза национальной безопасности** — прямая или косвенная возможность нанесения ущерба конституционным правам, свободам, достойному качеству и уровню жизни граждан, суверенитету и территориальной целостности, устойчивому развитию Российской Федерации, обороне и безопасности государства.

Приведенные определения хорошо согласуются с опытом обеспечения национальной безопасности в США и Западной Европе и их целесообразно принять в качестве научно обоснованных. Следующие определения взяты из работ [12, 13], содержащих результаты анализа опыта мониторинга и оценки крупных социально-экономических и научно-технических программ в США, Европейском Союзе и в России.

**Мониторинг** — специально организованное систематическое наблюдение за объектами, явлениями и процессами с целью их анализа, оценки, выявления тенденций и прогноза развития.

**Показатель** — обобщение следующих четырех терминов: индикатор, критерий, параметр, экспертная (качественная) оценка.

**Индикатор** — количественная оценка следующих объектов мониторинга, в том числе и программно-целевой деятельности: (а) целей; (б) ресурсов; (в) результатов; (г) результативности; (д) эффективности; (е) состоятельности программно-целевой деятельности.

**Критерий** — некоторый признак (набор признаков), который используется для классификации объектов, явлений и процессов мониторинга, в том числе и мониторинга программно-целевой деятельности. Критерий необходим для

выделения некоторого ограниченного множества объектов, явлений и процессов из их заданного множества, что позволяет принимать адекватные решения при управлении программно-целевой деятельностью.

**Параметр** — характеристика исходных данных, задаваемых для программно-целевой деятельности (программы) из внешней среды, которая используется в процессе формирования программы и на других стадиях ее цикла жизни.

**Экспертная оценка** — качественные итоги экспертизы целей, результатов, ресурсов, эффективности, результативности и состоятельности программно-целевой деятельности.

**Эффективность**<sup>1</sup> — соотношение между результатами программно-целевой деятельности и используемыми при их получении ресурсами (например, кадровыми, финансовыми и другими ресурсами, обеспечивающими реализацию программы).

**Результативность**<sup>2</sup> — соотношение между результатами, целями и задачами программно-целевой деятельности.

**Состоятельность**<sup>3</sup> — характеристика степени согласованности целей, задач и ресурсов программно-целевой деятельности.

Особого внимания заслуживают термины «показатель» и «индикатор» ввиду разнообразных и при этом достаточно противоречивых их толкований разными исследователями и специалистами. В связи с этим в рамках целей и задач настоящего исследования необходимо внести некоторые пояснения в предлагаемые определения.

В приведенных выше определениях индикатор является частным случаем родового термина «показатель», но в ряде программ они используются как синонимы, т. е. как одинаковые (эквивалентные) по смысловому содержанию термины.

### 3 Методические проблемы мониторинга и оценки национальной безопасности

#### 3.1 Общенаучные подходы к выбору показателей

Принципиальным вопросом при планировании и организации мониторинга сложной деятельности является выбор показателей этой деятельности, так как именно от них зависит качество (объективность, точность и достоверность) ее мониторинга и оценки. В конечном итоге, согласно работе [15], одним из критериев полноты и релевантности системы индикаторов и других видов показателей

---

<sup>1</sup>Англ. efficiency.

<sup>2</sup>Англ. effectiveness.

<sup>3</sup>Англ. consistency.

является возможность оценивать цели и задачи, ресурсы, результаты, результативность, эффективность и состоятельность программно-целевой деятельности.

Особые требования предъявляются к системе индикаторов и других видов показателей национальной безопасности, что объясняется следующими двумя ключевыми факторами:

- (1) многоуровневым характером иерархии системы национальной безопасности со сложными связями между уровнями и в ряде случаев с высокой степенью их неопределенности;
- (2) непредсказуемостью развития событий в этой сфере и трудностями практической проверки планируемых результатов по обеспечению национальной безопасности.

Согласно работе [16], к системе индикаторов и других видов показателей программно-целевой деятельности предъявляются следующие требования:

- **адекватность**: показатель должен очевидным образом характеризовать все существенные аспекты достижения цели или решения задачи;
- **объективность**: не допускается использование показателей, улучшение значений которых возможно при ухудшении фактического положения дел в соответствующей предметной области;
- **достоверность**: способ сбора и обработки исходной информации должен допускать возможность проверки полученных данных;
- **точность**: погрешности измерения не должны приводить к искаженному представлению об исследуемых объектах, явлениях и процессах программно-целевой деятельности;
- **однозначность**: определение показателя должно обеспечивать одинаковое понимание существа измеряемой характеристики всеми потребителями данных мониторинга и оценки;
- **экономичность**: получение данных мониторинга и оценки должно производиться с минимально возможными затратами, а применяемые показатели должны в максимальной степени основываться на уже существующих средствах и методах сбора, хранения и обработки информации;
- **сопоставимость**: выбор показателей следует осуществлять исходя из необходимости накопления данных и обеспечения их сопоставимости за отдельные периоды времени;
- **своевременность и регулярность**: данные мониторинга и оценки должны поступать со строго определенной периодичностью и с незначительной временной задержкой до момента их обобщения и формирования интегральной (обобщенной) оценки;
- **уникальность**: применяемые показатели должны отражать отдельные, независимые характеристики исследуемого объекта, явления или процесса, т. е. не должны дублировать друг друга.

Каждое из приведенных требований заслуживает особого исследования, но с точки зрения качества мониторинга и оценки национальной безопасности ключевыми являются адекватность, объективность и однозначность.

### 3.2 Специфика показателей

Сложность методологии мониторинга и индикаторного оценивания национальной безопасности, вытекающая из сущности этой деятельности, заключается в том, что необходимо получить информационное описание сложных, иерархически организованных и многоаспектных объектов и процессов программно-целевой деятельности. Поэтому непосредственная обобщенная оценка национальной безопасности существенно затруднена. Сначала осуществляется *декомпозиция* иерархически организованных сфер оценки национальной безопасности, чтобы получить совокупность более простых, наблюдаемых и индикаторно оцениваемых процессов и объектов в предметной области мониторинга. При этом иерархические связи по своей природе могут быть как явными, так и косвенными.

Разработка методологических основ создания системы мониторинга и индикаторной оценки национальной безопасности Российской Федерации (далее НБРФ), предметная область которой включает иерархически организованные объекты и процессы, предполагает решение ряда проблем, которые можно условно разделить на следующие три группы:

- А.** Проблемы, относящиеся к самим показателям (системе показателей), включая задачи их формирования (выбора) и применения в соответствии с целями программно-целевой деятельности [15, 17–20].
- Б.** Проблемы, относящиеся к методологии вычисления и проверки достоверности (верификации) значений показателей [11, 21].
- В.** Проблемы, связанные с данными (а точнее, с источниками данных), используемыми при вычислении показателей [22, 23].

#### *Группа А*

К этой группе можно отнести проблему (не)адекватности, которую можно сформулировать как неполное соответствие (возможно, даже полное несоответствие) поставленных задач целям программно-целевой деятельности, что снижает эффективность и результативность всей деятельности по управлению той или иной сферой. Под постановкой задач подразумевается достижение определенных значений показателей, характеризующих цели. В данной проблеме можно условно выделить четыре аспекта: собственно неадекватность, неоднозначность, неполноту, редукцию.

**Неадекватность задач** — это несоответствие сущности задач целям программно-целевой деятельности. Предпосылкой к такому негативному результату является неочевидная, плохо осязаемая взаимосвязь между показателями и характеризующими ими процессами. Такая ситуация может возникать, если показатель одного объекта/процесса слепо переносится на другой объект/процесс, формально похожий на первый, но функционирующий по другим принципам.

**Неоднозначность** оценки — многозначность измеряемой характеристики оцениваемого объекта/процесса. Ярким примером многозначности служит численность сельского населения, сокращение которого можно трактовать как



показатель индустриализации, что в общем случае считается положительной тенденцией. С другой стороны, сокращение численности сельского населения может быть следствием серьезного ухудшения уровня жизни на селе.

**Неполнота** оценки, или односторонняя характеристика объекта/процесса. Даже если используются адекватные и однозначные показатели, возникает вопрос: а охватывают ли они все существенные аспекты оцениваемого объекта/процесса, т. е. формируют ли они полную картину программно-целевой деятельности? Например, нельзя однозначно определить уровень жизни населения только по размеру ВВП (валового внутреннего продукта) на душу населения без учета степени дифференциации в распределении доходов между слоями населения.

**Редукция** интегрированных (усредненных или взвешенных) показателей — подмена ряда конкретных показателей одним интегрированным может привести к тому, что будет потерян смысл такого оценивания. Характерной иллюстрацией служит следующий пример. Известно, что средняя температура тела человека является существенным показателем состояния его здоровья. Однако если взять, например, среднюю температуру по больнице, то она в принципе не способна охарактеризовать процесс лечения, поскольку в больнице одновременно находятся как тяжелые, так и выздоравливающие больные. Однако этот показатель может сигнализировать о существовании эпидемии высокотемпературных заболеваний в данной больнице, но при этом следует иметь в виду, что такая оценка, как показатель эффективности лечебного процесса, будет корректна только для лечебных учреждений определенного профиля.

Проблемы группы А могут решаться экспертным сообществом путем уточнения, модификации существующих или генерацией новых показателей. Но при этом необходимо учитывать **проблему однозначности понимания смысла индикаторов** всеми экспертами.

#### *Группа Б*

Ко второй группе — методологии вычисления и проверки достоверности (верификации) значений показателей — можно отнести:

- проблему **согласованности способа вычисления** показателя. Поскольку трактовка смысла того или иного показателя часто связана с определенным разбросом мнений экспертов, то возникает ситуация, когда разные эксперты понимают под одним и тем же названием индикатора достаточно различающиеся определения и, соответственно, предлагают различные способы и методики вычисления их значений. Поэтому разработка индикаторов должна сопровождаться соответствующим тестированием на предмет однозначности семантической интерпретации и способов вычисления;
- проблему **достоверности** (верификации) **результатов вычисления**, которая заключается в том, что необходимо учитывать несколько аспектов понятия верифицируемости мониторинга и оценивания. Многоаспектность этого понятия проиллюстрируют два его основных аспекта [11].

Первый аспект представлен принципом «сохранения истории» обработки той исходной информации, которая использовалась при вычислении значений индикаторов. Суть этого принципа заключается в том, что на каждом очередном этапе процесса обработки исходной информации, на котором целью является вычисление значений некоторого индикатора, фиксируются и запоминаются:

- результаты обработки информационных ресурсов, включая вычисленные значения самих индикаторов и промежуточные данные вычислений;
- все те исходные информационные ресурсы, которые использовались на этапах обработки с целью вычисления значений индикаторов;
- связи полученных значений именно с этими информационными ресурсами;
- используемые версии программ вычисления значений индикаторов;
- связи полученных значений с этими программами.

Второй аспект представлен принципом «верификации по дополнительным источникам информации». Его суть заключается в том, что на стадии планирования программно-целевой деятельности выясняются возможности использования дополнительных и независимых источников информации, которые могут быть использованы для верификации значений индикаторов, вычисленных на основе результатов обработки информационных ресурсов, собираемых и обрабатываемых в процессе программно-целевой деятельности. В настоящее время использование дополнительных и независимых источников информации является наиболее распространенным принципом верификации. Однако этот принцип реализуем только в тех случаях, когда такие источники имеются;

- проблему **оперативности**. Например, существующая система сбора исходных данных для оценки НБРФ в настоящее время ориентирована преимущественно на бумажный документооборот, при котором проверка полноты и достоверности показателей требует значительных временных затрат. К тому же нередко ответы на запросы поступают со значительным опозданием. Действующее нормативное обеспечение системы сбора исходных данных для оценки НБРФ, ее регламент и методология процессов обработки поступающей информации затрудняют внедрение методов информатизации в сфере НБРФ. Такая ситуация абсолютно не допустима в сложившихся условиях динамически изменяющейся военно-политической обстановки в современном мире и развития российского общества.

#### *Группа В*

К третьей группе (проблема собственно данных) можно отнести вопросы **согласования источников данных**, т.е. обеспечение их интероперабельности [24, 25], что означает приведение к «общему знаменателю» данных из

различных источников, а также проверку их достоверности до вычисления индикаторов и других показателей. В частности, нельзя сводить в единый (обобщенный) показатель данные официальных органов статистики и сведения уровня рекламных проспектов.

Процедура выбора источников данных включает анализ следующих четырех аспектов: достоверность источников данных, полнота данных, периодичность и оперативность их обновления.

**Достоверность** источников данных определяется методами сбора данных, используемыми этими источниками, и в случае необходимости они могут быть верифицированы, например, по дополнительным источникам информации.

**Неполнота данных** является потенциальным фактором снижения достоверности результатов индикаторного оценивания, который (фактор) характеризуется отсутствием или обоснованным пренебрежением данными по отдельным аспектам. Например, в некоторых случаях при незначительном выбросе в атмосферу вредных веществ можно отказаться от сбора данных. Однако отсутствие этого показателя вовсе не означает, что здоровье населения в некоторых регионах не подвержено влиянию вредных выбросов.

**Периодичность поступления данных** важна при вычислении показателей динамики какого-либо процесса. Например, трудно сделать вывод о среднегодовой инфляции за 10 лет на основании данных, полученных за 2–3 мес. ее наблюдений.

**Оперативность поступления данных** за определенный период.

Существует проблема **нормализации данных**, т. е. представления данных из разных источников в единой системе единиц, например пересчет миллионов человек в тысячи.

Еще одна методологическая проблема, возникающая при формировании (выборе) системы индикаторов и других показателей, обусловлена той ролью в процессе принятия решений, которую играет тот или иной показатель при оценке результатов деятельности с точки зрения конечных потребителей этих результатов.

В рамках НБРФ конечными потребителями ее результатов являются общество в целом и государство. По своей роли все показатели системы делятся на две группы, одна из которых характеризует непосредственные, а вторая — конечные результаты. Показатели непосредственных результатов характеризуют процессную деятельность, а показатели конечных результатов — ее значимость для общества и государства.

Например, одним из показателей национальной безопасности, определяющих степень защищенности от внешнего воздействия, считается «доля участков государственной границы с неразвитой пограничной инфраструктурой от общей протяженности государственной границы». Не вызывает сомнений, что этот показатель связан с эффективностью пограничного контроля по предотвращению незаконного пересечения государственной границы и ввоза в страну запрещенных товаров и грузов. Несомненно, что в данном случае важен непосредственный

показатель технического и инженерного оборудования государственной границы и контрольно-пропускных пунктов, однако он позволяет оценить лишь результаты деятельности по оборудованию государственной границы, но не более того.

Исходя же из существа вопроса, само оборудование государственной границы не может служить показателем достижения конечной цели — обеспечения эффективного контроля ее пересечения. Эта задача решается профессиональным применением оборудования и технических средств контроля руководителями и специалистами, согласованными действиями подразделений пограничной, таможенной, санитарной и иных служб.

В качестве конечных и значимых для национальной безопасности результатов в этом случае могут применяться такие индикаторы, как количество пресечений попыток незаконного въезда на территорию страны, число задержаний предпринимавших эти попытки лиц, а также объем конфискованных (не допущенных к ввозу) запрещенных товаров и грузов по отношению к общему количеству соответствующих правонарушений.

Подобные показатели применяются в Департаменте национальной безопасности США<sup>1</sup> (далее — ДНБ США) для оценки состояния национальной безопасности страны. Например, в «Стратегическом плане ДНБ США на 2008–2013 финансовые годы» определен показатель протяженности участков государственной границы, на которых обеспечивается эффективный контроль ее пересечения. Такой подход объясняется, во-первых, тем, что главное и наиболее существенное здесь не в оборудовании государственной границы, а в возможностях контроля за ее пересечением, что и отражает само существо вопроса, а во-вторых, не все участки границы нуждаются в сложном оборудовании для обеспечения эффективного контроля за ее пересечением. В частности, к таким участкам следует отнести труднопроходимые территории (например, горные гряды и болота).

В качестве других показателей уровня пограничного контроля в ДНБ США применяются:

- доля воздушных и наземных пассажиров, задержанных за нарушение правил пересечения государственной границы, от общего числа нарушений, определенного на основе статистического наблюдения;
- процент задержанных мигрантов, пытавшихся проникнуть на территорию США по морю, от общего количества таких попыток;
- протяженность воздушного пространства, находящегося под эффективным радиолокационным контролем.

Все эти показатели как единый кластер в конечном итоге сводятся к агрегированному показателю «степень защиты населения США от опасных лиц», который в Стратегии национальной безопасности определен как стратегический

---

<sup>1</sup>Department of Homeland Security.

национальный приоритет «общественная безопасность»<sup>1</sup>, а не как показатель «территориальная целостность и суверенитет США».

Еще одним примером, демонстрирующим принципиальную разницу между показателями достижения непосредственных и конечных результатов, может служить численность сельского населения<sup>2</sup>. Этот показатель, а точнее, доля населения, занятого сельским хозяйством, от общей численности населения обычно рассматривается как потенциал страны по производству сельскохозяйственной продукции и обеспечению продовольственной безопасности.

Как известно, неуклонное сокращение сельского населения в России вызывает тревогу на всех уровнях, и российское государство предпринимает меры для борьбы с этой негативной тенденцией, полагая, что укрепление села должно обеспечить необходимый уровень производства сельскохозяйственной продукции. Однако, если сравнить значения этого показателя, например, для Нидерландов и России, то у Нидерландов он, как может показаться, примерно в десять раз «хуже»: т. е. в Нидерландах в сельскохозяйственном секторе занято менее одного процента населения страны, а в России — около десяти. Тем не менее эта небольшая страна не только обеспечивает сельскохозяйственной продукцией себя, но и экспортирует ее во многие страны мира, в том числе и в Россию.

Анализ этого феномена свидетельствует о том, что главное в сельскохозяйственном производстве — не численность занятого в нем населения, а правильное регулирование земельных отношений, что обеспечивается гибкой системой кредитования сельскохозяйственных производителей, социальным обустройством села, организацией закупок сельскохозяйственной продукции (например, через биржи), выпуском сельскохозяйственной техники и мерами поддержки со стороны государства. Все это в комплексе (а не численность сельского населения) обеспечивает высокую производительность и эффективность труда в сельском хозяйстве, большие объемы производства и высокое качество произведенной продукции.

В заключение этого раздела следует отметить, что с точки зрения создания системы мониторинга и индикаторной оценки НБРФ решение перечисленных проблем является основной задачей ориентированных научных исследований, одной из целей которых является разработка методологической основы для оценивания полноты и адекватности системы используемых индикаторов и других показателей в целях формирования обобщенной оценки НБРФ.

---

<sup>1</sup>Выражается в уровне защищенности личности, общества и государства преимущественно от угроз общеопасного характера. Согласно теории государства и права, одним из критериев оценки общественной безопасности кроме уровня преступности и правонарушений следует считать уровень защиты личности и общества от последствий стихийных бедствий и техногенных катастроф.

<sup>2</sup>Более уместно говорить о населении, занятом в сельском хозяйстве, так как в Западной Европе это не одно и то же. В России принято ставить знак равенства между обоими понятиями, хотя это не совсем верно.

#### 4 Основные положения методологии создания системы мониторинга национальной безопасности

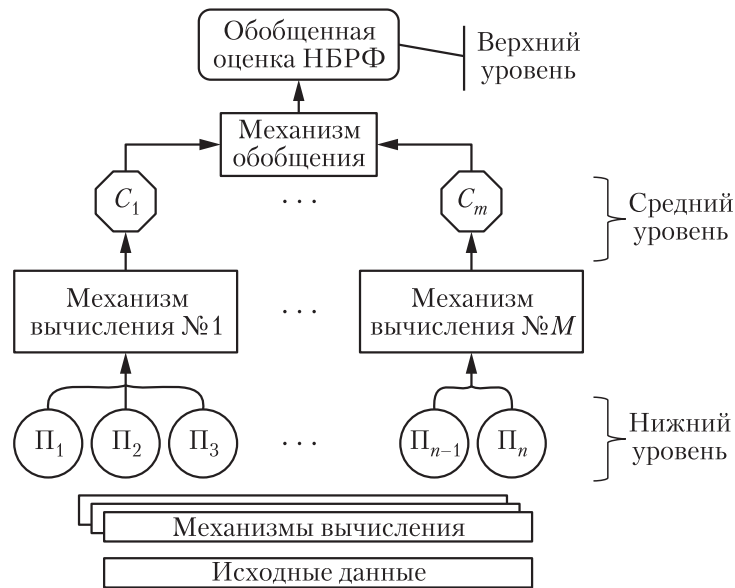
Теоретические основы методологии создания системы мониторинга и индикаторного оценивания (СМИО) НБРФ базируются на трех понятиях:

- (1) показатель как родовое понятие (гипероним);
- (2) индикатор как его частный случай (гипоним);
- (3) механизм вычисления (определения) обобщенной оценки НБРФ.

В результате использования иерархических отношений между индикаторами и другими показателями (см. рисунок), а также механизма вычисления (определения) формируется обобщенная оценка, характеризующая состояние НБРФ за конкретный временной период, и прогнозируемые ее значения.

В создаваемой методологии предусматриваются три уровня механизма вычисления (определения) обобщенной оценки НБРФ, как это представлено на рисунке:

- (1) нижний уровень базовых индикаторов;
- (2) средний уровень интегрированных индикаторов по сферам НБРФ;
- (3) верхний уровень обобщенной оценки НБРФ.



Структура вычислений в СМИО НБРФ

В методологии предполагается использовать следующие **периоды оценки**: 1 год, 5 лет, 10 лет (в соответствии с имеющимися на данный момент ретроспективными данными). Возможны и другие периоды оценки, но для их реализации должны иметься исходные данные на соответствующий временной период.

Предполагается, что для формирования новых индикаторов и показателей используется *проективный словарь*, который по своей сути является темпоральной базой знаний [15, 18, 19]. Таким образом, согласно предлагаемой методологии, СМНО НБРФ будет не только проводить вычисление интегрированных индикаторов по сферам и определять обобщенную оценку НБРФ, но и формировать новые индикаторы и показатели в случае необходимости.

Согласно данной методологии жизненный цикл показателя включает:

- создание проекта показателя;
- формирование показателя экспертами с использованием проективного словаря, включая обсуждение и согласование личностных экспертных позиций;
- утверждение показателя;
- активную фазу использования показателя: периодическое вычисление значений в течение утвержденного срока его действия;
- продление срока действия показателя или отказ от него.

В методологии не предполагается удаление показателей, устаревших или переставших быть нужными. Все показатели остаются в системе (с неактивным статусом), это обеспечивает возможность восстановления всей информации о статусе того или иного индикатора, структуре системы оценки и самих оценок на любой момент времени, что обеспечивает верифицируемость работы системы.

Описание показателя включает в себя алгоритм его вычисления и правило выборки информационных ресурсов, необходимых для выполнения вычисления, например в виде строки запроса к базе данных. Иначе говоря, это описание включает определение процедуры обработки данных (алгоритм), источник исходных данных (имя базы данных) и правило выборки.

В структурированную часть описания показателя входит ряд полей, содержащих:

- наименование показателя;
- ссылку на уровень показателя (базовый или интегрированный);
- ссылку на показатель более высокого уровня (сферу оценки или обобщенную оценку);
- ссылки на показатели более низкого уровня (базового уровня или сферы);
- периодичность оценивания;
- дату утверждения;
- ссылки на оценки, вычисленные за время действия показателя;
- даты вычисления значений (оценок);
- рубрику(и) классификатора индикаторов и других показателей;

- ссылки на дескрипторы проективного словаря, фиксирующие историю формирования показателя (включают в себя информацию об экспертах-авторах данного показателя, даты создания и модификации, ссылки на показатели-прототипы и показатели-последователи).

Методология определяет основные группы пользователей СММО НБРФ, их права и обязанности при работе в системе. Непосредственно относящимися к работе системы являются следующие роли в этих группах:

- пользователь системы только с правом просмотра;
- автор-эксперт без прав согласования показателей (т. е. только формирование показателей);
- автор-эксперт с правом формирования и согласования показателей различных уровней;
- лицо, принимающее решение, с правом утверждения показателей;
- администраторы системы с различными уровнями полномочий.

Методология предполагает, что согласно требованиям к структуре и функционированию автоматизированной системы [26] СММО НБРФ делится на функциональные подсистемы и виды обеспечения.

## 5 Заключение

По результатам данного исследования решен ряд общенаучных задач применительно к мониторингу сложных процессов, включая обеспечение НБРФ. В частности, уточнен терминологический аппарат, служащий фундаментом для развития и совершенствования методологии мониторинга и оценки и определены ключевые требования к применяемым для этого показателям.

Кроме того, выявлен спектр проблем и вопросов, которые частично уже нашли свое отражение в предлагаемой методологии, но для изучения которых требуется следующая дополнительная информация [27]:

- используемая методика оценки военно-политической ситуации и внутренних условий, в которых находится страна и решаются задачи обеспечения НБРФ;
- используемая методика формирования обобщенной оценки НБРФ.

Эта информация даст возможность продолжить исследование тех вопросов, которые не нашли отражения в описанном варианте методологии.

## Литература

1. *Поспелов Г. С., Ириков В. А.* Программно-целевое планирование и управление. — М.: Советское радио, 1976. 440 с.
2. Проблемы программно-целевого планирования и управления / Под ред. Г. С. Поспелова. — М.: Физматлит, 1981. 464 с.



3. Planning for performance and evaluating results of public R&D programs: Meeting the OMB PART challenge / Ed. R. Ruegg. — Washington: WREN, 2004. Workshop Executive Summary Report. 86 p. <http://www.scienceofsciencepolicy.net/sites/default/files/attachments/WREN2003DecWorkshopReport.pdf>.
4. Проблемы национальной безопасности: экспертные заключения, аналитические материалы, предложения / Под общ. ред. Н. П. Лаверова. — М.: Наука, 2008. 459 с.
5. The logical framework approach: Handbook for objectives-oriented planning. — Oslo: United Nations Association of Norway (NORAD), Norwegian Agency for International Development, 1992. 109 p.
6. Logical framework approach: A flexible tool for participatory development. — Copenhagen: DANIDA, 1995. 126 p.
7. *Mosse R., Sontheimer L. E.* Performance monitoring indicators handbook. — Washington: World Bank, 1996. World Bank Technical Paper No. 334. 60 p. [http://siteresources.worldbank.org/BRAZILINPOREXTN/Resources/3817166-1185895645304/4044168-1186409169154/24pub\\_br217.pdf](http://siteresources.worldbank.org/BRAZILINPOREXTN/Resources/3817166-1185895645304/4044168-1186409169154/24pub_br217.pdf)
8. Assessing fundamental science / Ed. E. L. Collins. — Washington: Office of Science and Technology Policy, 1996. Report from the Subcommittee on Research Committee on Fundamental Science National Science and Technology Council. <http://www.nsf.gov/statistics/ostp/assess/start.htm>.
9. *Collins E.* Fundamental science and federal management reform // D-Lib Magazine, 1997. Vol. 3. Iss. 9. 58 p. <http://www.dlib.org/dlib/september97/09collins.html>.
10. *Лукьянов Г. В., Никишин Д. А., Веревкин Г. Ф.* Информационное обеспечение мониторинга национальной безопасности в региональном разрезе // Системы и средства информатики, 2014. Т. 24. № 2. С. 193–203.
11. *Зацман И. М., Бунтман П. С.* Проектирование индикаторов мониторинга в сфере науки: теоретические основания и модели // Онтология проектирования, 2014 (в печати). № 3.
12. *Зацман И. М.* Терминологический анализ нормативно-правового обеспечения создания систем мониторинга и оценки результативности в сфере науки // Экономическая наука современной России, 2005. № 4. С. 114–129.
13. Evaluating the EU Research and Technological Development (RTD) framework programmes — could the Commission's approach be improved? Special Report No.9/2007 // Official J. European Union C 26/01, 2008. P. 1–38. <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/AUTO/?uri=CELEX:52007SA0009&qid=1413297063783&rid=9>.
14. О Стратегии национальной безопасности Российской Федерации до 2020 года: Указ Президента Российской Федерации от 12 мая 2009 г. № 537 // Российская газета № 4912 от 19 мая 2009 г. <http://www.rg.ru/2009/05/19/strategia-dok.html>.
15. *Zatsman I., Durnovo A.* Incompleteness problem for indicators system of research programme // 11th Conference (International) on Science and Technology Indicators (STI'2010): Book of abstracts. — Leiden: Universiteit Leiden, 2010. P. 309–311.
16. Методические рекомендации по подготовке Докладов о результатах и основных направлениях деятельности субъектов бюджетного планирования на 2006–2008 годы. — М.: Мин-во финансов РФ, 2005. [http://www.minfin.ru/common/img/uploaded/library/2005/07/metod\\_270705.doc](http://www.minfin.ru/common/img/uploaded/library/2005/07/metod_270705.doc).

17. Lepori B., Barre R., Filliatreau G. New perspectives and challenges for the design and production of S&T indicators // Res. Eval., 2008. Vol. 17. No. 1. P. 33–44.
18. Зацман И. М., Дурново А. А. Моделирование процессов формирования экспертных знаний для мониторинга программно-целевой деятельности // Информатика и её применения, 2011. Т. 5. Вып. 4. С. 84–98.
19. Zatsman I., Durnovo A. Proactive dictionary of evaluation system as a tool for S&T indicator development // 17th Conference (International) on Science and Technology Indicators Proceedings / Eds. É. Archambault, Y. Gingras, and V. Larivière. — Montréal: Science-Metrix and OST, 2012. Vol. 2. P. 905–906.
20. Zatsman I., Buntman P. Theoretical framework and denotatum-based models of knowledge creation for monitoring and evaluating R&D program implementation // Int. J. Softw. Sci. Comput. Intell., 2013. Vol. 5. No. 1. P. 15–31.
21. Зацман И. М., Шубников С. К. Методы верифицируемого оценивания целевых программ научных исследований // Системы и средства информатики, 2010. Вып. 20. № 2. С. 23–48.
22. Шубников С. К. Формы документов в системах информационного обеспечения оценки результативности научной деятельности // Системы и средства информатики, 2005. Вып. 15. С. 59–76.
23. Зацман И. М. Информационные ресурсы для систем мониторинга в сфере науки // Системы и средства информатики, 2005. Вып. 15. С. 288–318.
24. Buddenberg R. FORCENet: We've been here before. 2002. <http://www.dtic.mil/cgi-bin/GetTRDoc?AD=ADA461312>.
25. Buddenberg R. Toward an interoperability reference model. 2006. <http://www.dtic.mil/cgi-bin/GetTRDoc?AD=ADA502999>.
26. ГОСТ 34.602-89. Техническое задание на создание автоматизированной системы. — М.: Изд-во стандартов, 1989. 10 с.
27. Николаев И. А., Точилкина О. С. Экономическая дифференциация регионов: оценки, динамика, сравнения. Аналитический доклад. — М.: Accountants & Business Advisers, 2011. 28 с.

*Поступила в редакцию 16.07.14*

---

## CHARACTERISTICS OF NATIONAL SECURITY INDICATORS IN THE CONTEXT OF ITS INFORMATION MONITORING

*G. V. Lukyanov, D. A. Nikishin, G. F. Verevkin, and V. V. Kosarik*

Institute of Informatics Problems, Russian Academy of Sciences, 44-2 Vavilov Str.,  
Moscow 119333, Russian Federation

**Abstract:** The article is devoted to problems of methodology of creation of the system of monitoring and indicator assessment of national security of the

Russian Federation. The main attention is paid to development and justification of the requirements for indicators which are used for national security assessment. The purpose of this research is to develop a methodological basis for studying completeness and adequacy of the metrics used in the system in order to form a generalized assessment of national security of the Russian Federation in the medium and long terms. Application of the major components of the program-target approach using the developed methodology enables the use of monitoring tools to assess compliance of the results of activities in the sphere of national security, as well as attracted to this activities resource with the aims and objectives of national security provision.

**Keywords:** monitoring of national security of the Russian Federation; information monitoring; indicator assessment; output indicators; outcome indicators

**DOI:** 10.14357/08696527140412

## References

1. Pospelov, G. S., and V. A. Irikov. 1976. Programmno-tselevoe planirovanie i upravlenie [Program and target planning and management]. Moscow: Sovetskoe radio [Soviet radio]. 440 p.
2. Pospelov, G. S., ed. 1981. Problemy programmno-tselevogo planirovaniya i upravleniya [Problems of program and target planning and management]. Moscow: Fizmatlit. 464 p.
3. Ruegg, R., ed. 2004. Planning for performance and evaluating results of public R&D programs: Meeting the OMB PART Challenge. Washington: The Washington Research Evaluation Network. Workshop Executive Summary Report. 86 p. Available at: <http://www.scienceofsciencepolicy.net/sites/default/files/attachments/WREN2003DecWorkshopReport.pdf> (accessed October 14, 2014).
4. Laverov, N. P., ed. 2008. *Problemy natsional'noy bezopasnosti: Ekspertnye zaklyucheniya, analiticheskie materialy, predlozheniya* [Problems of national security: Expert opinions, analytical materials, offers]. Moscow: Nauka. 459 p.
5. NORAD. 1992. *The logical framework approach: Handbook for objectives-oriented planning*. Oslo, Norway: Norwegian Agency for International Development. 109 p.
6. DANIDA. 1995. *Logical framework approach: A flexible tool for participatory development*. Copenhagen, Denmark. 126 p.
7. Mosse, R., and L. E. Sontheimer. 1996. *Monitoring indicators: A handbook for task managers*. Washington, D.C.: World Bank. World Bank Technical Paper No. 334. 60 p. Available at: [http://siteresources.worldbank.org/BRAZILINPOREXTN/Resources/3817166-1185895645304/4044168-1186409169154/24pub\\_br217.pdf](http://siteresources.worldbank.org/BRAZILINPOREXTN/Resources/3817166-1185895645304/4044168-1186409169154/24pub_br217.pdf) (accessed October 15, 2014).
8. Collins, E. L., ed. 1996. *Assessing fundamental science*. Washington, DC: Office of Science and Technology Policy. Report from the Subcommittee on Research Committee on Fundamental Science National Science and Technology Council. Available at: <http://www.nsf.gov/statistics/ostp/assess/start.htm> (accessed October 14, 2014).
9. Collins, E. 1997. Fundamental science and federal management reform. *D-Lib Magazine* 3(9). 58 p. Available at: <http://www.dlib.org/dlib/september97/09collins.html> (accessed October 14, 2014).

10. Luk'yanov, G. V., D. A. Nikishin, and G. F. Verevkin. 2014. Informatsionnoe obespechenie monitoringa natsional'noy bezopasnosti v regional'nom razreze [Information support of monitoring of national security in a regional section]. *Sistemy i Sredstva Informatiki — Systems and Means of Informatics* 24(2):193–203.
11. Zatsman, I. M., and P. S. Buntman. 2014 (in press). Proektirovanie indikatorov monitoringa v sfere nauki: Teoreticheskie osnovaniya i modeli [Design of indicators of monitoring in the sphere of science: Theoretical bases and models]. *Ontologiya Proektirovaniya* [Design Ontology] 3.
12. Zatsman, I. M. 2005. Terminologicheskii analiz normativno-pravovogo obespecheniya sozdaniya sistem monitoringa i otsenki rezul'tativnosti v sfere nauki [The terminological analysis of standard legal support of creation of systems of monitoring and assessment of productivity in the sphere of science]. *Ekonomicheskaya Nauka Sovremennoy Rossii* [Economic Science of Modern Russia] 4:114–129.
13. Court of Auditors. 2008. Special Report No.9/2007 concerning Evaluating the EU Research and Technological Development (RTD) framework programmes — could the Commission's approach be improved? *Official J. European Union* C 26/1. 1–38. Available at: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/AUTO/?uri=CELEX:52007SA0009&qid=1413297063783&rid=9> (accessed October 14, 2014).
14. Medvedev, D. A. 2009. Ukaz Prezidenta Rossiyskoy Federatsii ot 12 maya 2009 g. No. 537 “O Strategii natsional'noy bezopasnosti Rossiyskoy Federatsii do 2020 goda” [The decree of the President of the Russian Federation of May 12, 2009 No. 537 “About Strategy of national security of the Russian Federation till 2020”]. *Rossiyskaya gazeta* [The Russian newspaper] No. 4912 of May 19, 2009. Available at: <http://www.rg.ru/2009/05/19/strategia-dok.html> (accessed October 15, 2014).
15. Zatsman, I. M., and A. A. Durnovo. 2010. Incompleteness problem for indicators system of research programme. *11th Conference (International) on Science and Technology Indicators (STI'2010): Book of abstracts*. Leiden: Universiteit Leiden. 309–311.
16. Golikova, T. A., and A. V. Sharonov. 2005. Metodicheskie rekomendatsii po podgotovke dokladov o rezul'tatakh i osnovnykh napravleniyakh deyatelnosti sub"ektov byudzhetnogo planirovaniya na 2006–2008 gody ot 27 iyunya 2005 g. No. 02-AL/2008. [Methodical recommendations about preparation of reports on results and the main activities of subjects of budget planning for 2006–2008 of June 27, 2005 No.02-AL/2008]. Moscow: Ministerstvo finansov Rossiyskoy Federatsii. [Moscow: Ministry of Finance of the Russian Federation]. 33 p. Available at: [http://www.minfin.ru/common/img/uploaded/library/2005/07/metod\\_270705.doc](http://www.minfin.ru/common/img/uploaded/library/2005/07/metod_270705.doc) (accessed October 15, 2014).
17. Lepori B., R. Barre, and G. Filliatreau. 2008. New perspectives and challenges for the design and production of S&T indicators. *Res. Eval.* 17(1):33–44.
18. Zatsman, I. M., and A. A. Durnovo. 2011. Modelirovanie protsessov formirovaniya ekspertnykh znaniy dlya monitoringa programmno-tselevoy deyatelnosti [Modeling of processes of formation of expert knowledge for monitoring program and target activity]. *Informatika i ee Primeneniya — Inform. Appl.* 5(4):84–98.
19. Zatsman, I. M., and A. A. Durnovo. 2012. Proactive dictionary of evaluation system as a tool for S&T indicator development. *17th Conference (International) on Science and Technology Indicators Proceedings*. Eds. É. Archambault, Y. Gingras, and V. Larivière. Montréal: Science-Metrix and OST. 2:905–906.

20. Zatsman, I. M., and P. S. Buntman. 2013. Theoretical framework and senotatum-based models of knowledge creation for monitoring and evaluating R&D program implementation. *Int. J. Softw. Sci. Comput. Intell.* 5(1):15–31.
21. Zatsman, I. M., and S. K. Shubnikov. 2010. Metody verifitsiruemogo otsenivaniya tselevykh programm nauchnykh issledovaniy [Methods of the verified estimation of target programs of scientific researches]. *Sistemy i Sredstva Informatiki — Systems and Means of Informatics* 20(2):23–48.
22. Shubnikov, S. K. 2005. Formy dokumentov v sistemakh informatsionnogo obespecheniya otsenki rezul'tativnosti nauchnoy deyatel'nosti [Forms of documents in systems of information support of an assessment of productivity of scientific activity]. *Sistemy i Sredstva Informatiki — Systems and Means of Informatics* 15:59–76.
23. Zatsman, I. M. 2005. Informatsionnye resursy dlya sistem monitoringa v sfere nauki [Information resources for systems of monitoring in the sphere of science]. *Sistemy i Sredstva Informatiki — Systems and Means of Informatics* 15(2):88–318.
24. Buddenberg, R. 2002. FORCENet: We've been here before. Available at: <http://www.dtic.mil/cgi-bin/GetTRDoc?AD=ADA461312> (accessed October 15, 2014).
25. Buddenberg, R. 2006. Toward an interoperability reference model. Available at: <http://www.dtic.mil/cgi-bin/GetTRDoc?AD=ADA502999> (accessed October 15, 2014).
26. GOST 34.602-89. 1989. Tekhnicheskoe zadanie na sozdanie avtomatizirovannoy sistemy [The specification on creation of the automated system]. Moscow: Publishing House of Standards. 10 p. Available at: [http://prj-exp.ru/gost/gost\\_34-602-89.php](http://prj-exp.ru/gost/gost_34-602-89.php) (accessed October 15, 2014).
27. Nikolaev, I. A., and O. S. Tochilkina. 2011. *Ekonomicheskaya differentsiatsiya regionov: Otsenki, dinamika, sravneniya. Analiticheskiy doklad* [Economic differentiation of regions: Estimates, dynamics, comparisons. Analytical report]. Moscow: Accountants & Busines Advisers. 28 p.

Received July 16, 2014

## Contributors

**Lukyanov Gennady V.** (b. 1952) — Candidate of Military Science (PhD), associate professor; Head of Laboratory, Institute of Informatics Problems, Russian Academy of Sciences, 44-2 Vavilov Str., Moscow 119333, Russian Federation; gena-mslu@mail.ru

**Nikishin Dmitry A.** (b. 1976) — Candidate of Science (PhD) in technology, Head of Laboratory, Institute of Informatics Problems, Russian Academy of Sciences, 44-2 Vavilov Str., Moscow 119333, Russian Federation; dn@a170.ipi.ac.ru

**Verevkin Gennady F.** (b. 1934) — Candidate of Science (PhD) in technology, senior scientist, Institute of Informatics Problems, Russian Academy of Sciences, 44-2 Vavilov Str., Moscow 119333, Russian Federation; gennadij.verevckin2012@yandex.ru

**Kosarik Valerii V.** (b. 1970) — scientist, Institute of Informatics Problems, Russian Academy of Sciences, 44-2 Vavilov Str., Moscow 119333, Russian Federation; valery@a170.ipi.ac.ru

## НЕКОТОРЫЕ ПОДХОДЫ К ФОРМИРОВАНИЮ НОРМАТИВНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ БАЗЫ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ЕДИНОГО ИНФОРМАЦИОННОГО ПРОСТРАНСТВА РОССИИ

*А. А. Зацаринный<sup>1</sup>, Э. В. Киселев<sup>2</sup>*

**Аннотация:** На основе существующих нормативно-правовых документов федерального уровня сформулированы цели формирования и развития единого информационного пространства (ЕИП) Российской Федерации (ЕИП РФ). Определен обобщенный состав ЕИП на основе совокупности информационных ресурсов (ИР) и информационной инфраструктуры (ИИ) страны. Введено понятие участников этого пространства как основных источников и потребителей ИР. Выявлены три основные проблемы создания и использования ЕИП с учетом реального состояния информатизации страны. На основе системного подхода определены основные принципиальные положения по созданию и использованию ЕИП. Сформулирован подход и даны предложения по документированию ЕИП как мегасистемы, для которой предложено семь качественно новых типов документов. Результаты статьи являются постановочными для дальнейшего рассмотрения вопросов, связанных с формированием и взаимодействием ИР в составе ЕИП РФ.

**Ключевые слова:** единое информационное пространство Российской Федерации; информационные ресурсы; информационная инфраструктура; централизация; интеграция; информационная безопасность; телекоммуникационное обеспечение; системный подход; мегасистема; нормативно-технические документы

**DOI:** 10.14357/08696527140413

### 1 Вводные положения

Весь мир, и в том числе Россия, находится в состоянии перехода от «индустриального общества» к «обществу информационному». Информация и ИР становятся экономическими категориями, одним из основных национальных ресурсов.

В нашей стране актуальность, необходимость, цели и основные задачи создания ЕИП РФ определены целым рядом нормативно-правовых документов на федеральном уровне [1–7]. Так, в качестве основных предусмотрены следующие цели формирования и развития ЕИП РФ [1–4, 6]:

<sup>1</sup>Институт проблем информатики Российской академии наук, azatsarinny@ipiran.ru

<sup>2</sup>Институт проблем информатики Российской академии наук, ekiselev@ipiran.ru



- обеспечение прав граждан на информацию, провозглашенных Конституцией Российской Федерации;
- создание и поддержание уровня информационного потенциала, необходимого для устойчивого развития российского общества;
- обеспечение взаимоувязанности и согласованности решений, принимаемых федеральными органами государственной власти, органами власти субъектов РФ и органами местного самоуправления (ОГВ);
- повышение уровня правосознания граждан путем предоставления им свободного доступа к правовым и нормативным документам, определяющим их права, обязанности и возможности;
- обеспечение контроля со стороны граждан и общественных организаций за деятельностью ОГВ;
- повышение деловой и общественной активности граждан путем предоставления равной с государственными структурами возможности пользоваться открытой научно-технической, социально-экономической, общественно-политической информацией, а также информационными фондами сферы образования, культуры и т. д.;
- интеграцию с европейским и мировым информационным пространством.

Для достижения поставленных целей в [1] ЕИП РФ представляется как совокупность баз и банков данных, технологий их ведения и использования, информационно-телекоммуникационных систем (ИТКС) и сетей, функционирующих на основе единых принципов совместимости и по общим правилам, обеспечивающим информационное взаимодействие организаций и граждан, а также удовлетворение их информационных потребностей.

Обобщенный состав ЕИП РФ складывается из двух укрупненных компонентов [1]:

- (1) ИР, содержащих данные, сведения и знания, зафиксированные на соответствующих носителях информации. В ИР входят информация, информационное общество, информационный потенциал общества, информационная культура;
- (2) ИИ, включающей организационные структуры, которые обеспечивают функционирование и развитие ЕИП РФ, а также аппаратно-программные средства, обеспечивающие доступ организаций и граждан к ИР на основе соответствующих информационных технологий (ИТ).

Различные организации, структуры и т. п. (далее обобщенно — организации), имеющие собственные ИР и осуществляющие информационное взаимодействие посредством ИИ с другими организациями и физическими лицами в пределах ЕИП, ниже определяются как Участники ЕИП РФ. Многочисленные Участники являются основными источниками и потребителями ИР в составе ЕИП РФ. Между Участниками в рамках ЕИП РФ осуществляется информационное взаимодействие по правилам ЕИП РФ.

## 2 Основные проблемы создания единого информационного пространства России

Формирование ЕИП РФ и соответствующих государственных ИР представляет собой *глобальную задачу* — общегосударственную, межотраслевую и межрегиональную. Она требует решения сложных организационных и технико-технологических вопросов, значительных затрат и не может быть решена одномоментно. При этом необходим комплексный учет социально-экономических, правовых и политических аспектов информатизации общества, всестороннее использование организационного, технологического, технического и нормотворческого опыта развития информационных пространств ведущих стран.

Из всего множества проблем следует выделить *три ключевых*.

*Первая проблема* — совершенствование нормативной базы, обеспечение единства нормативно-правовой, нормативно-технической и нормативно-справочной информации и централизованное, взаимосвязанное управление этими составляющими в рамках ЕИП РФ. В том числе необходимо разработать экономико-правовые основы:

- законодательные и нормативные акты, определяющие права и обязанности юридических и физических лиц по формированию и использованию ИР, средств их обработки и доставки;
- экономические регуляторы, обеспечивающие стимулирование активного формирования и использования ИР.

*Вторая проблема* — централизованное формирование ИР и обеспечение оперативного доступа к ним в рамках ЕИП РФ. Необходимо провести весьма существенные работы по включению ИР в ЕИП РФ, предоставление их на законном основании органам управления государственной власти, хозяйствующим субъектам и гражданам.

*Третья проблема* — обеспечить соблюдение принципов системного подхода к информатизации при построении ЕИП РФ. Как показывает анализ, такой подход практически игнорируется многими потенциальными Участниками вследствие сложившейся практики так называемой «лоскутной» информатизации, когда у Участника имеется множество самостоятельных, зачастую уникальных информационных систем, не совместимых между собой, не приспособленных к совершенствованию и развитию, дорогостоящих, трудных в эксплуатации.

## 3 Основные системотехнические положения по созданию и использованию единого информационного пространства России

На основе углубленного системного анализа существующей нормативно-правовой базы, других документов и материалов [1–21] сформулированы следующие системотехнические положения по созданию и использованию ЕИП РФ.



1. Единое информационное пространство России должно создаваться как конгломерация общенационального масштаба, соединяющая в одно целое отдельные разнообразные автоматизированные системы (АС, автоматизированные информационные системы (АИС), ИТКС, информационно-управляющие системы и др.) России на основе паритетности — при сохранении этими системами своих черт, свойств и ИР. К тому же ЕИП РФ должно входить на основе паритетности в мировое информационное пространство. Таким образом, ЕИП РФ с полным основанием можно считать «Системой систем» и подобную систему рассматривать как мегаинфраструктурное образование — *мегасистему*.

Данной мегасистеме свойственны следующие основные характерные, специфические особенности: глобальность, множественность Участников, постоянные изменения состава ЕИП РФ, перманентное видоизменение самих ИР, многочисленные изменения нормативно-правовой базы ЕИП РФ.

2. Единое информационное пространство России следует создавать на основе двух основополагающих принципов:

- (а) *адекватность* перспективного ЕИП РФ потребностям функциональной деятельности Участников — всех организаций России, входящих в это пространство, с учетом расширения ЕИП РФ. Это означает, что ЕИП РФ целесообразно создавать с некоторым опережением потенциальных функциональных потребностей Участников ЕИП РФ;

- (б) *органичное включение Участников — конкретных организаций РФ — в ЕИП РФ*. В значительной мере этому должна способствовать уже действующая государственная программа Российской Федерации «Информационное общество (2011–2020 годы)» [6], определяющая конкретные организации РФ (в части их касающейся), которые должны войти на правах Участников в создаваемое «Информационное общество» России. Соответственно, Участники должны быть подключены к реализации этой программы, в том числе и те, которые охвачены программой электронного правительства РФ — в части, касающейся [5, 10, 11, 13–17]. Каждый Участник формирует ИР именно для ЕИП РФ, возможно, эти ИР являются частью его внутренних ресурсов.

3. Единое информационное пространство России следует создавать на основе органичного сочетания *централизации и интеграции*, прежде всего, при территориальной распределенности Участников (например, по регионам страны, возможно зарубежных объектов этих организаций).

*Централизация* в составе ЕИП РФ предусматривает перенесение на высший уровень Участника (на федеральном или региональном уровне) выполнения всех основных информационных процессов (сбора, накопления, обработки, хранения, архивирования, защиты информации и др.).

Естественно, централизация в таком виде касается только той части ИР Участника, которые подготавливаются им для использования другими Участниками в составе ЕИП РФ.

*Интеграция* в составе ЕИП РФ ориентирует Участника на органичное объединение у него существующих и вновь разрабатываемых АИС в единую систему — ЕИС, с созданием ЕИП в пределах Участника, которое должно быть органично совместимым с ЕИП РФ. При этом осуществляется рациональное структурирование компонентов ЕИС как единой системы-интегратора и взаимодействие компонентов между собой и с внешними системами в рамках ЕИП РФ. Рациональное структурирование при интегрировании выполняется с учетом наличия существующей, унаследованной ИИ. Функциональность унаследованных АИС в составе единой системы Участника сохраняется, но может видоизменяться ее реализация. Это означает, что вместо использования самостоятельных существующих АИС их функциональность выполняется в составе единой системы-интегратора как задачи и (или) комплексы функциональных задач на высшем уровне данной организации — Участника ЕИП РФ.

Результаты органичного сочетания централизации и интеграции в единой системе-интеграторе ориентируются на обеспечение:

- достаточной гибкости структуры ЕИС в процессе ее поэтапного создания, развития и модернизации;
- относительной простоты программно-аппаратных комплексов, используемых на объектах массового применения;
- работы ЕИС в режиме, близком к режиму реального времени;
- высокой надежности функционирования ЕИС в целом;
- максимально возможного сокращения совокупной стоимости владения единой системой;
- сравнительно быстрого, полного и относительно безболезненного перехода от имеющего место существующей «лоскутности» информатизации в структурах РФ при множественности АИС к рационально отструктурированной единой системе-интегратору;
- эффективного доступа Участника в ЕИП РФ посредством своей ЕИС-интегратора.

4. В ЕИП РФ должен постоянно осуществляться автоматизированный функциональный мониторинг и выполнение соответствующих учетно-аналитических работ, необходимых для обеспечения полноценной функциональной деятельности Участников — организаций РФ в рамках ЕИП.

Это означает, что соответствующие единые системы-интеграторы должны участвовать в автоматизированном функциональном мониторинге в составе ЕИП РФ — в части их касающейся. При этом с использованием ЕИП РФ

сфера выполнения аналитических и учетных работ может быть существенно расширена.

5. В составе ЕИП РФ должен быть обеспечен эффективный информационный обмен — на качественно новом уровне, с использованием новейших технологий.

Главную роль при реализации информационного обмена должны выполнять высокопроизводительные, территориально распределенные телекоммуникационные структуры (сети, системы), которые доходят до каждого объекта всех Участников ЕИП РФ.

6. В составе ЕИП РФ должна быть обеспечена юридическая значимость электронной информации.

Достижение юридической значимости электронной информации включает комплекс мер и решений современного уровня, рассчитанных на обеспечение необходимой степени защищенности разнообразных ИР и взаимодействия Участников в составе ЕИП РФ.

7. В ЕИП РФ необходимо обеспечить непрерывный контроль состояния и управление функционированием системы в целом и ее компонентов, включая централизованное управление конфигурацией. При этом охватываются эксплуатационные процессы, оптимизационные процессы, процессы развертывания и управления изменениями, процессы поддержки и управления особыми ситуациями.

8. В ЕИП РФ должно осуществляться комплексное обеспечение информационной безопасности. Особое внимание следует постоянно уделять комплексной защите государственных и негосударственных ИР, входящих в ЕИП РФ.

Формирование ЕИП РФ и взаимодействие в составе ЕИП РФ осуществляется на основе обязательного принципа, а именно: все без исключения функционально ориентированные ИР защищены надежно и должным образом. Это означает, что *ЕИП РФ оперирует исключительно защищенными ИР (ЗИР)*.

Обеспечение информационной безопасности в составе ЕИП РФ предусматривает использование комплекса взаимоувязанных мер и решений современного уровня. В том числе могут использоваться для необходимых функционально-ориентированных ЗИР различные контуры: открытый (О-контур); конфиденциальный (К-контур), секретный (С-контур).

9. В ЕИП РФ должно осуществляться непрерывное комплексное обеспечение эксплуатации, модернизации и сопровождения данной мегасистемы в целом и ее компонентов в течение жизненного цикла.

Комплексное обеспечение осуществляется на основе использования профильных государственных стандартов и лучших практик, в том числе с использованием соответствующих разработанных и утвержденных регламентов, и непрерывное отслеживание процессов эксплуатации, модернизации

и сопровождения на соответствующих стадиях. Необходимо ввести общесистемный компонент для централизованного управления и контроля процессов эксплуатации, модернизации и сопровождения в составе ЕИП РФ.

10. На всех стадиях и этапах создания ЕИП РФ и его компонентов (составных частей) должно осуществляться документирование данной мегасистемы. Особое внимание следует уделять тщательной отработке эксплуатационной документации, прежде всего достаточности состава и содержания документов, изложения материалов и качества документов, удобства использования их при эксплуатации.

Известно, что детальное документирование многих АС, которые потенциально должны войти в ЕИП РФ, при их создании и эксплуатации осуществляется в соответствии с требованиями и методическими указаниями стандартов, например комплекса стандартов на автоматизированные системы ГОСТ серии 34. Такой подход, к сожалению, не применим непосредственно к такому специфическому инфраструктурному образованию, как ЕИП РФ. Учитывая важность документирования, ниже излагается подход и предложения по этой части.

11. Особое внимание в ЕИП РФ должно быть уделено обеспечению единства нормативной информации трех видов — правовой (НПИ), технической (НТИ), справочной (НСИ) — и централизованное управление ими в рамках ЕИП.

Это означает, что в составе ЕИП РФ должна быть создана и постоянно использоваться централизованная система нормативной информации как один из важнейших общесистемных компонентов данной мегасистемы. Централизованная система нормативной информации должна иметь в своем составе соответственно подсистемы трех видов — ПНПИ, ННТИ, ПНСИ.

Завершая рассмотрение принципиальных положений по созданию и использованию ЕИП РФ, следует обратить внимание на особую значимость решения организационных вопросов. Речь идет об определении соответствующих органов государственной власти с правами создания ЕИП РФ, координации формирования и развития всех видов государственных ИР и включения в ЕИП негосударственных ИР. Ответственными уполномоченными органами, например, можно было бы определить:

- Администрацию Президента РФ в части функциональных задач, выполняемых ЕИП РФ;
- Федеральную службу охраны России в части обеспечения функционирования и эксплуатации инфраструктуры ЕИП РФ на всех стадиях жизненного цикла;
- Минкомсвязи России в части телекоммуникационного обеспечения ЕИП РФ;

- Федеральную службу безопасности и Федеральную службу по техническому и экспортному контролю России в части комплексного обеспечения информационной безопасности в составе ЕИП РФ.

#### 4 Подход и предложения по документированию на уровне единого информационного пространства России

Мегасистему ЕИП РФ, как и любую систему, необходимо целенаправленно проектировать, создавать и правильно эксплуатировать.

В настоящем разделе с учетом специфики ЕИП РФ формулируется подход и даются предложения по документированию данной мегасистемы. Предлагаются семь качественно новых типов документов более высокого, обобщающего уровня:

1. Стратегия создания и использования инфраструктуры ЕИП РФ.
2. Тезаурус инфраструктуры ЕИП РФ.
3. Совокупность стандартов в части инфраструктуры ЕИП РФ.
4. Описание процессов Участника в составе ЕИП РФ, соглашение с Участником об уровне предоставления услуг и регламенты.
5. Схема информатизации Участника ЕИП РФ.
6. Схема информационных потоков.
7. Схема взаимной зависимости ИР Участников ЕИП РФ и их сервисов.

Краткое содержание документов дано в таблице.

Типы документов с их кратким содержанием

Тип документа	Краткое содержание документа
1. Стратегия создания и использования инфраструктуры ЕИП РФ	Цели и задачи создания и использования инфраструктуры ЕИП РФ. Подход к организационному построению инфраструктуры ЕИП РФ. Общая интеграционная архитектура функционирования ЕИП РФ. Подход, система приоритетов и правил построения инфраструктуры ЕИП РФ. Ключевые решения со стороны Участников в части информатизации с учетом вхождения их в ЕИП РФ на принципах интеграции. Принципы инфраструктурного взаимодействия Участников в рамках ЕИП РФ с использованием ЗИР при взаимодействии. Определение стратегически важных сбалансированных показателей эффективности инфраструктуры ЕИП РФ. Основные планы развития инфраструктуры ЕИП РФ в краткосрочной и среднесрочной перспективе, бюджетная и кадровая политика реализации планов

*Окончание таблицы на с. 214*

Типы документов с их кратким содержанием (окончание)

Тип документа	Краткое содержание документа
2. Тезаурус инфраструктуры ЕИП РФ	Тезаурус как предметный словарь, полномерно охватывающий понятия, определения и термины ЕИП РФ и его инфраструктуры. Нацеленность тезауруса должна способствовать правильной лексической, корпоративной коммуникации в инфраструктуре ЕИП РФ, пониманию в общении и взаимодействии лиц и/или ИР в рамках ЕИП РФ. Тезаурус в электронном формате как действенный инструмент для описания отдельных предметных областей в рамках ЕИП РФ. Возможности тезауруса выявлять смысл не только с помощью определения, но и посредством соотнесения слова с другими понятиями и их группами в рамках ЕИП РФ. Возможности использования тезауруса для наполнения баз знаний систем искусственного интеллекта в рамках ЕИП РФ
3. Совокупность стандартов в части инфраструктуры ЕИП РФ	Правила ведения нормативной информации трех видов — правовой, технической, справочной. Форматы данных, протоколы обмена информацией, программные интерфейсы, управление требованиями. Типовые технические решения, стиль программирования, управление версиями, управление конфигурациями. Порядок испытания и тестирования систем Участников ЕИП РФ. Требования к документированию со стороны Участников ЕИП РФ
4. Описание процессов Участника в составе ЕИП РФ, соглашение с Участником об уровне предоставления услуг и регламенты	ИТ-услуги каждого Участника ЕИП РФ и правила их предоставления другим Участникам в составе ЕИП РФ, регламенты предоставления и получения ИТ-услуг. Соглашение об уровне предоставления услуги ( <i>англ.</i> Service Level Agreement — SLA), обозначающее формальный договор между заказчиком услуги и ее поставщиком, содержащее описание услуги, права и обязанности сторон и согласованный уровень качества предоставления данной услуги
5. Схема информатизации Участника ЕИП РФ	Для каждого Участника ЕИП РФ: кто, чем и для чего пользуется Участник, доступность сервисов и систем в составных частях Участника, автоматизированные и неавтоматизированные участки работы
6. Схема информационных потоков	Точки поступления информационных потоков (информации) от Участников в инфраструктуру ЕИП РФ, хранение информационных потоков (информации), обмен информацией между Участниками, дублирование информации и операций по ее вводу
7. Схема взаимной зависимости ИР Участников ЕИП РФ и их сервисов	Описание степени зависимости ИР Участников, а также их сервисов и механизмов (критическая, некритическая, слабая, сильная и др.)

## 5 Заключение

К настоящему времени, несмотря на целый ряд принятых нормативно-правовых документов федерального уровня, одной из ключевых проблем, не позволяющих получить реальные результаты по созданию ЕИП, является неполнота и несовершенство нормативно-технического обеспечения процессов разработки, внедрения и поддержания функционирования ЕИП РФ.

В статье представлены результаты, направленные на повышение эффективности процессов формирования ЕИП РФ:

- (1) обоснованы основные принципиальные положения по созданию и использованию ИР в составе ЕИП РФ. При этом ЕИП РФ рассматривается как инфраструктурное образование — мегасистема;
- (2) обоснованы предложения по перечню нормативно-технических документов для обеспечения создания ЕИП РФ как мегасистемы;
- (3) сформулировано содержание каждого из предлагаемых документов.

## Литература

1. Концепция формирования и развития единого информационного пространства России и соответствующих государственных информационных ресурсов. Одобрена решением Президента РФ 23 ноября 1995 г. № Пр-1694.
2. Электронная Россия: Федеральная целевая программа. Последние изменения 2008 года.
3. Стратегия развития информационного общества в Российской Федерации. Утверждена Президентом РФ 7 февраля 2008 г. № Пр-212.
4. Концепция долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2020 года. Утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 17 ноября 2008 г. № 1662-р.
5. Об организации предоставления государственных и муниципальных услуг: Федеральный Закон РФ от 27 июля 2010 г. № 210-ФЗ.
6. Информационное общество (2011–2020 годы): Государственная программа Российской Федерации. Утверждена распоряжением Правительства РФ № 1815-р от 20 октября 2010 г.
7. Развитие отрасли информационных технологий: План мероприятий («дорожная карта»). Утвержден распоряжением Правительства Российской Федерации от 30 декабря 2013 г. № 2602-р.
8. Концепция формирования и развития единого информационного пространства России и соответствующих государственных информационных ресурсов. — М.: Информрегистр, 1996.
9. Данилин А. В., Слюсаренко А. И. Архитектура и стратегия. «Янь» и «Инь» информационных технологий предприятия. — М.: Интернет-университет информационных технологий, 2005. 504 с.



10. Об утверждении Типовой программы развития и использования информационных и телекоммуникационных технологий субъекта Российской Федерации: Распоряжение Правительства РФ от 3 июля 2007 г. № 871-р.
11. Об одобрении Концепции формирования в Российской Федерации электронного правительства до 2010 года: Распоряжение Правительства РФ от 6 мая 2008 г. № 632-р.
12. *Коголовский М. Р., Хохлов Ю. Е.* Стандарты XML для электронного правительства. — М.: Институт развития информационного общества, 2008. 416 с.
13. Концепция единой системы информационно-справочной поддержки граждан и организаций по вопросам взаимодействия с органами исполнительной власти и органами местного самоуправления с использованием информационно-телекоммуникационной сети Интернет. Одобрена постановлением Правительства РФ от 15 июня 2009 г. № 478.
14. Правила размещения в федеральных государственных информационных системах «Сводный реестр государственных и муниципальных услуг (функций)» и «Единый портал государственных и муниципальных услуг (функций)» сведений о государственных и муниципальных услугах (функциях). Утверждены постановлением Правительства РФ от 15 июня 2009 г. № 478.
15. Об утверждении Плана перехода на предоставление государственных услуг и исполнение государственных функций в электронном виде федеральными органами исполнительной власти: Распоряжение Председателя Правительства РФ от 17 октября 2009 г. № 1555-р.
16. Сводный перечень первоочередных государственных и муниципальных услуг, предоставляемых органами исполнительной власти субъектов Российской Федерации и органами местного самоуправления в электронном виде, а также услуг, предоставляемых в электронном виде учреждениям субъектов Российской Федерации и муниципальными учреждениями. Утвержден распоряжением Правительства РФ от 17 декабря 2009 года № 1993-р. Приложение 1.
17. О единой вертикально интегрированной государственной автоматизированной информационной системе «УПРАВЛЕНИЕ»: Постановление Правительства РФ от 25 декабря 2009 г. № 1088.
18. *Штрик А. А.* Использование информационно-коммуникационных технологий для экономического развития и государственного управления в странах современного мира // Информационные технологии. Приложение, 2009. № 6. 32 с.
19. *Штрик А. А.* Электронные технологии в деятельности органов государственной власти России: анализ и перспективы развития // Информационные технологии. Приложение, 2009. № 10. 32 с.
20. *Штрик А. А.* Состояние и перспективы формирования информационного общества в России до 2015 года // Информационные технологии. Приложение, 2010. № 6. 32 с.
21. *Коллин К. К.* Вызовы XXI века и стратегические приоритеты развития России // Стратегические приоритеты, 2014. № 2. С. 25–42.

*Поступила в редакцию 12.09.14*



## SOME APPROACHES TO FORMING REGULATORY AND TECHNICAL BASE FOR CREATION OF UNIFIED INFORMATION SPACE OF RUSSIA

*A. A. Zatsarinny and E. V. Kiselev*

Institute of Informatics Problems, Russian Academy of Sciences, 44-2 Vavilov Str.,  
Moscow 119333, Russian Federation

**Abstract:** Targets of forming and developing the Russian Federation unified information space are determined relying on federal level regulatory and legal documents. The article defines the generalized composition of the unified information space based on aggregation of information resources and information infrastructure of the country. Authors created the definition of a Member of the space as a principle producer and customer of information resources. The article identifies three main problems of creating and using a unified information space considering the real conditions of informatization of the country. Based on the systemic approach, the article determines general principal theses regarding creation and usage of a unified information space. The article formulates the approach and proposals for documentation of a unified information space as a megasystem including seven absolutely new types of documents. The results can serve as the basis for further investigations concerning creation and interaction of information resources associated with the unified information space of the Russian Federation.

**Keywords:** unified information space of Russian Federation; information resources; information infrastructure; centralization; integration; information security; providing telecommunication; systemic approach; megasystem; regulatory and technical document

**DOI:** 10.14357/08696527140413

### References

1. PR-1694. Kontseptsiya formirovaniya i razvitiya edinogo informatsionnogo prostranstva Rossii i sootvetstvuyushchikh gosudarstvennykh informatsionnykh resursov. Odobrena resheniem Prezidenta Rossiyskoy Federatsii 23 noyabrya 1995 g. [A conception of forming and development of unified information space of Russia and relevant state information resources. Approved by the decision of President of the Russian Federation on November 23, 1995].
2. Postanovlenie Pravitel'stva No. 65. 2002. Federal'naya tselevaya programma "Elektronnaya Rossiya." Poslednie izmeneniya 2008 goda [Resolution of the Government of Russian Federation No. 65 of 2009. Federal objective program "Electronic Russia." Including changes of 2008].

3. PR-212. Strategiya razvitiya informatsionnogo obshchestva v Rossiyskoy Federatsii. Utverzhdena Prezidentom Rossiyskoy Federatsii 7 fevralya 2008 g. [Strategy of information society development in Russian Federation. Approved by President of Russian Federation on February 7, 2008].
4. Kontsepsiya dolgosrochnogo sotsial'no-ekonomicheskogo razvitiya Rossiyskoy Federatsii na period do 2020 goda. Utverzhdena rasporyazheniem Pravitel'stva Rossiyskoy Federatsii No. 1662-R ot 17 noyabrya 2008 g. [A conception of long-time social and economic development of Russian Federation until 2020. Approved by the Decree of the Government of Russian Federation No. 1662-R on November 17, 2008].
5. Fegeral'nyy Zakon Rossiyskoy Federatsii ot 27.07.2010 No. 210-FZ [210-FZ Federal Law of RF dated 27.07.2010]. Ob organizatsii predostavleniya gosudarstvennykh i munitsipal'nykh uslug [Regarding organization of providing state and municipal services].
6. Gosudarstvennaya programma Rossiyskoy Federatsii "Informatsionnoe obshchestvo (2011-2020 gody)." Utverzhdena rasporyazheniem Pravitel'stva RF No. 1815-R ot 20 oktyabrya 2010 g. [State program of Russian Federation "Information society (2011-2020)." Approved by the Decree of the Government of Russian Federation No. 1815-R on October 20, 2010].
7. Razvitie otrasli informatsionnykh tekhnologiy: Plan meropriyatiy ("dorozhnaya karta"). Utverzhden rasporyazheniem Pravitel'stva Rossiyskoy Federatsii No. 2602-R ot 30 dekabrya 2013 g. [Roadmap "Information technology industry development." Approved by the Decree of the Government of Russian Federation No. 2602-R on December 30, 2013].
8. Kontsepsiya formirovaniya i razvitiya edinogo informatsionnogo prostranstva Rossii i sootvetstvuyushchikh gosudarstvennykh informatsionnykh resursov [A conception of forming and development of unified information space of Russia and relevant state information resources]. 1996. Moscow: Informregistr Publ.
9. Danilin, A. V., and A. I. Slyusarenko. 2005. *Arkhitektura i strategiya. "Yan'" i "In'" informatsionnykh tekhnologiy predpriyatiya* [Architecture and strategy. Yin and yang of enterprise information technology]. Moscow: Internet-universitet informatsionnykh tekhnologiy [Internet-University of information technology]. 504 p.
10. Rasporyazhenie pravitelstva RF No. 871-R ot 3 iyulya 2007 g. Ob utverzhdenii Tipovoy programmy razvitiya i ispol'zovaniya informatsionnykh i telekommunikatsionnykh tekhnologiy sub"ekta Rossiyskoy Federatsii [Decree of the Government of Russian Federation No. 871-R dated 3.07.2007. Regarding approval of typical program of development and using of information and telecommunication technologies of a Russian Federation subject].
11. Rasporyazhenie Pravitelstva RF No. 632-R ot 6 maya 2008 g. Ob odobrenii Kontsepsii formirovaniya v Rossiyskoy Federatsii elektronnoy pravitel'stva do 2010 goda [Decree of the Government of Russian Federation No. 632-R dated 6.05.2008. About approval of the Conception of forming electronic government until 2010].
12. Kogalovskiy, M. R., and Y. E. Hohlov. 2008. *Standarty XML dlya elektronnoy pravitel'stva* [XML standards for electronic government]. Moscow: Institut razvitiya informatsionnogo obshchestva [Institute of information society development]. 416 p.
13. Kontsepsiya edinoy sistemy informatsionno-spravochnoy podderzhki grazhdan i organizatsiy po voprosam vzaimodeystviya s organami ispolnitel'noy vlasti i organami mestnogo samoupravleniya s ispol'zovaniem informatsionno-telekommunikatsionnoy

- seti Internet. Odobrena postanovleniem Pravitel'stva RF No. 478 ot 15 iyunya 2009 g. [A conception of unified system of information-referential support of citizens and organizations in questions of interactions with execution authorities and local governments using information-telecommunication network Internet. Approved by the Resolution of the Government of Russian Federation No. 478 dated 15.06.2009].
14. Pravila razmeshcheniya v federal'nykh gosudarstvennykh informatsionnykh sistemakh "Svodnyy reestr gosudarstvennykh i munitsipal'nykh uslug (funktsiy)" i "Edinyy portal gosudarstvennykh i munitsipal'nykh uslug (funktsiy)" svedeniy o gosudarstvennykh i munitsipal'nykh uslugakh (funktsiyakh). Utverzhdeny postanovleniem Pravitel'stva RF No. 478 ot 15 iyunya 2009 g. [The Rules of placement in Federal state information systems "Consolidated register of state and municipal services (functions)" and "Unified portal of state and municipal services (functions)" of state and municipal services (functions) data. Approved by the Resolution of the Government of Russian Federation No. 478 dated 15.06.2009].
  15. Rasporyazhenie Predsedatelya Pravitelstva RF No. 1555-R ot 17 oktyabrya 2009 g. Ob utverzhdenii Plana perekhoda na predostavlenie gosudarstvennykh uslug i ispolnenie gosudarstvennykh funktsiy v elektronnom vide federal'nymi organami ispolnitel'noy vlasti [Decree of the Government of Russian Federation No. 1555-R dated 17.10.2009. Regarding approval of transition plan to providing of state services and execution of state functions electronically by federal execution authorities].
  16. Svodnyy perechen' pervoocherednykh gosudarstvennykh i munitsipal'nykh, predstavlyaemykh organami ispolnitel'noy vlasti sub"ektov Rossiyskoy Federatsii i organami mestnogo samoupravleniya v elektronnom vide, a takzhe uslug, predstavlyaemykh v elektronnom vide uchrezhdeniyam sub"ektov Rossiyskoy Federatsii i munitsipal'nymi uchrezhdeniyami. Prilozhenie 1. Utverzhden rasporyazheniem Pravitel'stva RF No. 1993-R to 17 dekabrya 2009 g. [Consolidated list of primary state and municipal services provided by execution authorities of Russian Federation subjects and local governments electronically and services provided to institutions of Russian Federation subjects and by municipal institutions electronically. Appendix 1. Approved by the Decree of the Government of Russian Federation No. 1993-R dated 17.12.2009.]
  17. Postanovlenie Pravitelstva RF No. 1088 ot 25 dekabrya 2009 g. O edinoj vertikal'no integrirovannoy gosudarstvennoy avtomatizirovannoy informatsionnoy sisteme UP-RAVLENIE [Resolution of the Government of Russian Federation No. 1088 dated 25.12.2009. About unified vertical integrated state automated information system "Management"].
  18. Shtrik, A. A. 2009. Ispol'zovanie informatsionno-kommunikatsionnykh tekhnologiy dlya ekonomicheskogo razvitiya i gosudarstvennogo upravleniya v stranakh sovremennogo mira [Using of information and telecommunication technology for economic development and governance in modern world countries]. *Prilozhenie k zhurnalu "Informatsionnye Tekhnologii"* [Information Technologies. Appendix] 6. 32 p.
  19. Shtrik, A. A. 2009. Elektronnye tekhnologii v deyatel'nosti organov gosudarstvennoy vlasti Rossii: Analiz i perspektivy razvitiya [Electronic technologies in Russia Government authorities activities: Analysis and prospect of development]. *Prilozhenie k zhurnalu "Informatsionnye Tekhnologii"* [Information Technologies. Appendix] 10. 32 p.
  20. Shtrik, A. A. 2010. Sostoyanie i perspektivy formirovaniya informatsionnogo obshchestva v Rossii do 2015 goda [Conditions and prospects of forming information society in

Russia until 2015]. *Prilozhenie k zhurnalu "Informatsionnye Tekhnologii"* [Information Technologies. Appendix] 6. 32 p.

21. Kolin, K. K. 2014. Vyzovy XXI veka i strategicheskie priority razvitiya Rossii [21st century demands and strategy priority of Russia development]. *Strategicheskie Priority* [Strategy Priorities] 2:25–42.

*Received September 12, 2014*

## **Contributors**

**Zatsarinny Alexander A.** (b. 1951) — Doctor of Science in technology, professor, Deputy Director, Institute of Informatics Problems, Russian Academy of Sciences, 44-2 Vavilov Str., Moscow 119333, Russian Federation; azatsarinny@ipiran.ru

**Kiselev Eduard V.** (b. 1938) — senior scientist, Institute of Informatics Problems, Russian Academy of Sciences, 44-2 Vavilov Str., Moscow 119333, Russian Federation; ekiselev@ipiran.ru

## ОНТОЛОГИЯ ПОДДЕРЖКИ НЕПРЕРЫВНОСТИ ИТ-УСЛУГ В ИНФОРМАЦИОННО-ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ

*И. И. Быстров<sup>1</sup>, В. Н. Веселов<sup>2</sup>, С. И. Радоманов<sup>3</sup>*

**Аннотация:** Рассматриваются возможности использования онтологии для управления процессами обеспечения непрерывности и доступности ИТ-услуг в условиях нарушения функционирования информационно-телекоммуникационных систем (ИТС) внутренними и внешними негативными факторами. Приводится базовый набор концептов, описывающих свойства системных компонентов ИТС, процессов, ситуаций, сценариев и отношений между ними при восстановлении штатного режима поддержки ИТ-услуг.

**Ключевые слова:** онтология; информационно-телекоммуникационная система (ИТС); непрерывность функционирования и доступности сервисов (НФДС); системный подход; предметная область; концепты

**DOI:** 10.14357/08696527140414

### 1 Введение

В последние годы все большее развитие и применение, особенно в государственных и крупных бизнес-организациях, стали получать современные крупномасштабные и территориально распределенные ИТС, интегрирующие в себя информационные и телекоммуникационные составляющие различных систем и сетей. Внедрение ИТС существенно повысило эффективность деятельности крупных организаций и государственных структур. Существующая ИТС — это сложная организационно-техническая система, представляющая собой интегрированную пространственно распределенную автоматизированную мультисервисную систему, предназначенную для обеспечения деятельности организации и предоставления должностным лицам и структурным подразделениям информационных и телекоммуникационных услуг. Непрерывность процессов управления любой автоматизированной организацией стала существенно зависеть от устойчивости функционирования ИТС в различных условиях обстановки, особенно при возникновении различного рода природных, техногенных аварий и катастроф, различного рода социальных катаклизмов и интеллектуальных воздействий. Структурная сложность и территориальная распределенность этих систем привели к повышению их уязвимости от постоянно возрастающих опасных воз-

<sup>1</sup>Институт проблем информатики Российской академии наук, [ibystrov@ipiran.ru](mailto:ibystrov@ipiran.ru)

<sup>2</sup>Институт проблем информатики Российской академии наук, [vveselov@ipiran.ru](mailto:vveselov@ipiran.ru)

<sup>3</sup>Институт проблем информатики Российской академии наук, [radomanov@ipiran.ru](mailto:radomanov@ipiran.ru)

действий окружающей среды. Увеличение сложности привело к повышению рисков, порождаемых нарушением функционирования ИТС. Согласно одному из последних исследований в области бизнеса, проведенных компанией Forrester и результаты которых опубликованы в докладе Forrester Report Sun Gard 2 сентября 2010 г. [1], планирование и управление непрерывностью бизнеса (BCP — Business Continuity Planning и BCM — Business Continuity Management) и обеспечение восстановления деятельности в непредвиденных обстоятельствах и бедствиях (Disaster Recovery Planning — DRP) — эти два направления деятельности определились как самые приоритетные, которые занимают умы руководителей ведущих финансовых и ИТ-организаций на всех континентах. Эти исследования проводились в 1-м и 2-м кварталах 2010 г. не только в России, но и в Австралии, Новой Зеландии, Бразилии, Мексике, Канаде, США, Гонконге, Китае, Индии, Японии, Великобритании, Германии и Франции.

Проблема обеспечения непрерывности автоматизированного управления является сложным многодисциплинарным направлением работ, обеспечивающим бесперебойное функционирование крупных организаций и государственных учреждений, особенно при возникновении крупных катастроф и чрезвычайных ситуаций. Поэтому для решения этой проблемы возникла необходимость обеспечить защиту инфраструктуры ИТС, технологических процессов, информации, персонала, решить задачу оперативной поддержки ИТ-услуг, восстановления нарушенных процессов и таким образом обеспечить устойчивую деятельность организации, защитить ее репутацию на рынке, в международной и национальной сферах.

Проектирование, создание и эксплуатация ИТС изначально ориентировались на ее функциональность и надежность. В связи с превращением государственных и особенно коммерческих организаций, связанных с бизнесом, в автоматизированные объекты возникла проблема рассматривать ИТС как техническое средство сервисного обслуживания, как источник предоставления информационных и телекоммуникационных услуг, т. е. возникла проблема непрерывно поддерживать сервисное обслуживание деловых и бизнес-процессов в любых условиях, в том числе при чрезвычайных обстоятельствах. Смена парадигмы и акцента применения ИТС привели к тому, что состояние системы и качество предоставляемых сервисов и услуг стало сильно влиять на бизнес-процессы. В то же время требования бизнеса к непрерывности стали сказываться на архитектуре функционирования ИТС и технологии их проектирования. Осознание самой проблемы обеспечения непрерывности деятельности организаций на базе ИТС с применением сервисных и процессных технологий еще только начинает формироваться. Хотя есть стандарты, есть определенные требования к качеству и устойчивости функционирования бизнеса (в частности стандарты серии BS25999), но это в основном организационные требования, слабо связанные со спецификой информационных технологий (ИТ). Единых методологий и методик оценки устойчивости деятельности организаций, функционирующих на базе ИТС, практически нет, хотя во многих странах мира на законодательном уровне закреплены требования по

управлению непрерывностью деятельности банковской сферы, определена структура и содержание плана действий и восстановления данного вида деятельности.

Обеспечение непрерывности функционирования и доступности ИТ-услуг (НФДС) в такой сложной системе, как ИТС, в условиях постоянно возрастающих воздействий и чрезвычайных ситуаций может быть достигнуто только на основе системного подхода при проектировании ИТС, сочетающего в себе функциональные решения со знаниями обеспечения НФДС на основе общих аппаратно-программных, информационных и организационных решений с использованием единого терминологического подхода. Ключевым моментом создания такой системы является теория и методология единого технологического и организационного предметного поля, в котором функционируют объекты ИТС и субъекты обеспечения НФДС. Внедрение ИТС в различных организациях показывает, что в современных условиях необходим качественно новый подход к оценке устойчивости ИТС, переход к восприятию ИТС как технической базы данных и знаний, ориентированных на формирование и предоставление информационных и телекоммуникационных услуг конечным пользователям. Ориентация на максимальное удовлетворение потребностей конечных пользователей обуславливает необходимость поднять «планку» технической поддержки качества услуг путем введения в процессы проектирования ИТС требований по обеспечению непрерывности функционирования и доступности ИТ-сервисов и ИТ-услуг в различных условиях эксплуатации. Идеология такого подхода в полной мере еще не сложилась. Методики единого онтологического обеспечения высококачественных ИТ-услуг, соответствующих требованиям пользователей ИТС в соответствии с требованиями международных и национальных стандартов управления качеством ИТ-услуг с учетом требований их непрерывности и доступности в различных условиях обстановки, не отработаны. Возникает потребность проведения исследований по изысканию путей более рациональных онтологических подходов к описанию ресурсно-сервисных возможностей ИТС для формирования и предоставления качественных ИТ-услуг, соответствующих современным требованиям управления непрерывностью бизнеса и доступности ИТ-услуг.

Имеющиеся публикации, как правило, сосредоточивают свое внимание на частных вопросах и не рассматривают эту проблему в комплексе научных и технических работ, уделяя в основном внимание разработке общих вопросов онтологии без учета их восприятия и реализации знаний в мультисервисных ИТС [2, 3]. Необходим качественно новый взгляд на онтологию НФДС мультисервисных ИТС. Данный подход должен базироваться на общесистемной методологии типового применения онтологического инжиниринга и реинжиниринга ИТС в деятельности организаций, на проектировании всех основных частей и системы в целом с учетом требований устойчивости, качества ИТ-сервисов, а также доступности ИТ-услуг на базе принципов организационно-технической интеграции знаний предметной области (ПО) с информационными, техническими и программными возможностями ИТС на базе современной технологии автоматизированных про-



цессов управления деятельностью организации. Для успешного решения данной проблемы необходимо разработать теорию и методологию обеспечения непрерывности функционирования гетерогенных автоматизированных систем органов государственного управления и бизнеса в едином информационном пространстве на базе методов компьютерной лингвистики и онтологического моделирования. Оставив за рамками данной статьи философские и теоретические вопросы трактовки понятия онтология, рассмотрим вопросы ее перемещения в актуальную на сегодняшний день среду обеспечения непрерывности функционирования государственных и коммерческих автоматизированных организаций на базе ИТС.

Онтология ИТС — целостная структурная спецификация компонентов ПО обеспечения бесперебойного предоставления ИТ-услуг, ее формализованное представление, которое включает описание терминов ПО и логических выражений, описывающих, как они соотносятся между собой, между областями и внутри каждой ПО. Онтология формирует самое общее представление об извлечении, формировании, структурировании и предоставлении информации (данных и знаний) о состоянии ИТС, процессах обеспечения непрерывности функционирования и предоставления ИТ-услуг конечному пользователю. В данной статье авторы попытались подойти к решению этой проблемы с технической точки зрения путем разработки некоторых исходных положений общесистемной методологии проектирования комплексной интегрированной онтологической модели обеспечения НДС крупномасштабной и территориально распределенной системы, содержащей множество информационных и технических ПО, с учетом знаний поддержки семантики ИТ-услуг. В частности, рассматриваются ресурсно-сервисный и процессно-системный подходы с учетом распространенных в мире стандартов управления непрерывностью ИТ-сервисов и доступностью ИТ-услуг [4].

## **2 Характеристика предметной области информационно-телекоммуникационной системы**

Информационно-телекоммуникационная система является масштабной технической пространственно распределенной системой со сложными взаимосвязями ресурсно-сервисных возможностей компонентов инфраструктуры между собой и с пользователями. Вследствие этого восстановление нарушенного процесса целевого функционирования ИТС в случае возникновения негативных факторов становится зачастую сложной системной проблемой. Исследования показывают, что ее решение известными методами теории надежности, т. е. только устранением локальных инцидентов в технических и программных средствах, не представляется возможным. Методы теории надежности не гарантируют безотказной работы систем (сетей), подсистем на всем технологическом цикле формирования и предоставления ИТ-услуг. Если в какой-то мере методы надежности еще обеспечивают решение проблемы отказоустойчивости, то проблему катастрофоустойчивости они не решают.



В этой связи весьма актуальной становится задача решения рассматриваемой проблемы путем создания ИТС высокой доступности с централизованной системой управления всем процессом обеспечения НФДС. Создание комплексной системы управления НФДС обеспечивает устойчивость организации за счет предотвращения действия негативных факторов и, в случае возникновения последних, оперативного восстановления ИТ-сервисов. Система управления НФДС представляет собой целостный процесс, в рамках которого идентифицируются потенциальные угрозы, оцениваются возможные риски, порождаемые ИТС, и их воздействие на деятельность организации, эффективно осуществляется процесс восстановления, а также гарантируется заинтересованность обеспечивающих сторон и сохранение репутации организации. Системе управления НФДС приходится иметь дело с разнородными потоками структурированных и неструктурированных данных, описывающих как заранее определенные, так и непредсказуемые ситуации. Большая разнородность субъектов и объектов управления, а также непредсказуемость действия негативных факторов требуют применения таких современных методов управления ИТ-организацией, которые позволяют организовать эффективно управляемое и контролируемое информационное пространство в рамках всей организации на базе единого взаимопонимания подразделений информатизации и служб поддержки ресурсно-сервисного обеспечения пользователей в различных условиях обстановки. Ориентация на объединение в едином информационном пространстве пользователей ресурсно-сервисных процессов и процессов управления НФДС обуславливает необходимость решения проблемы «семантической интероперабельности» данных и знаний и их соответствие целевой функции системы. В европейской программе IDABC (Interoperable Delivery of European eGovernment Services to public Administrations, Businesses and Citizens) [5] «интероперабельность — это способность информационных и коммуникационных технологий (ИКТ) и бизнес-процессов, которые они поддерживают, к обмену данными и к совместному (коллективному) использованию информации и знаний». Исходя из этого общего определения, семантическую интероперабельность ИТС будем рассматривать как некоторый аспект взаимодействия пользователя с системой, который позволяет гарантировать однозначное понимание смысла формулируемой ИТ-услуги требованиям пользователя. Наряду с семантической интероперабельностью в решении проблемы НФДС приобрела значимость техническая интероперабельность, которая охватывает технические системы, обеспечивающие бесперебойность предоставления, доступность и безопасность ИТ-услуг и способность интеграции различных средств между собой, технологические процессы формирования и поддержки ИТ-услуг и регламентацию действий при возникновении опасных воздействий и чрезвычайных ситуаций.

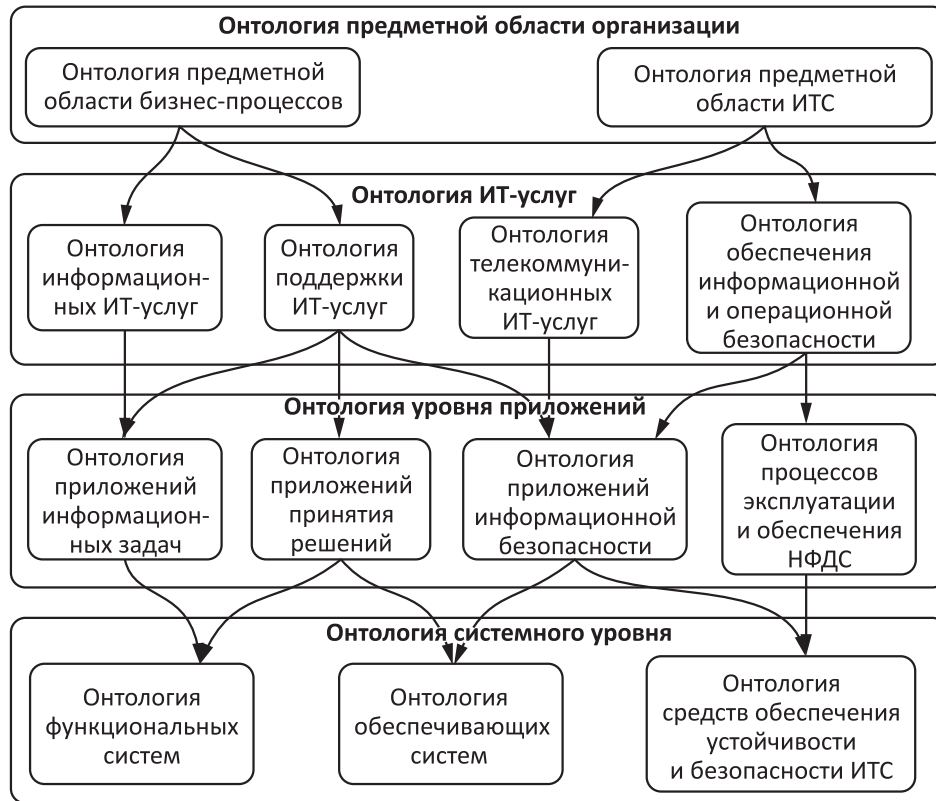
При решении этих проблем центральное место занимают исследования в области онтологии, так как в онтологическом аспекте разделение декларативных и процедурных знаний соответствует различным типам знаний, включая знания об ИТ-услугах и знания об их ресурсно-сервисном формировании и технической

поддержке. В информатике под онтологией принято понимать формальное представление знаний в виде множества понятий некоторой ПО, в данном случае — НФДС. Онтологическое моделирование имеет приоритетное значение, так как отражает многоаспектность проблемы формирования ИТ-услуг и обеспечения НФДС и создает предпосылки повышения эффективности применения ИТС за счет уменьшения семантической несогласованности процессов формирования и поддержки НФДС путем более глубокого их описания множеством примитивов представления. В частности, в контексте обеспечения НФДС онтологию можно рассматривать как средство моделирования знаний об индивидах процессно-системного подхода, их атрибутах и их связях с другими индивидами, описывающих среду функционирования ИТС. Важным понятием в онтологии является ПО, которую определяют как множество связанных различными отношениями сущностей, составляющих материальное содержание области функционирования ИТС. В качестве сущностей ПО выступают объекты, процессы, средства, явления и ситуации. В каждой ПО определяется совокупность задач, которые решаются, используя информацию, содержащуюся в описаниях свойств ее сущностей. Такую совокупность, исходя из структуры и функциональности ИТС, будем называть ПО компонентов ИТС. На схеме (рис. 1) представлена структура ПО, связанных с решением задач поддержки непрерывности и доступности ИТ-сервисов. С появлением проблемы обеспечения НФДС возникла потребность в более глубоком анализе информации для принятия решений при возникновении инцидентов и кризисных ситуаций. Потребовалось запоминать и целенаправленно прогнозировать знания об отношениях между сущностями ПО внутри системы и отношениями системы с сущностями внешней среды.

Онтология ПО управления НФДС включает в себя концепты, описывающие ресурсно-сервисные возможности ИТС, ИТ-услуги, процессы, негативные факторы и риски, порождаемые ими, ситуации и сюжеты, связанные с нарушением НФДС. Структура описания каждой категории концептов представляет собой некоторый набор атрибутов адекватных ПО состояния компонентов ИТС в заданной момент времени. В пределах структуры онтологии для каждого компонента характерно наличие своего набора атрибутов, отражающих семантическую специфику области и условий его функционирования в ИТС. Онтологические системы ИТС на всех уровнях строятся на основе следующих принципов:

- формализация концепта ПО каждой системы, процесса, т. е. описание элементов в строго определенных терминах, моделях, отношениях и т. д.;
- использование базовых терминов и отношений, на основе которых конструируются все остальные понятия онтологий всех уровней;
- полнота, внутреннее единство, логическая взаимосвязь и непротиворечивость.

Онтологические языки, создаваемые и применяемые в ИТС для описания ИТ-услуг, внешних и внутренних угроз, состояния ресурсно-сервисных возможностей компонентов, относительно «просты» и строятся, как правило, на



**Рис. 1** Классификация онтологий ИТС

декларативных и процедурных составляющих. К декларативной части относятся средства представления понятий, связей между понятиями в виде некоторого машинного онтологического словаря. Онтологический словарь ИТС — это способ формального представления знаний в виде множества понятий и отношений между ними [6]. К процедурной части относятся средства придания смысла единицам онтологического языка. Онтологические языки управления ИТС условно можно разделить на два вида: информационные и технические языки. Информационные языки служат для предоставления данных и восприятия ИТ-услуг пользователями. Технические языки служат для представления данных о ситуациях и сюжетах, сложившихся в процессе технического функционирования ИТС в штатном режиме и чрезвычайных условиях на всем жизненном цикле системы. Оба этих языка строятся на базе лексики и грамматики естественных языков, ориентированных на моделирование процессов понимания смысла текста предоставляемых ИТ-услуг, формализации технических ситуаций и сюжетов,

возникающих в ИТС. Важной методологической проблемой при управлении НФДС, сочетающей в себе человеко-машинный, системный и процессуальные факторы, является правильная оценка необходимого соотношения между декларативными и процедурными компонентами системы анализа и оценки состояния рисков, порождаемых нарушением функционирования ИТС и возможностью оперативного восстановления штатного режима. В вопросах соотношения между методами компьютерной лингвистики, ориентированной на моделирование процесса понимания смысла текста, методами онтологического моделирования, ориентированного на представление знаний, и методами концептуального моделирования, где на первый план выходит описание структуры ПО с описаниями поведения, задаваемыми в виде функций и процессов, к сожалению, ясности на сегодняшний день нет. Процесс управления НФДС — это сложная человеко-машинная ПО, функционирующая в гетерогенной среде с внутренними и внешними негативными воздействиями. По мнению авторов, это обстоятельство диктует необходимость разумного сочетания системного, процессного, ресурсно-сервисного и онтологического подходов, так как при этом меньше встретится тупиков и труднопреодолимых препятствий. Это позволит перейти к созданию ИТС высокой доступности с комплексной автоматизированной системой управления НФДС на всем жизненном цикле ИТС в различных условиях обстановки.

Извлечение знаний из баз данных и баз знаний (БЗ) основывается на понимании семантики ПО. В качестве первичного источника семантического знания в системах обычно используются машинные онтологические словари и классификаторы [7]. Машинный онтологический словарь и классификаторы ИТС содержат множество понятий ПО функциональной и обеспечивающей части, поддержки ИТ-услуг, ситуации и сюжетов. Каждая ПО характеризуется своим специфическим набором понятий, рассматриваемых с точки зрения ее смысла. Как правило, система функционирования ИТС строится на базе единого словаря и классификатора, в которых интегрируются непересекающиеся понятия различных ПО. Словарь (особенно словарь типа тезауруса) является средством устранения семантической неоднозначности между компонентами системы, средством семантической интерпретации ПО в ходе общения специалистов служб поддержки НФДС между собой и пользователями ИТ-услуг.

Сложность составления единого словаря поддержки ИТ-услуг в условиях неопределенности внутренних и особенно внешних факторов заключается в том, что описать все необходимые знания разнородных ПО в одной системе понятий словаря и отношений между ними в условиях структурированных и неструктурированных данных, используемых для извлечения знаний, не всегда возможно. Вторая сложность заключается в том, что в каждой ПО используются свои специальные языки, средства обработки и извлечения знаний (алгоритмические языки, языки представления знаний, языки программной среды и т. п.), а также различные подходы и инструментальные средства онтологической поддержки процессов принятия решений в условиях рисков, порождаемых неопределенностью факторов воздействия на состояние ИТС.

### 3 Структура онтологии информационно-телекоммуникационной системы

Для решения вопросов применения онтологии для обеспечения НФДС рассмотрим несколько рабочих базовых определений, благодаря которым становится возможным практическое применение онтологии в ИТС. Это, прежде всего, знания и данные. В свое время Лейбниц предложил такую формулу: знания есть данные плюс их семантическая интерпретация. Эта формула четко определяет связь между знаниями, исходными данными и средствами их смысловой интерпретации. Действительно, в ИТС данные — это отдельные формализованные факторы, характеризующие объекты, процессы, явления и их атрибутику в ПО, обслуживаемой системой. При обработке в системе они могут представляться в структурированном или неструктурированном виде. Хотя данные и несут некоторую семантическую нагрузку и могут восприниматься как декларативные знания (скорее, метазнания), однако каждым субъектом, работающим с ними (в том числе разработчиками системы/программ), воспринимаются и трактуются по-своему.

Данные становятся знаниями только после того, как в их содержание заложены инструменты трактовки однозначности смыслового восприятия на основе закономерностей ПО с учетом принципов, связей и законов, существующих между данными и отраженных в их идентификаторах или результатах представления субъектам. Иногда такие знания называют «хорошо структурированные данные». Таким образом, информационные компоненты ИТС, включающие в свой состав методы и средства сбора, хранения и обработки информации, основанные на концепции баз и банков данных, где перечисленные процессы обработки ориентированы на восприятие смысла конкретным пользователям и не имеют развитых средств семантической интерпретации, относятся к классу АИС (автоматизированных информационных систем) обработки данных. Автоматизированные информационные системы, обладающие наряду с процессами обработки данных инструментарием семантической интерпретации данных и способностью на основе более полного отображения отношений и связей между ними создавать и прогнозировать новые знания о сущностях ПО, получили название интеллектуальных АИС. В таких системах структурированная модель ПО получила название БЗ, а инструментальные средства, предназначенные для решения задач сохранения известных знаний (метазнаний), синтеза новых знаний и управления этими знаниями, приобрели характер интеллектуальных средств. Здесь важно заметить, что концептуальной основой понятия «знания» является то, что оно возникает в результате продуктивного осмысления декларативной информации (правил, процедурных знаний) о сущностях ПО.

Для современных автоматизированных государственных и коммерческих структур характерно постоянное изменение среды функционирования, обусловленное наличием большого числа негативных факторов, действие которых в первую очередь отражается на устойчивости технической компоненты организации —

АИС (см. рис. 1). Устойчивость ИТС напрямую зависит от наличия знаний о процессах функционирования компонентов системы и их способности обеспечивать непрерывное предоставление ИТ-услуг, доступное конечному пользователю. Онтологический подход к проектированию системы управления знаниями позволяет подразделениям информатизации осуществлять целостный, системный подход к ресурсно-сервисному анализу ПО компонент ИТС и оценки их состояния, что позволяет восстанавливать нарушенные логические связи между атрибутами ПО.

На формальном уровне онтология представляет собой набор концептов (понятий), свойств концептов (атрибутов, ролей), отношений между концептами (зависимостей, функций) и дополнительных ограничений. Концептами в ИТС являются информационные задачи, функции систем (сетей) и подсистем, технологические процессы сбора, процессы обработки данных о состоянии процессов формирования ИТ-услуг, действия по устранению возникших нарушений в процессах НФДС и т. п.

Классифицировать онтологию в ИТС можно по различным признакам (основаниям) в зависимости от стоящей цели. Например, по прикладным ПО: область описания содержания ИТ-услуг, область содержания процессов формирования информационных и телекоммуникационных ИТ-услуг, область управления НФДС, область оценки угроз и рисков и т. д. По уровню прикладных ПО, исходя из инфраструктуры ИТС и процессов решения задач сервисного обслуживания конечных пользователей, целесообразно различать следующие уровни онтологии (см. рис. 1).

*Верхний уровень: «онтология предметной области организации».* Описывает наиболее общие концепты, которые ориентированы как на ПО организации, так и на концепты прикладных областей инфраструктуры ИТС. Эта онтология предназначена для совместного использования концептов и отношений между ними как в организации, так и в ИТС. Основой этой онтологии является БЗ, содержащая все понятия организации и ИТС в виде единого отраслевого стандартного словаря. Например, системная онтология ИТС Банка России строится на базе финансовых терминов и базовых терминов, описывающих область функционирования ИТС.

*Онтологии ИТ-услуг.* Эти онтологии используются как при описании выходной функциональности ИТ-услуг, так и при описании требований к обеспечивающим их приложениям, предназначенным для формирования конкретных ИТ-услуг, поддержки пользователей, а также обеспечения информационной и операционной безопасности процессов деятельности организации. Данные онтологии отражают специфику ресурсно-сервисных процессов формирования ИТ-услуг, отношения между концептами угроз и их взаимосвязь с концептами уязвимостей ИТС, безопасностью, порождаемыми ИТС рисками и т. д.

*Онтология уровня приложений.* Онтологии этого уровня ориентированы на использование при описании конкретных задач как в составе процессов формирования ИТ-услуг, так и в процессах поддержки пользователей, а также

в процессах обеспечения информационной и операционной безопасности. Одновременно онтологии данного уровня содержат специальные термины, присущие описанию процессов в аппаратных и программных средствах систем.

*Уровень системных онтологий.* Онтологии этого уровня включают в себя онтологии функциональных, обеспечивающих систем, онтологию средств обеспечения устойчивости и безопасности ИТС. Примером такой онтологии может служить БЗ, содержащая понятия функциональных информационных систем, телекоммуникационных систем, систем оперативно-технического управления ИТС и т. п.

Одним из основных требований к онтологиям всех уровней является наличие терминологической и понятийной взаимосвязи между ними. Строение и свойства всех процессов непрерывного функционирования любой ИТС, равно как и процесс решения той или иной прикладной задачи, могут быть эффективно исследованы при помощи словаря терминов, адекватно описывающего характеристики объектов, систем и процессов решения, при наличии точных и однозначных определений терминов и их классификации в виде логической иерархии.

Каждому онтологическому уровню свойствен определен набор атрибутов. К ним относятся:

1. **Концепты-системы** — объекты, которые описываются списком собственных атрибутов, характеризующих структуру ПО, функциональность и критическую важность ресурсно-сервисных возможностей ИТС.
2. **Концепты-объекты** описываются именами компонент ИТС, каждое из которых имеет свои атрибуты, описывающие состав, структуру и функциональность. Описание аппаратной или программной компоненты ИТС соответствует концепту-свойству с отражением своей специфической ПО. Концептам-объектам в терминологии Resource Description Framework (RDF) соответствуют концепты предметов — субъектов и объектов.
3. **Концепт-свойство** характеризует состояние устойчивости систем и объектов к негативным воздействиям (например, свойства отказо- и катастрофоустойчивости). Концептами-свойствами могут быть типы данных, описывающих значения и методы оценки устойчивости и рисков, которые позволяют судить о мере близости понятий при выработке решений на основе логического вывода на неточных и неполных данных. В RDF концептам-свойствам соответствуют предикаты.
4. **Концепты-отношения** используются для отображения между понятиями ПО парадигматических и синтагматических отношений, которые отражают связь как между понятиями внутри ПО, так и между понятиями различных ПО.
5. Концепты-процессы характеризуют преобразование ресурсно-сервисных возможностей ИТС в ИТ-услуги. С точки зрения управления НДС в категорию «процессы» попадают понятия, атрибуты которых описывают требования бенефицианта/реципиента ИТ-услуги, состояние негативных



факторов, сценарий их воздействия на компоненты ИТС, каналы воздействия, результаты нарушения функциональности и доступности сервисов и услуг, риски и т. д.

6. **Ситуация** — совокупность значений атрибутов, характеризующих состояние функционирования ИТС, доступность ИТ-услуг, непрерывность процессов их формирования, реакцию на внутренние и внешние воздействия и отношения между атрибутами в некоторый момент времени.
7. **Сюжет** — упорядоченная во времени последовательность ситуаций, имеющих системную и процессную пересекающуюся взаимосвязь. Сюжет может быть представлен в виде сценария, сетевого графика, диаграммы Ганта для описания плана обеспечения НФДС и проведения работ по восстановлению штатного режима деятельности (плана ОНиВД).

Управление НФДС связано с перечисленными концептами в процессе построения запросов, получения пользователем ИТ-услуг, а также в процессе эксплуатации ИТС как с формой представления знаний о соответствующей ПО. В качестве первичного источника семантических знаний для каждой ПО и описания процессов используется свой специфический онтологический язык. Таким образом, ИТ-услуги, процессы их формирования, предоставления и поддержки описываются своим специфическим набором онтологий, свойственных функциональному предназначению и техническому построению ИТС, которые позволяют рассматривать процессы обеспечения НФДС с точки зрения их смысла. Устойчивое функционирование ИТС может быть достигнуто только созданием эффективной системы управления знаниями на основе автоматизированной семантической обработки информации для принятия решений по обеспечению НФДС и для выполнения принятого решения. Управление знаниями о НФДС — совокупность процессов и технологий, предназначенных для выявления негативных факторов, создания, обработки и хранения данных и ресурсов для устранения последствий их воздействия на ИТ-услуги, предоставляемые конечному пользователю. Для решения задач централизованного управления НФДС потребуется более сложная логико-семантическая обработка информации о сущностях каждой ПО, улучшения структуры информационного обеспечения, создания универсальных баз данных и БЗ. Под БЗ будем понимать составную часть каждой функциональной, обеспечивающей части ИТС, представляющей собой комплекс языковых алгоритмических и программных средств, предназначенных для восприятия, обработки, хранения и выдачи знаний о ПО. Этот комплекс включает:

- формализованные факты и данные, отражающие модель состояния ПО;
- правила и программы, позволяющие рассчитывать показатели, эффективно и целенаправленно логически преобразовывать данные в ходе анализа и синтеза при решении задач оценки состояния ПО и выработки управляющих воздействий по устранению языковой неоднозначности между компонентами ИТС.



Онтологическая модель позволяет формализовать знания о ПО каждой системы, ее состояний и процессах управления, которые являются центральным концептом, с которым связано применение основных понятий, определенных в международных и национальных стандартах ISO (International Organization for Standardization) [8–11]. Применение онтологии, описывающей как процессы обеспечения НФДС, так и процессы функционирования ИТС в целом, позволяет производить построение достоверных утверждений о состоянии отказо- и катастрофоустойчивости системы в отношении предоставления ИТ-услуг в требуемые моменты времени. На основе этих утверждений могут быть приняты решения, позволяющие поддерживать критически важные ИТ-услуги в кризисных ситуациях, а также проводить работы по восстановлению штатного режима функционирования ИТС. Важно учитывать то обстоятельство, что онтология является не только описанием ПО, но и методологией семантического описания характеристик, связанных с исследованиями функционального и технического состояния устойчивости на основе знаний о кризисных ситуациях, требующих оперативного принятия решений по обеспечению НФДС.

Выбор онтологической модели описания процессов обеспечения НФДС обусловлен тем, что этот подход позволяет на логико-семантическом уровне объединить в едином представлении ИТ-услуги, ресурсно-сервисную модель, системные процессы, модели угроз и построить единую модель обеспечения НФДС на базе единого онтологического языка. Онтологическая модель ИТС позволяет создавать и вести БЗ системы управления НФДС в кризисных ситуациях и выполнять следующие функции:

- оценивать ИТ-услуги на семантическое соответствие требованиям конечного пользователя;
- распознавать состояние технологических процессов ресурсно-сервисного формирования ИТ-услуг;
- распознавать кризисные ситуации, нештатные ситуации (НШС) и инциденты, нарушающие НФДС;
- прогнозировать влияние кризисных ситуаций, НШС, инцидентов на НФДС;
- планировать разработку единых планов ликвидации последствий кризисных ситуаций и устранять локальные и системные НШС и инциденты;
- оценивать риски, порождаемые ИТС, и планировать мероприятия по их снижению на объектах и системах ИТС;
- планировать мероприятия по повышению качества и готовности превентивных мер к противодействию угрозам.

Многие проблемы, порождаемые негативными факторами и их последствиями (инцидентами, авариями, катастрофами и другими НШС), приводят к нарушению НФДС и требуют наличия описания в виде моделей и программных комплексов, реализующих последние. Для интеграции различных моделей

обеспечения НФДС с описаниями процессов функционирования ИТС предлагается использовать БЗ, опирающуюся на онтологическую модель НФДС. Это означает, что состояние каждой функциональной обеспечивающей системы, которая позиционируется моделями обеспечения устойчивости, соотносится с БЗ, в рамках которой рассматривается логико-семантическая связь между компонентами ИТС, угрозами и моделями ситуаций. Концепт устойчивости детализируется в схему системы управления НФДС, которая может включать концепт таких моделей, как логико-семантическое формирование сервисов и ИТ-услуг, описание угроз, оценка критичности объектов, систем и сервисов ИТС, обеспечение отказоустойчивости технических и программных средств, поддержка катастрофоустойчивости, оценка рисков, восстановление функционирования и доступности ИТ-услуг, обеспечение безопасности, организация эксплуатации ИТС в повседневных и чрезвычайных условиях и т. п. Такая схема обычно представляет собою иерархическую модель данных. Эти данные должны обеспечить возможность реализации работ по выполнению планов ОНиВД организаций.

#### **4 Онтологическая модель обеспечения безопасности информационно-телекоммуникационной системы**

Как уже было сказано выше, обеспечение НФДС не является самоцелью. Нарушения НФДС актуальны постольку, поскольку порождают риски для процессов основной деятельности организации. Для того чтобы установить адекватные парадигматические связи между ПО НФДС и ПО основной деятельности организации, необходимо ввести в рассмотрение особый раздел ИТ-безопасности, отвечающий за контроль и управление связями между нарушениями НФДС, с одной стороны, и порождаемыми ими — с другой.

Действительно, ИТ-безопасность в современном ее понимании уже не может ограничиваться проблемами информационной безопасности [12]. Достаточно привести примеры остановки операционных процессов крупнейших зарубежных бирж, произошедших из-за нарушений НФДС. «В апреле 2000 г. на 8 ч (почти на всю торговую сессию) были парализованы торги на Лондонской фондовой бирже (LSE) из-за ошибок в работе программного обеспечения. Убытки оценили в несколько миллионов фунтов. В сентябре 2008 г. там же был зафиксирован сбой и работа биржи была остановлена на 4 ч. Это не только привело к прямым потерям — около 40% дохода биржи приходится на продажу информации о курсах акций в режиме реального времени, но и пошло на пользу конкурентам LSE. Известны также случаи крупных аварий, ставших причиной остановки критически важных сервисов на Токийской фондовой бирже и NASDAQ. Очевидно, что обеспечение непрерывности бизнес-процессов (business continuity) является первостепенной задачей финансовых учреждений» [13]. Становится все более очевидным, что беспере-



**Рис. 2** Содержание элементов структуры общей безопасности функционирования ИТС

бойность функционирования в важнейших отраслях современной деятельности (финансовой, техногенной, оборонной и др.) обуславливается непрерывностью функционирования и доступностью ИТ-сервисов, обслуживающих эти процессы. Роль и место операционной безопасности в процессе функционального автоматизирования организации, в отличие от информационной безопасности, авторы подробно рассматривают в своих работах [14, 15]. Понятие «операционная безопасность» определяется в соответствии с ГОСТ Р 1.0-92 [16] как «отсутствие недопустимого риска нанесения пользователям сервисов ИТС ущерба вследствие нарушения НФДС». Онтология операционной безопасности ИТС строится исходя из содержания ПО общей безопасности ИТС (рис. 2).

Система операционной безопасности ИТС, в свою очередь, призвана обеспечивать устойчивость основных процессов деятельности организации путем выявления наиболее рискованных внутренних процессов ИТС, предотвращения

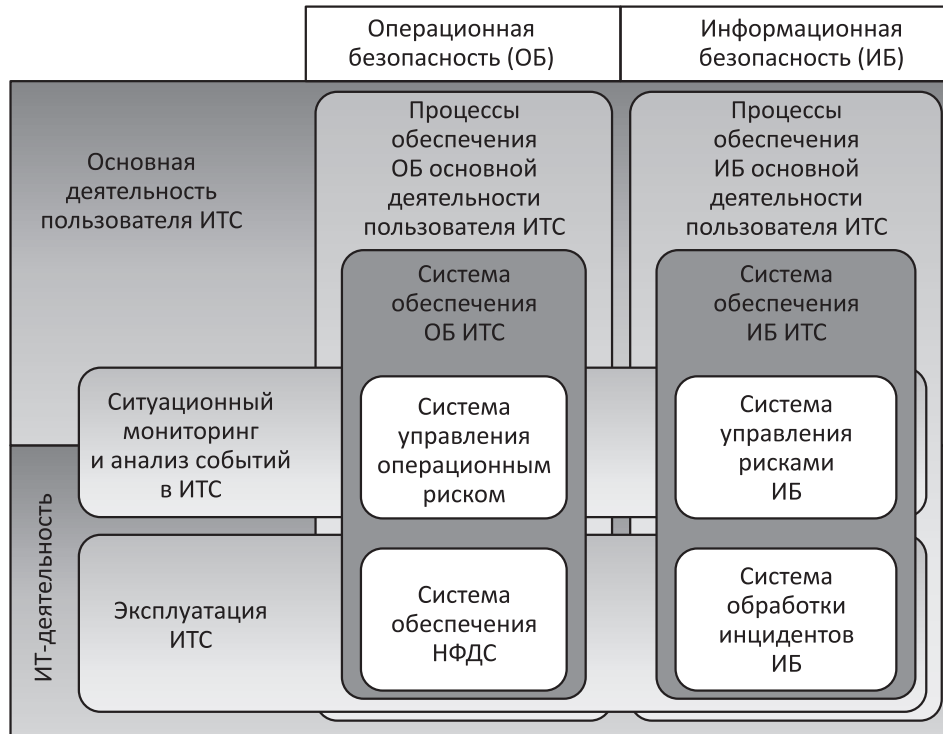
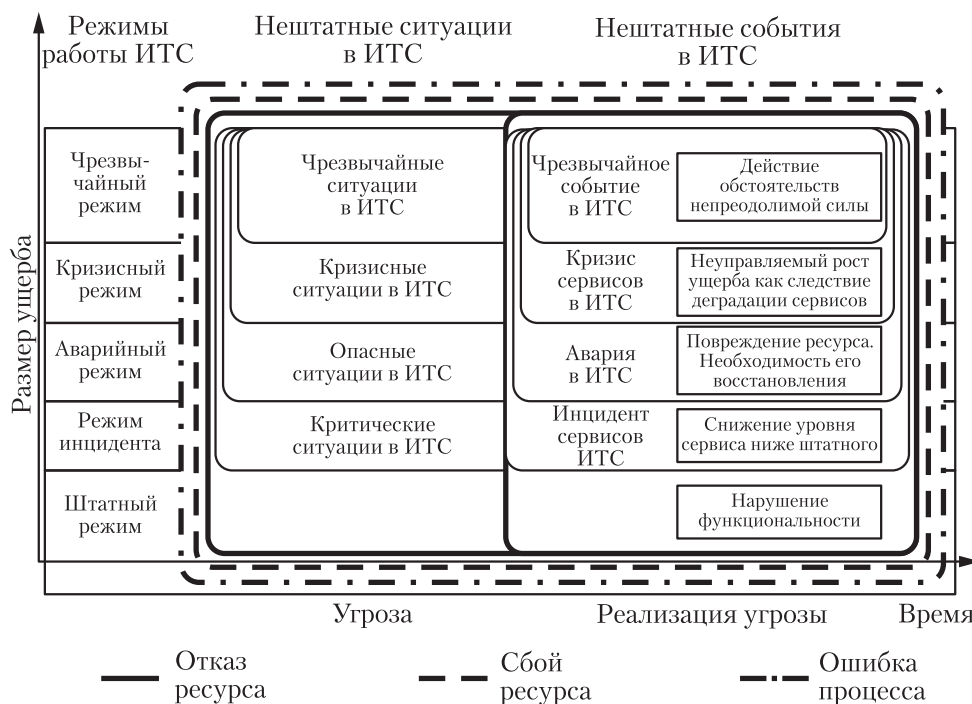


Рис. 3 Место операционной безопасности в структуре ИТ-деятельности

действия негативных факторов и оперативного парирования в случае их возникновения. Решение задач реактивного и проактивного обеспечения операционной безопасности управления рисками требует использования моделей угроз, ресурсно-функциональных моделей, конфигурационных баз данных, являющихся «зачатками» корпоративной онтологической модели. Указанные модели являются ключевой основой «Центра управления системой» (Service Desk) (рис. 3).

Таким образом, в рамках системы обеспечения НФДС операционная безопасность становится важной компонентой целостного процесса, в рамках которого сначала (в рамках системы управления операционным риском) идентифицируются потенциальные угрозы, оцениваются возможные риски, порождаемые нарушением НФДС, и их воздействие на процессы основной деятельности организации. Затем (в рамках уже системы обеспечения НФДС), в соответствии с разработанными стратегиями обеспечения НФДС, задействуются необходимые механизмы противодействия критичным угрозам с целью возобновления НФДС и (в дальнейшем) восстановления нарушенных ресурсов ИТС (рис. 4).



**Рис. 4** Парадигматические связи между понятиями, обозначающими основные виды нештатных ситуаций

## 5 Заключение

К сожалению, в настоящее время нет четких границ между методами компьютерной лингвистики, онтологией и системами классификации. Это обусловлено тем, что нет четкого понимания того, как соотносятся между собой такие понятия, как «знания», «данные», равно как и средства их семантического представления в АИС. Основная особенность задачи построения онтологической модели обеспечения НФДС заключается в том, что в описании ИТС присутствуют объекты (системы, технологические процессы, сетевые структуры, разнообразные уязвимости технических и программных средств, базы данных и знаний, средства защиты от угроз и т. д.) различной семантической природы, для формального описания которых не существует однозначно совместимой терминологии, либо последней явно недостаточно для описания существующих объектов. Кроме того, ИТС проектируются различными разработчиками, использующими различные термины и их семантическую трактовку.

Требуется разработка и применение особой технологии построения онтологических моделей ИТС. В качестве основы такой технологии может быть исполь-

зован процессно-системный подход [4]. Основная идея «процессного системного подхода» состоит в том, что любая система рассматривается как совокупность устойчиво повторяемых классов процессов и обеспечивающих их ресурсов, в том числе элементов структуры самой системы и внешних ресурсов («входов процессов»). Применение «процессного системного подхода» к разработке тематической онтологии предусматривает, что

- все понятия в онтологии разделяются на аксиоматические «категории» (число которых минимизируется) и «системы» (объекты, связи и правила);
- поскольку связи между объектами и правилами, действующие в онтологии, рассматриваются как классы процессов, то все они определяются как «действия» или производные от «действий»;
- структуризация понятий «по темам» рассматривается в привязке к структуре соответствующих процессов.

На основании сформулированных принципов представляется возможным сделать попытку решить следующие частные задачи:

- построить алгоритм автоматизированного выявления основных понятий соответствующей тематической области;
- построить алгоритм автоматизированного выявления «действий» и производных от «действий»;
- построить алгоритм автоматизированной структуризации тематических областей;
- построить алгоритм выявления связей и правил соответствующей тематической области.

## **Литература**

1. *Balaouras S.* Business continuity and disaster recovery are top IT priorities for 2010 and 2011 // For Security & Risk Professionals, September 2, 2010. [http://www.rbzaneadvisors.com/pdf/Forrester\\_bus\\_cont\\_disaster\\_recovery.pdf](http://www.rbzaneadvisors.com/pdf/Forrester_bus_cont_disaster_recovery.pdf).
2. *Шемакин Ю. И.* Тезаурус в автоматизированных системах управления и обработки информации. — М: Воениздат, 1974. 192 с.
3. *Калиниченко Л. А.* Экспансия онтологий: «онтологически базированные» информационные системы // Онтологическое моделирование: состояние, направления исследований и применения: Тр. II симпозиума. — М.: ИПИ РАН, 2011. С. 29–44.
4. *Быстров И. И., Радоманов С. И.* Конец мифа о противоречивости матричного управления // Information Management: научно-методический журнал, 2013. № 7. С. 38–49.
5. Европейская комиссия. Программа IDABC (Interoperable Delivery of European eGovernment Services to public Administrations, Businesses and Citizens). <http://web.archive.org/web/20060617105314/ec.europa.eu/idabc/en/chapter/3>.

6. Митрофанова О. А., Константинова Н. С. Онтологии как системы хранения знаний // Информационно-коммуникационные технологии в образовании, 2008. 54 с. <http://www.ict.edu.ru/ft/005706/68352e2-st08.pdf>.
7. Белоногов Г. Г., Калинин Ю. П., Хорошилов А. А. Компьютерная лингвистика и перспективные информационные технологии. — М.: Русский мир, 2004. 246 с.
8. Управление непрерывностью бизнеса. Ч. 1: Практическое руководство / Неофици. пер. британского стандарта BS 25999-1:2006.
9. PAS 77:2006. IT Service Continuity Management. Code of practice. Publicly available specification. — BSI, August 11, 2006.
10. Управление непрерывностью бизнеса. Ч. 2: Спецификация / Пер. британского стандарта BS 25999-2:2007, выполненный ООО «ГлобалТраст Солюшинс» с разрешения Британского института стандартов (BSI) по лицензии № 2006AT0005. — BSI, 2007.
11. Управление непрерывностью информационных и коммуникационных технологий — практические правила / Пер. британского стандарта BS 25777:2008, выполненный ООО «ГлобалТраст Солюшинс» с разрешения Британского института стандартов (BSI) по лицензии № 2008JK0022. — BSI, 2008.
12. ГОСТ Р 53114-2008. Защита информации. Обеспечение информационной безопасности в организации. Основные термины и определения. — М.: Стандартинформ, 2009. 40 с.
13. Куперман М., Аверьянов Д. Резервный центр обработки данных. Оценка надежности // Электроника (наука, технология, бизнес), 2010. Вып. 4. <http://www.electronics.ru/journal/article/75>.
14. Быстров И. И., Радоманов С. И. Операционная безопасность ИТ-систем // Системный анализ, управление и навигация: Сб. тезисов докл. 17-й Международной научной конф. — М.: МАИ-Принт, 2012. С. 86.
15. Быстров И. И., Радоманов С. И., Сычёв В. Н. Операционная безопасность ИТ-систем // Стандартизация, сертификация, обеспечение эффективности, качества и безопасности информационных технологий (ИТ-стандарт 2012): Мат-лы III Международ. конф. <http://www.myshared.ru/slide/482219>.
16. ГОСТ Р 1.0-92. Государственная система стандартизации Российской Федерации. Основные положения. — М.: Госстандарт России, 1994. 23 с.

*Поступила в редакцию 16.09.14*

---

---

## ONTOLOGY SUPPORT OF CONTINUITY OF IT-SERVICES IN INFORMATION AND TELECOMMUNICATIONS SYSTEMS

*I. I. Bystrov, S. I. Radomanov, and V. N. Veselov*

Institute of Informatics Problems, Russian Academy of Sciences, 44-2 Vavilov Str.,  
Moscow 119333, Russian Federation

**Abstract:** The article discusses the possibility of using ontologies to manage processes to ensure continuity of operations and accessibility of IT-services



under conditions of disruption of information and telecommunications system (ITS) functioning by internal and external negative factors. The article provides a basic set of concepts that describe properties of ITS components, processes, situations, scenarios, and relations between them when restoring the native mode of support of its services.

**Keywords:** ontology; information and telecommunications system (ITS); continuity of operations and accessibility of IT-services; systematic approach; subject area; concepts

**DOI:** 10.14357/08696527140414

## References

1. Balaouras, S. 2010. Business continuity and disaster recovery are top IT priorities for 2010 and 2011. Available at: [http://www.rbzaneadvisors.com/pdf/Forrester\\_bus\\_cont\\_disaster\\_recovery.pdf](http://www.rbzaneadvisors.com/pdf/Forrester_bus_cont_disaster_recovery.pdf) (accessed August 29, 2014).
2. Shemakin, Yu. I. 1974. *Tezaurus v avtomatizirovannykh sistemakh upravleniya i obrabotki informatsii* [Thesaurus in automated control systems and information processing]. Moscow: Voenizdat. 192 p.
3. Kalinichenko, L. A. 2011. Ekspansiya ontologii: "Ontologicheski bazirovannye" informatsionnye sistemy [Expansion of ontology: "An ontologically based" information systems]. *Tr. II Simpoziuma "Ontologicheskoe Modelirovanie: Sostoyanie, Napravleniya Issledovaniy i Primeneniya"* [2nd Symposium on Ontological Modeling: Status, Trends, Research and Application Proceedings]. Moscow: IPI RAN. 29–44.
4. Bystrov, I. I., and S. I. Radomanov. 2013. Konets mifa o protivorechivosti matrichnogo upravleniya [The end of inconsistency matrix management myth]. *Information Management: Nauchno-Metodicheskiy Zhurnal* [The Information Management: Scientific-Methodical J.] 7:38–49.
5. European Commission. The IDABC programme (Interoperable Delivery of European eGovernment Services to public Administrations, Businesses and Citizens). Available at: <http://web.archive.org/web/20060617105314/ec.europa.eu/idabc/en/chapter/3> (accessed August 29, 2014).
6. Mitrofanova, O. A., and N. S. Konstantinova. 2008. Ontologii kak sistemy khraneniya znaniy [Ontology as a storage system of knowledge]. *Informatsionno-kommunikatsionnye tekhnologii v obrazovanii. Elektronnyy resurs*. [Information and communication technologies in education. Electronic resource]. 54 p. Available at: <http://www.ict.edu.ru/ft/005706/68352e2-st08.pdf> (accessed November 1, 2014).
7. Belonogov, G. G., Yu. P. Kalinin, and A. A. Khoroshilov. 2004. *Komp'yuternaya lingvistika i perspektivnye informatsionnye tekhnologii*. [Computational linguistics and information technologies]. Moscow: Russkiy Mir. 246 p.
8. BS 25999-1:2006. November 2006. Business continuity management. Code of practice. Replaced by BS ISO 22313:2012.
9. PAS 77:2006. August 2006. IT service continuity management. Code of practice. Withdrawn.
10. BS 25999-2:2007. Business continuity management. Specification. Replaced by BS EN ISO 22301:2014.



11. BS 25777:2008. December 2008. Information and communications technology continuity management. Code of practice. Replaced by BS ISO/IEC 27031:2011.
12. GOST R 53114-2008. 2009. *Zashchita informatsii. Obespechenie informatsionnoy bezopasnosti v organizatsii. Osnovnye terminy i opredeleniya* [Protection of information. Information security in the organization. Basic terms and definitions]. Moscow: Standartinform. 40 p.
13. Kuperman, M., and D. Aver'yanov. 2010. Rezervnyy tsentr obrabotki dannykh. Otsenka nadezhnosti [Backup data center. Assessment of reliability]. *Elektronika (Nauka, Tekhnologiya, Biznes)* [J. Electronics (Science, Technology, Business)] 60(4). Available at: <http://www.electronics.ru/journal/article/75> (accessed August 29, 2014).
14. Bystrov, I. I., and S. I. Radomanov. 2012. Operatsionnaya bezopasnost' IT-sistem [Operational security of IT systems]. *Sb. tezisov dokl. 17-y Mezhdunar. nauch. konf. "Sistemnyy Analiz, Upravlenie i Navigatsiya"* [A collection of abstracts of the 17th Scientific Conference (International) "System Analysis, Control, and Navigation"]. Moscow: MAI. P. 86.
15. Bystrov, I. I., S. I. Radomanov, and V. N. Sychev. 2012. Operatsionnaya bezopasnost' IT-sistem [Operational security of IT- systems]. *Doklad na III Mezhdunar. konf. "Standartizatsiya, Sertifikatsiya, Obespechenie Effektivnosti, Kachestva i Bezopasnosti Informatsionnykh Tekhnologiy, IT-Standart 2012"* [Presentation at the 3rd Conference (International) "Standardization, Certification, Ensuring Efficiency, Quality, and Security of Information Technology, IT Standard 2012"]. Moscow. Available at: <http://www.myshared.ru/slide/482219/> (accessed August 29, 2014).
16. GOST R 1.0-2004. 2005. Standartizatsiya v Rossiyskoy Federatsii. Osnovnye polozheniya [GOST R 1.0-2004 Standardization in the Russian Federation. Basic provisions]. Moscow: IPK Izdatel'stvo standartov. 23 p.

*Received September 16, 2014*

## Contributors

**Bystrov Igor I.** (b. 1931) — Doctor of Science in technology, professor, Head of Department, Institute of Informatics Problems, Russian Academy of Sciences, 44-2 Vavilov Str., Moscow 119333, Russian Federation; [ibystrov@ipiran.ru](mailto:ibystrov@ipiran.ru)

**Veselov Vitaly N.** (b. 1940) — Candidate of Science (PhD) in technology, leading scientist, Institute of Informatics Problems, Russian Academy of Sciences, 44-2 Vavilov Str., Moscow 119333, Russian Federation; [vveselov@ipiran.ru](mailto:vveselov@ipiran.ru)

**Radomanov Sergey I.** (b. 1953) — scientist, Institute of Informatics Problems, Russian Academy of Sciences, 44-2 Vavilov Str., Moscow 119333, Russian Federation; [radomanov@ipiran.ru](mailto:radomanov@ipiran.ru)

## INFORMATIZATION OF THE NORMALIZED ECONOMIC MECHANISM: E-SERVICES FOR RESOURCE PLANNING

*A. V. Ilyin<sup>1</sup> and V. D. Ilyin<sup>1</sup>*

**Abstract:** The article describes basic concepts of the normalized economic mechanism (NEM) and online services representing a special part of software which should become the base of informatization. The first active service implements an innovative method of cost planning taking into account priorities of expense items. The widest area of the service usage is budgeting, although the service allows flexible and dynamic planning of any resource costs.

**Keywords:** informatization; economics; normalized economic mechanism; e-service; resource planning

**DOI:** 10.14357/08696527140415

### 1 Introduction

In any economic model as in a model of a human–machine system, it is necessary to state the purpose of the model and formulate the objectives that it will help to solve. In the models suggested in the famous works on economics [1–4], the default assumption is that the prioritized goal of economic agents is extraterritorial profit. The conceptual basis of **the economic mechanism (EM) of extraterritorial profit (PM)** is supported by the ideas presented in [1–4].

The inevitable consequences of the use of PM are:

- the growing number of capable people who consume real commodities, but do not produce them;
- an unsustainable pattern in the real economy, including agricultural sector;
- the financial sector dominates the sectors producing real commodities (as money and securities remain highly profitable commodities);
- climate change and intensification of pollution; and
- under the existing rules of the economic activities, the state can lose control even over the corporations and farms producing vital commodities (the scheme is well known: enterprises borrow from foreign banks, debts which they are unable to pay back; as a result, foreign banks become owners of the property of these enterprises).

---

<sup>1</sup>Institute of Informatics Problems of the Russian Academy of Sciences, 44-2 Vavilov Str., Moscow 119333, Russian Federation

There is also a technological component of the inadequacy of PM: in these days, it remains essentially the same as it was before the Internet era. Money is issued and used without legal rules defining any connection with transactions of sale of real commodities. Moreover, different financial instruments (stocks, bonds, etc.) are issued, which are also traded.

The fact that modern banking technologies are provoking fraud proves the professional impropriety of the management of the central banks. Many banks are developing online services as they want to. Surely, the central bank of each technologically advanced country should take the initiative to develop requirements for unified online bank services.

The purpose of this article is to present some results obtained by the authors in studies dedicated to informatization of the EM [5–10].

## 2 Core of the Normalized Economic Mechanism

The first version of NEM was presented in [7] and the latest in [8].

The authors consider expedient such architecture of NEM that would stimulate the citizens of a country

- to produce the required amount of vital commodities of the appropriate quality (including those necessary for defense) and maintain rational production structure;
- to invent and apply advanced technologies and means of their realization;
- to improve the educational system and the system of scientific research; and
- to treat with care the human gene pool and natural resources (water, soil, fossils, etc.).

Normalized EM includes the following complexes:

- production of real commodities (**RC-production**);
- multicurrency e-trade of real commodities (**RC-trade**);
- stockpiling of vital goods (**VG-stockpiling**);
- contractual money e-investment;
- the state budget, reserves, taxes, and duties;
- regional budgets and taxes;
- social security funds;
- documenting the results of economic activity (**EA-documentation**); and
- management of economic activity (**EA-management**).

Normalized EM functioning is determined by a **system of obligatory and orienting regulations** [10]. Obligatory regulations include the ones relevant to the country's laws. Regulations that determine the relations of economic coordination between corporations and citizens of different countries should be referred to as orienting regulations.

The core of the EA-documentation complex is the **property status system** (PS-system). Documenting the sale and purchase transactions, e-investments, gifts and donations, and the public dues payments is done by the **personal electronic banks of economic agents** (PEBs) where original accounts and other documents of business activity are kept. At the closing of each deal, the copies of participating accounts are updated on the servers of **banks-providers** that play the role of certifying centers and depositaries of updatable copies of the EA-accounts and other documents, and the same operations are performed on the servers of central bank once a day (or at another time period set by law). Documenting the corporation's internal operations is carried out using their own resources (on the basis of a form of documents and rules of document flow set by law). All the documenting is carried out in accordance with program-implemented system of rules. Each stage of documenting is done on the basis of advanced information technologies using tested hardware and software of PEBs, the servers of the central bank and the banks-providers. It is rational to implement **e-documenting commodities (EDC)** in the form of **EDC-services**. There should be a specification for each commodity that has a field "Documentation" for hyperlinks to e-documents, which specify all parameters of the commodity.

**Specified property items of a NEM-system (s-items)** are the means of RC-production, RC-trade, VG-stockpiling, EA-documentation, and EA-management belonging to economic agents and consumer items, registered in the NEM-system. Each s-item corresponds to a unified electronic specification that includes its name, purpose, and characteristics. If it is a manufactured item, then a manufacturer and a release date and expiry date are recorded. A reference for sales and delivery regulations is indicted for the item to be sold. The s-item specification is an e-document that presents it as a commodity.

**A commodity** is an s-item which can be sold. Categories and types of commodities are to be determined by law. Within their categories (food, clothing, etc.), every type of commodity (in the category of food: bakeries, dairies, etc.) must have a unified specification that includes the number of this type according to the priority list of the category of commodities and information about customs duties and on the terms of sale within and outside the NEM-system. The type of commodity, within a certain category, determines the level of duties applicable on domestic and overseas sales.

S-items of refundable property exchange include:

- real commodities (including services of state mechanism); and
- savings (money and nonmonetary savings) of economic agents, reflected in their EA-accounts.

Money savings are used in purchase and sale transactions and in contractual **NEM-money** e-investments. Nonmonetary savings, reflected in accounts by hyperlinks to specifications of registered property, are used in sales transactions involving credit (as collateralized property of the customer) and in contractual NEM-money e-investments (as collateralized property of the e-investment recipient). Donations

(of real commodities and/or NEM-money savings), contributions, etc. relate to free of charge property exchange (the exhaustive list and terms of fulfillment are to be fixed by law).

**The complex of EA-management:**

- sets the goals and objectives for the development and improvement of NEM complexes mentioned above;
- directs and stimulates economic activity through taxes, excise, duties, and other means of economic regulation; and
- coordinates the fulfillment of the objectives and controls the results achieved.

The complex of EA-management includes state institutions (ministries and the central bank) and commercial institutions (boards of directors, etc.).

**The system of property status (PS-system)** is the system of e-documentary representation of monetary and nonmonetary components that reflect property status of economic agents. Monetary components are represented in NEM-money amounts that are in the currency sections of **unique unified multicurrency accounts of economic agents (EA-accounts)**. Nonmonetary components of PS-system are represented by hyperlinks to e-documents proving ownership of land, houses, etc.

**NEM-money** is an e-document that serves for

- quantifying representation of values of commodities and monetary components of EA-accounts;
- payment for commodities, taxes, and duties;
- accumulation of wealth in universal form;
- contractual monetary e-investment; and
- monetary gifts and donations.

NEM-money is represented by records in EA-accounts, which certify property rights to a share of the commodity value of the NEM-system and property liabilities in relation to other economic agents. Signed real numbers are used to present the sums in EA-accounts (the minus sign is used for those sums that are to be returned, the plus sign for those sums which have been received in accordance with contracts of closed deals). NEM-money has two states: assigned (e. g., a debt due to a commodity purchase, investment, tax, etc.) and nonassigned (sums in the “I own” sections of EA-accounts). Assigned NEM-money may be used only for a certain purpose (e. g., those received from investors can be used in accordance with the investment contract (purchase of new equipment, etc.)). Nonassigned NEM-money is used according to the self-determination of the owner of EA-account (in any permissible deal). The NEM-money concept excludes money issue and excludes trade in credits and currencies.

A market value of a commodity is expressed by an amount of NEM-money and is a result of trade-off between a buyer and a seller, which depends on supply and demand. The NEM-money savings of an economic agent are reflected in his/her

EA-account in the form of records of the currency sums in the sections “I own” and in subsections “I invested” of the sections “Investment.” The values in the sections “I own” imply unbound savings (nonassigned NEM-money sums); investment accumulation is recorded in subsections “I invested” of the sections “Investment” (an assigned sums that can be used only in accordance with e-investment contracts).

**Unique unified multicurrency account of economic agent** (EA-account) is a unified e-document consisting of currency sections (which are activated by the central bank), each of which has the following basic items: “I own,” “Lending,” “Investment,” “Taxes and duties,” “Gifting,” and “Donation.”

The section “I own” includes an amount of NEM-money that can be used for any permissible deals (purchases, investments, etc.). The section “Lending” has two subsections — “Granted” (a sum of NEM-money lent) and “Received” (a sum of borrowed NEM-money). The section “Investment” includes the subsections “Invested” (a sum of invested NEM-money) and “Received” (a sum of received investments). There are other subsections in other sections also. Having assigned a time period, one can receive detalization for subsections of any section of the EA-account. The set of permissible operations for amounts recorded to EA-account is determined by subsections to which they belong (e. g., an amount from the “Received” subsection of a section “Lending” cannot be used for granting loans).

As far as an EA-account has a multicurrency structure, it can be applied to record the results of internal and overseas economic activities. The application of EA-accounts assumes that all economic agents have their own unique identifiers (a conceptually similar project “National Strategy for Trusted Identities in Cyberspace” was published in the USA [11]).

The e-banking system of NEM is the primary means of EA-documentation. It includes **personal electronic banks, banks-providers**, and the **central bank**, which manages all the other banks.

A **central bank** is a state institution that manages the banking system. It performs the following functions:

- grants and revokes licenses to carry out banking activity (for owners of PEBs and banks-providers);
- activates and deactivates the currency parts of EA-accounts;
- controls implementation of banking activity rules;
- analyses the financial component of the NEM-system’s activity and presents the results of analysis in order set by law;
- develops, modifies, and approves tested unified forms of banking documents (including EA-accounts);
- controls the efficiency of monetary state reserve funds and social protection funds allocation, etc.

The central bank possesses a network of servers located on the territory of a country under whose jurisdiction the NEM-system functions.

**Bank-provider** is a commercial institution established by legal entity (or by associations of legal entities and individuals) which deals with RC-production, RC-trade, or VG-stockpiling. The bank-provider produces and sells unified e-services to owners of EA-accounts.

These services include:

- processing queries of EA-accounts owners, which are sent by PEBs when the deal is effected (including queries to certify the state of the EA-account, sent upon authorization of its owner);
- storing of the copies of EA-accounts;
- analysis of investment inquiries of clients (prospective investors and investment recipients) (banks-providers can execute orders of investment recipients to consolidate investments in order to accumulate a desired sum);
- registering signed agreements (for permissible transactions) and maintaining the database of such agreements;
- legal support of deals etc.

Legal support of deals is an important component of bank-provider's services. The bank-provider disposes a consolidated network of servers, designed to process the queries of PEBs owners and to interact with the servers of a central bank.

**Personal electronic bank** is a portable electronic device (like tablet PC) with smartphone functions. Personal electronic bank stores the original EA-account and documents on deals. The mobile banking software (certified by central bank) is the core of PEB applications. The encrypted database of an EA-account is stored in the memory of the device, and its copy is stored on the memory card. Only EA-account owner can initiate records in the files of EA-account. The copies of EA-account and documents of serviced deals are kept in the bank-provider's databases (for the period of time set by law of the given NEM-system).

### 3 Online Services for Resource Planning

Resource planning problems belong to the main tasks of economic activity planning in NEM. Technologies for cost planning and resource allocation in accordance with customizable system of rules [9, 10] are implemented in e-services presented at [www.res-plan.com](http://www.res-plan.com).

#### 3.1 Principles of work

The concept of [res-plan.com](http://www.res-plan.com) online services is similar to the SaaS (Software as a Service) concept [12, 13]. The difference is that we do not store data of users' tasks on server and offer special client applications for Microsoft Windows, Apple Mac OS X, and other operating systems — instead of Web applications. The second difference is explained by the fact that the stability and performance of Web applications depends on the browsers, in which they work.



The basic principles are:

- calculation algorithms are implemented in the server applications (services), which work on reliable and high-performance servers 24 hours a day, 7 days a week;
- user downloads an installer of client application (corresponding to his/her operating system) for a service and launches it. The installation process is very simple and does not require any special skills;
- a client application provides a familiar GUI (graphical user interface) for data input, file operations, etc. Only when calculations are necessary, a client application at user's command connects to a Service and sends it a request having a special text format (the TCP (transmission control protocol) is used). A request contains only numbers which are necessary for calculations — without semantic bindings, that is, confidential data such as names of resources, expenses, measure units, etc, these are not transmitted through the Internet. A request header consists of encoded data on the type of the request and the user's workplace: when the user launches an application the first time, registration of the workplace is executed (the unique identifier is assigned to the workplace); and
- a service receives the request, performs parsing, makes calculations, and sends the results to the client application in a special text format. None of transmitted data are stored on servers: it would be just unnecessary disk usage. All the data are stored on client side. The service processes a request in operating memory, sends the reply, and terminates connection. The only thing stored on the service side is the database containing registration data of users' workplaces. It is necessary to authenticate requests using their headers.

### **3.2 Advantages of online services**

The use of online services gives the following advantages:

- resource planning systems, implemented as stand-alone applications, are usually quite expensive. The use of online services is significantly cheaper. A user pays only for the periods, when a service is actually used;
- the cost of a service includes technical support and all updates of the client applications. A user just needs to go through the elementary process of client application installation and registration of his/her workplace in the service. The hardware and software of the Service is the developer's concern. (Stand-alone applications for resource planning are usually resource demanding and often require paid tuning);
- services can be used by software vendors in their own applications. A special API can be provided to interact with a service; and
- computational algorithms are implemented only on servers, eliminating unauthorized use.



### 3.3 The “Cost planning” service

Income is a variable for millions of individuals and companies. It may depend on the volume of sales, market prices, exchange rates, and many other factors. However, even on a state level, expenditures are often planned on the basis of point assumptions about the total income. If such assumptions are wrong, the budget is to be altered. The planning results are also presented by exact value for each expense item, although in practice most of the costs cannot be predicted accurately. To address these shortcomings, the principles of the interval cost planning were suggested in [6].

The problems of *nonpriority and priority cost planning* have informal statements which contain obligatory and orienting rules [10]. The obligatory rules include restrictions on the resource spending (they guarantee the feasibility of solution) and rules of irredundant satisfaction of the requests for resource. Orienting rules determine the direction of search for a solution. The solution found by using the proposed algorithms always satisfies the obligatory rules and satisfies orienting rules as much as the interval specificity of the problem allows. If fulfillment of orienting rules is possible, the solution corresponding to them is treated as more effective than any other.

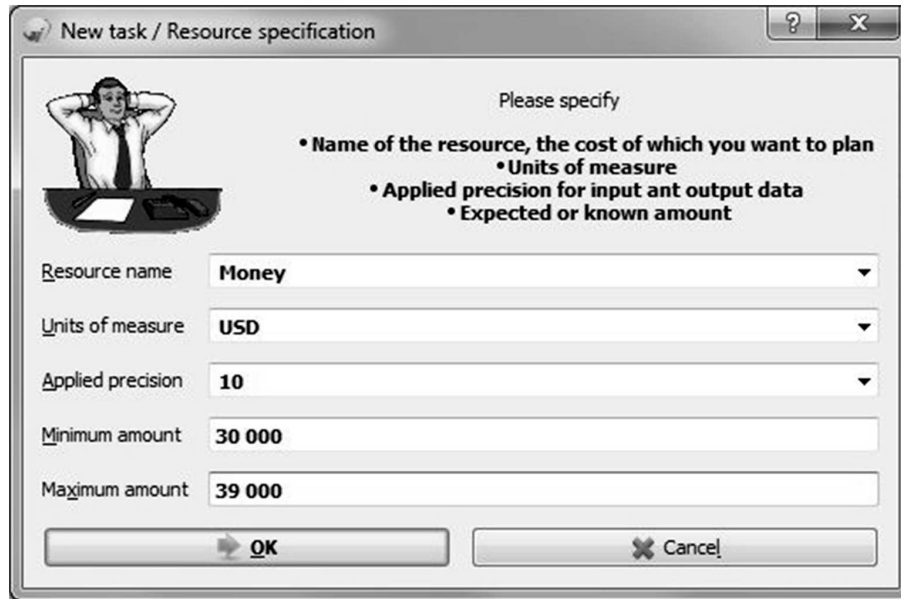
The problem statement and algorithm of priority planning suggested in [6] and [9] did not reduce to nonpriority planning in the case of equal priorities. The unified method of cost planning, which is implemented in the service, eliminates this shortcoming.

The traditional approach, describing the scheme and principles of cost planning [14], does not describe the problem formulation and a method of solution. The interval method and the online service have no known analogues (description of the method is out of scope of this paper).

The client application of the “Cost Planning” service is the tool for distribution of expected funds between expense items, but not one more accounting program, where “planning” is often understood as entering an income and further addition of desirable expenses until the balance is broken. Next are the main features of the client application (screenshots are made in the application for MS Windows).

A user specifies an interval for expected funds assuming the worst and the best conditions. A user can specify any name and measurement unit for the resource (USD, thousand euro; tonnes, etc.) and *the applied precision* for planning. The applied precision is the minimum significant resource amount — from 0.0001 to 1 billion. All the data will be rounded to that number. This allows, in particular, to solve the integer problems (Fig. 1).

A user specifies a table of expense items, and for each row, the lowest and the highest expected costs (or exact value) can be entered. These are requests of expense items. A user can create a separate table of details for each expense item. The amount of the resource allocated to the expense item will be distributed between expense items that form its details. The number of detail levels for expense items is not limited; so, a hierarchy of resource consumption can be defined.



**Figure 1** Resource specification

A user can specify weighting coefficients (priorities) of expense items and use them in calculations.

For each table of expense items, a user can set its own flag 'Use weighting coefficients' and applied precision (restriction: a table data cannot be more accurate than their details).

Some requests can be marked as obligatory (e. g., mortgage payments or rents can rarely be reduced).

The left side of the application window is occupied by the "tree" for one or more resources which are to be allocated in a user's task. The right side of the window is occupied by the table which contains expense items for the resource selected in the "tree." The principle of navigation in the resource "tree" (if there are detailed expense items) is the same as in Windows Explorer. A resource can be considered analogous to the disk, and a detailed expense item — analogous to a folder on this disk. If a resource is selected in the "tree," the table displays expense items in the upper level of the hierarchy (Fig. 2); if a detailed expense item is selected, the table displays its details.

A user commands 'Allocate' from a client application. It connects to the Service via Internet and sends it a request for resource planning. The Service performs calculations and sends results back to the client application (Fig. 3) which shows them to user. The results contain values 'Give min.' and 'Give max.' for each expense

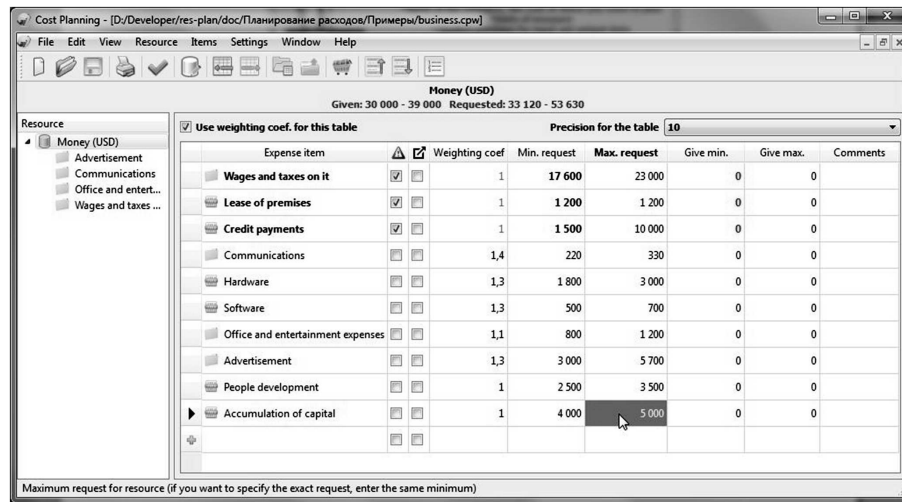


Figure 2 A general view of the client application



Figure 3 Receiving result

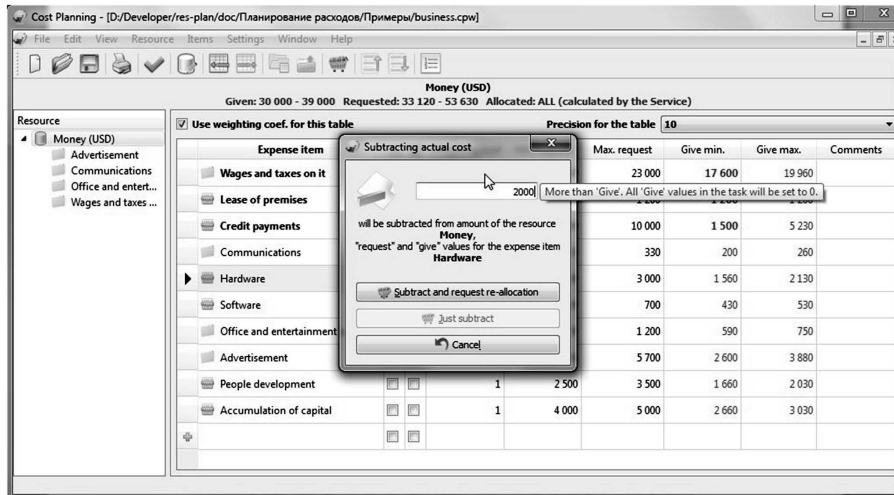


Figure 4 Accounting for actual cost

item. (Then the ‘Allocate’ command may be executed for the entire hierarchy or a part of it.)

Sums of minimum and maximum ‘Give’ values comply the specified minimum and maximum funds, respectively, and the values comply the specified requests for resource and (optionally) the priorities of expense items.

Subsequently, when a user receives or spends a part of the funds or obtains more precise information on the income or expenditure sides of the budget (saying in terms of budget planning), he/she adjusts the input data (Fig. 4), commands ‘Allocate’ again, and gets refined results.

When a user specifies the funds exactly (i. e., minimum = maximum) and commands ‘Allocate,’ the received values ‘Give max.’ can be treated as exact decision of the cost planning task.

Thus, if a user specifies minimum and maximum funds and costs cautiously and follows the plan, he/she will always stay within the budget. A user sees in advance how resource can be allocated; a user can look at different variants of allocation and adjust expense items; a user clarifies plan in the course of its implementation.

Furthermore,

- if the planning results are too “tight,” a user can temporarily exclude any expense item from consideration: it is enough to just put a “tick” in the corresponding cell of the table;
- a user can specify calendar periods as expense items: the convenient interface is provided;

- a user can manually adjust the planning results. The application will notify if the entered data are inconsistent;
- if a user marks too many minimum requests as obligatory, i. e., sum of them outnumbers the minimum funds, then the service informs about it. (If the requests are marked correctly, a user can think of some borrowing to increase the minimum amount of the resource);
- each planning task is stored in a separate file; so, a user can copy it from one workplace to another. In one task, a user can plan allocation of several separate resources; and
- a user can copy/paste data between different tables of cost planning tasks and Microsoft Excel, OpenOffice Calc, LibreOffice Calc and other spreadsheets. Special import/export operations are provided for files in MS Excel format (xls, xlsx).

### 3.4 Resource allocation in accordance with a customizable system of rules

This group of *res-plan.com* online services will implement the technology which was described in [10]. The technology is applied to solution of such important problems as production planning, transportation problem, turnover planning, etc.

## 4 Concluding Remarks

It is advisable to immediately start step-by-step design and implementation of the NEM. NEM-money should become a means of e-documenting the results of economic activity. Each economic agent should have unique electronic multicurrency account (EA-account) that reflects monetary and nonmonetary components of property. A loan must become a deferred part of payment for purchase, according to a contractual schedule. Commercial banks should become banks-providers in the e-banking system. Development of unified e-banking software should be started.

Resource planning tasks are an important part of economic activity planning in the NEM. E-services for their solution are being implemented in the framework of research at the Institute of Informatics Problems of the Russian Academy of Sciences. The circle of users, for whom the online services of *res-plan.com* can be useful, ranges from individuals and businessmen who plan their budgets to experts in the distribution of corporate and government resources. Software vendors can use the services in their own applications.

## References

1. Fisher, I. 1922. *The purchasing power of money. Its determination and relation to credit, interest, and crises*. New York: The Macmillan Co. Available at: <http://www.econlib.org/library/YPDBooks/Fisher/fshPPM.html> (accessed September 7, 2014).

2. Keynes, J. 1936. *The general theory of employment, interest and money*. Macmillan Cambridge University Press, for Royal Economic Society. Available at: <http://www.marxists.org/reference/subject/economics/keynes/general-theory/> (accessed September 7, 2014).
3. Friedman, M. 2005. *The optimum quantity of money*. Aldine Transaction. 296 p.
4. Krugman, P., and R. Well. 2009. *Macroeconomics*. 2nd ed. New York: Worth Pubs. 600 p.
5. Ilyin, V. D. 1996. *Osnovaniya situatsionnoy informatizatsii* [Fundamentals of situational informatization]. Moscow: Nauka, Fizmatlit. 180 p.
6. Ilyin, V. D., Yu. V. Gavrilenko, A. V. Ilyin, and E. M. Makarov. 1996. *Matematicheskie sredstva situatsionnoy informatizatsii* [Mathematical tools for situational informatization]. Moscow: Nauka, Fizmatlit. 88 p.
7. Ilyin, V. D. 2009. Model normalizovannoy ekonomiki (NEk-model): Osnovy kontseptsii [The model of normalized economics (NEc-model): Basics of framework]. *Upravlenie Bol'shimi Sistemami* [UBS] 25:116–138.
8. Ilyin, V. D. 2012. *S-economics*. Moscow: IPI RAN. 54 p.
9. Ilyin, A. V. 2013. *Ekspertnoe planirovanie resursov* [Expert resource planning]. Moscow: IPI RAN. 58 p.
10. 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.
11. The White House. 2011. *National strategy for trusted identities in cyberspace. Enhancing online choice, efficiency, security, and privacy*. Washington. 45 p. Available at: [http://www.whitehouse.gov/sites/default/files/rss\\_viewer/NSTICstrategy\\_041511.pdf](http://www.whitehouse.gov/sites/default/files/rss_viewer/NSTICstrategy_041511.pdf) (accessed September 7, 2014).
12. Trumba Corporation. 2007. *Five benefits of Software as a Service*. 8 p. Available at: [http://www.trumba.com/connect/knowledgecenter/pdf/Saas\\_paper\\_WP-001.pdf](http://www.trumba.com/connect/knowledgecenter/pdf/Saas_paper_WP-001.pdf) (accessed September 7, 2014).
13. Jamsa, K. A. 2013. *Cloud computing*. Burlington: Jones & Bartlett Learning. 322 p.
14. AACE<sup>®</sup> International. 2012. *Total cost management framework*. 319 p. Available at: [http://www.aacei.org/non/tcm/TCMFramework\\_WebEdition.pdf](http://www.aacei.org/non/tcm/TCMFramework_WebEdition.pdf) (accessed September 7, 2014).

Received September 8, 2014

## Contributors

**Ilyin Alexander V.** (b. 1975) — Candidate of science (PhD) in technology, senior scientist, Institute of Informatics Problems, 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, Russian Academy of Sciences, 44-2 Vavilov Str., Moscow 119333, Russian Federation; vdilyin@ipiran.ru

## ИНФОРМАТИЗАЦИЯ НОРМАЛИЗОВАННОГО ЭКОНОМИЧЕСКОГО МЕХАНИЗМА: ЭЛЕКТРОННЫЕ СЕРВИСЫ ПЛАНИРОВАНИЯ РЕСУРСОВ

*А. В. Ильин<sup>1</sup>, В. Д. Ильин<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Институт проблем информатики Российской академии наук, avilyin@ipiran.ru

<sup>2</sup>Институт проблем информатики Российской академии наук, vdilyin@ipiran.ru

**Аннотация:** Статья посвящена основам концепции нормализованного экономического механизма и электронным сервисам, которые представляют специальную часть программного обеспечения информатизации. Первый действующий сервис, описанный в статье, реализует инновационный метод планирования расходов с учетом приоритетов расходных статей. Сервис рассчитан на гибкое и динамичное планирование любых ресурсных затрат, но самой широкой областью его применения является бюджетирование.

**Ключевые слова:** информатизация; экономика; нормализованный экономический механизм; электронный сервис; планирование ресурсов

**DOI:** 10.14357/08696527140415

### Литература

1. *Fisher I.* The purchasing power of money. Its determination and relation to credit, interest, and crises. New York: The Macmillan Co., 1922. <http://www.econlib.org/library/YPDBooks/Fisher/fshPPM.html>.
2. *Keynes J.* The general theory of employment, interest and money. — Macmillan Cambridge University Press, for Royal Economic Society, 1936. <http://www.marxists.org/reference/subject/economics/keynes/general-theory/>.
3. *Friedman M.* The optimum quantity of money. — Aldine Transaction, 2005. 296 p.
4. *Krugman P., Wells R.* Macroeconomics. — 2nd ed. — New York: Worth Pubs., 2009. 600 p.
5. *Ильин В. Д.* Основания ситуационной информатизации. — М.: Наука, Физматлит, 1996. 180 с.
6. *Ильин В. Д., Гавриленко Ю. В., Ильин А. В., Макаров Э. М.* Математические средства ситуационной информатизации. — М.: Наука, Физматлит, 1996. 88 с.
7. *Ильин В. Д.* Модель нормализованной экономики (НЭК-модель): основы концепции // Управление большими системами, 2009. Т. 25. С. 116–138.
8. *Ильин В. Д.* S-economics. — М.: ИПИ РАН, 2012. 54 с.
9. *Ильин А. В.* Экспертное планирование ресурсов. — М.: ИПИ РАН, 2013. 58 с.
10. *Ilyin A. V., Ilyin 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.

11. National strategy for trusted identities in cyberspace. Enhancing online choice, efficiency, security, and privacy. — Washington: The White House, 2011. 45 p. [http://www.whitehouse.gov/sites/default/files/rss\\_viewer/NSTICstrategy\\_041511.pdf](http://www.whitehouse.gov/sites/default/files/rss_viewer/NSTICstrategy_041511.pdf).
12. Five benefits of Software as a Service. Trumba Corporation, 2007. 8 p. [http://www.trumba.com/connect/knowledgecenter/pdf/Saas.paper\\_WP-001.pdf](http://www.trumba.com/connect/knowledgecenter/pdf/Saas.paper_WP-001.pdf).
13. *Jamsa K. A.* Cloud computing. — Burlington: Jones & Bartlett Learning, 2013. 322 p.
14. Total cost management framework. AACSE<sup>®</sup> International, 2012. 319 p. [http://www.aacei.org/non/tcm/TCMFramework\\_WebEdition.pdf](http://www.aacei.org/non/tcm/TCMFramework_WebEdition.pdf).

*Поступила в редакцию 08.09.2014*



**Адамович Игорь Михайлович** (р. 1934) — кандидат технических наук, заведующий отделом Института проблем информатики Российской академии наук

**Аладышев Олег Сергеевич** (р. 1970) — кандидат технических наук, заведующий отделом Межведомственного суперкомпьютерного центра Российской академии наук

**Быстров Игорь Иванович** (р. 1931) — доктор технических наук, профессор, заведующий отделом Института проблем информатики Российской академии наук

**Веревкин Геннадий Федорович** (р. 1934) — кандидат технических наук, старший научный сотрудник Института проблем информатики Российской академии наук

**Веселов Виталий Николаевич** (р. 1940) — кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник Института проблем информатики Российской академии наук

**Вихрев Владимир Васильевич** (р. 1957) — старший научный сотрудник Института проблем информатики Российской академии наук

**Вовченко Алексей Евгеньевич** (р. 1984) — кандидат технических наук, старший научный сотрудник Института проблем информатики Российской академии наук

**Захарова Татьяна Валерьевна** (р. 1962) — кандидат физико-математических наук, старший преподаватель факультета вычислительной математики и кибернетики Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова

**Зацаринный Александр Алексеевич** (р. 1951) — доктор технических наук, профессор, заместитель директора Института проблем информатики Российской академии наук

**Земсков Дмитрий Вячеславович** (р. 1969) — ведущий программист Института проблем информатики Российской академии наук

**Ильин Александр Владимирович** (р. 1975) — кандидат технических наук, старший научный сотрудник Института проблем информатики Российской академии наук

**Ильин Владимир Дмитриевич** (р. 1937) — доктор технических наук, профессор, заведующий лабораторией Института проблем информатики Российской академии наук

**Калиниченко Леонид Андреевич** (р. 1937) — доктор физико-математических наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, заведующий лабораторией Института проблем информатики Российской академии наук; профессор факультета вычислительной математики и кибернетики Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова

**Киселев Эдуард Васильевич** (р. 1938) — старший научный сотрудник Института проблем информатики Российской академии наук

**Киселёв Евгений Андреевич** (р. 1987) — кандидат технических наук, стажер-исследователь Межведомственного суперкомпьютерного центра Российской академии наук

**Ковалев Дмитрий Юрьевич** (р. 1988) — программист Института проблем информатики Российской академии наук

**Коновалов Михаил Григорьевич** (р. 1950) — доктор технических наук, заведующий сектором Института проблем информатики Российской академии наук

**Королев Виктор Юрьевич** (р. 1954) — доктор физико-математических наук, профессор кафедры математической статистики факультета вычислительной математики и кибернетики Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова; ведущий научный сотрудник Института проблем информатики Российской академии наук

**Корчагин Александр Юрьевич** (р. 1989) — аспирант факультета вычислительной математики и кибернетики Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова

**Косарик Валерий Валентинович** (р. 1970) — научный сотрудник Института проблем информатики Российской академии наук

**Левыкин Михаил Владимирович** (р. 1985) — кандидат технических наук, старший научный сотрудник Института проблем информатики Российской академии наук

**Лукьянов Геннадий Викторович** (р. 1952) — кандидат военных наук, доцент; заведующий сектором Института проблем информатики Российской академии наук

**Никишин Дмитрий Александрович** (р. 1976) — кандидат технических наук; заведующий сектором Института проблем информатики Российской академии наук

**Радоманов Сергей Иванович** (р. 1953) — научный сотрудник Института проблем информатики Российской академии наук

**Савин Геннадий Иванович** (р. 1948) — академик Российской академии наук, доктор физико-математических наук, профессор; директор Межведомственного суперкомпьютерного центра Российской академии наук

**Скворцов Николай Алексеевич** (р. 1973) — научный сотрудник Института проблем информатики Российской академии наук

**Соколов Игорь Анатольевич** (р. 1954) — академик Российской академии наук, доктор технических наук, директор Института проблем информатики Российской академии наук

**Ступников Сергей Александрович** (р. 1978) — кандидат технических наук, старший научный сотрудник Института проблем информатики Российской академии наук

**Телегин Павел Николаевич** (р. 1960) — кандидат технических наук, заведующий отделом Межведомственного суперкомпьютерного центра Российской академии наук

**Троненко Максим Игоревич** (р. 1979) — научный сотрудник Института проблем информатики Российской академии наук

**Хазиахметов Максим Шамилович** (р. 1989) — аспирант факультета вычислительной математики и кибернетики Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова

**Христочевская Анна Сергеевна** (р. 1974) — заместитель директора Автономной некоммерческой организации «Информационные технологии в образовании»

**Христочевский Сергей Александрович** (р. 1947) — кандидат физико-математических наук, заведующий лабораторией Института проблем информатики Российской академии наук

**Черток Андрей Викторович** (р. 1987) — младший научный сотрудник факультета вычислительной математики и кибернетики Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова; генеральный директор ООО «Эйфория Групп»

**Шабанов Борис Михайлович** (р. 1954) — кандидат технических наук, доцент; заместитель директора Межведомственного суперкомпьютерного центра Российской академии наук

**Шестаков Олег Владимирович** (р. 1976) — доктор физико-математических наук, доцент факультета вычислительной математики и кибернетики Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова; старший научный сотрудник Института проблем информатики Российской академии наук

**Шидловский-Москвин Иван Витальевич** (р. 1985) — ведущий программист, ЗАО «РНТ»

**Шмейлин Борис Захарьевич** (р. 1939) — кандидат технических наук, доцент, старший научный сотрудник Института проблем информатики Российской академии наук

---

## НАУЧНЫЕ КОНТАКТЫ

---

### **О XVI ВСЕРОССИЙСКОЙ НАУЧНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ «ЭЛЕКТРОННЫЕ БИБЛИОТЕКИ: ПЕРСПЕКТИВНЫЕ МЕТОДЫ И ТЕХНОЛОГИИ, ЭЛЕКТРОННЫЕ КОЛЛЕКЦИИ»**

С 13 по 16 октября 2014 г. в Лаборатории информационных технологий Объединенного института ядерных исследований в Дубне проходила очередная, 16-я ежегодная научная конференция «Электронные библиотеки: перспективные методы и технологии, электронные коллекции» — RCDL-2014.

Конференции RCDL всегда открыты для участия в них как российских, так и зарубежных специалистов в указанной области. Это позволяет обмениваться опытом, идеями и полученными результатами исследований, а также способствует установлению контактов для последующего сотрудничества. На RCDL-2014 наряду с докладами российских участников — сотрудников научно-исследовательских институтов, преподавателей и аспирантов вузов, специалистов библиотечного дела и индустрии информационных технологий — были представлены также доклады ученых из Великобритании, Индии, Казахстана и Франции.

За полтора десятилетия проведения конференций RCDL их тематика существенно расширилась. В значительной мере это связано с расширением сферы использования электронных библиотек, в частности с активизацией их применения в научных исследованиях. Возникли потребности в технологиях не только комфортной работы с текстовыми документами, но и эффективного хранения, обработки и анализа научных данных, интеграции неоднородных данных из множества источников. Активное развитие наук с интенсивным использованием данных, в которых данные становятся стержнем исследовательской работы, экспоненциальный рост объемов наблюдательных, экспериментальных и опубликованных научных данных — все это революционизирует технологии научных исследований, позволяет решать новые задачи и, в свою очередь, порождает новые требования к электронным библиотекам, которые становятся важным компонентом инструментальных средств этих технологий.

Развитие функциональных возможностей электронных библиотек обусловлено и новыми достижениями в технологиях управления информационными ресурсами, которые естественным образом находят применение в разработках информационных систем этого класса. Прежде всего, это технологии Семантического веба, технологии хранения, обработки и анализа больших данных, технологии параллельных вычислений. Инструментальные средства для их практического использования выпускает ряд промышленных компаний-производителей программного обеспечения и вычислительного оборудования. На этой основе стало возможным создание систем, оперирующих информационными

ресурсами и обеспечивающих пользовательские интерфейсы на семантическом уровне, а также позволяющих осуществлять в приемлемое время ранее недоступную обработку и анализ огромных объемов данных. Значительны также достижения в технологиях поиска и обработки текстов на естественных языках.

В программу конференции были включены три тьюториала, два приглашенных доклада, три стендовых доклада. На заседаниях 13 секций конференции наряду с приглашенными было заслушано 28 докладов и 20 сообщений. По традиции, установившейся в последние годы, в рамках конференции был проведен диссертационный семинар молодых ученых по результатам выполненных ими научных исследований по тематике информационных технологий, связанных с электронными библиотеками.

На состоявшемся объединенном заседании Руководящего комитета конференций RCDL и Программного комитета RCDL-2014 были проанализированы уроки подготовки конференции и характер представленных для обсуждения докладов. Принято решение трансформировать тематику будущих конференций серии с тем, чтобы учесть в ней новые активно развивающиеся направления информационных технологий и отобразить эти изменения в обновленном названии конференции.

Финансовая поддержка конференции была оказана Российским фондом фундаментальных исследований и Институтом проблем информатики Российской академии наук.

Отобранные Программным комитетом расширенные доклады ряда участников RCDL-2014 будут опубликованы в журнале «Системы и средства информатики» в 2015 г.

Сопредседатели Программного комитета RCDL-2014:

*Л. А. Калмыкова*

Лаборатория информационных технологий ОИЯИ

*М. Р. Коголовский*

Институт проблем рынка РАН

## **О МЕЖДУНАРОДНОМ КОНГРЕССЕ ПО УЛЬТРАСОВРЕМЕННЫМ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫМ И УПРАВЛЯЮЩИМ СИСТЕМАМ (ICUMT-2014)**

С 6 по 8 октября 2014 г. в г. Санкт-Петербурге состоялся Шестой Международный Конгресс по ультрасовременным телекоммуникационным и управляющим системам (6th International Congress on Ultra Modern Telecommunications and Control Systems — ICUMT-2014), который был организован Технологическим университетом г. Тампере (Финляндия) совместно с Санкт-Петербургским

государственным политехническим университетом (Россия) и прошел при поддержке Института проблем информатики Российской академии наук и Российского университета дружбы народов.

ICUMT — это традиционный конгресс, проводящийся под эгидой Института инженеров по электротехнике и электронике (IEEE), труды которого публикуются в электронном документохранилище института (IEEEExplore) и индексируются основными современными базами данных, такими как Scopus.

Преыдущие Конгрессы серии ICUMT проводились в Москве (2009 и 2010 гг.), Будапеште (2011 г.), Санкт-Петербурге (2012 г.) и Алма-Ате (2013 г.). Они оказали существенное влияние на развитие фундаментальных основ теории телекоммуникаций и систем управления, а также практических протоколов связи и методов их исследования. Программа Конгресса в Санкт-Петербурге включила в себя более 70 докладов на 23 технических сессиях, представленных учеными и исследователями со всего мира. Традиционно в работе Конгресса приняло участие множество представителей из России, а также стран ближнего зарубежья. Важнейшими направлениями работы Конгресса, а также основными моментами программы мероприятия стали:

- Осенняя сессия Восьмого Международного семинара «Прикладные проблемы теории вероятностей и математической статистики, относящиеся к моделированию информационных систем» (ARTP + MS);
- Пятый Международный семинар по последним достижениям в широкополосных сетях доступа (RABAN);
- Специальная сессия по автомобильным технологиям связи и сервисам (VCTS);
- Первый Международный семинар по нановычислениям и нанокommunikации (NsCC);
- два пленарных доклада от представителей Университета Пизы (Италия) и Исследовательского и инженерного подразделения компании Форд (США).

Основные материалы ICUMT представлены на сайте Конгресса (<http://www.icumt.info/2014>).

*Е. А. Кучерявый*

Председатель Оргкомитета ICUMT  
к.т.н., профессор Технологического университета  
г. Тампере, Финляндия

*К. Е. Самуйлов*

Заместитель председателя Оргкомитета ICUMT  
д.т.н., профессор, зав. кафедрой Российского  
университета дружбы народов  
Москва, Россия

## **ОБ УЧАСТИИ СПЕЦИАЛИСТОВ ИПИ РАН В РОССИЙСКО-КИТАЙСКОМ ФОРУМЕ ИНЖЕНЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

Сегодня Китай — один из мировых лидеров по темпам роста экономики (годовой прирост 6%–8% в течение последних 8 лет). При этом важно отметить увеличение расходов на проведение научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ (за период с 2006 г. среднегодовые темпы прироста составили около 20%). В развитие достигнутых межгосударственных соглашений между РФ и Китаем проводится целый ряд совместных российско-китайских мероприятий. Одно из них — международная торгово-экономическая ярмарка HTF-2014 (Первое Российско-китайское ЭКСПО), организаторами которой стали Министерство коммерции КНР, правительство провинции Хэйлунцзян, а соорганизаторами — Министерство экономического развития РФ и Министерство регионального развития РФ. Одновременно по инициативе Международного союза научных и инженерных общественных объединений (СоюзНИО) и Всекитайской федерации по науке и технике при участии правительства провинции Хэйлунцзян проведен Российско-китайский форум инженерных технологий по технологиям судостроения, авиационным технологиям и технологиям интеллектуального оборудования. В указанных мероприятиях по приглашению Российского союза научных и инженерных общественных организаций (президент — академик РАН Ю. В. Гуляев) в составе представительной делегации (руководитель — директор Морского инженерного института при Санкт-Петербургском государственном морском техническом университете, д.т.н., профессор В. Л. Александров) приняли участие сотрудники ИПИ РАН д.т.н. А. А. Зацаринный и к.т.н. С. В. Козлов.

В рамках Форума проведены секции по технологиям судостроения, авиационным и интеллектуального оборудования. На секции по технологиям интеллектуального оборудования (ведущий с российской стороны — А. А. Зацаринный) обсуждены вопросы развития в Китае научно-технической инфраструктуры по созданию оборудования, включая создание наукоемких производств и технопарков. Необходимо особо отметить успешное продвижение китайских коллег в направлениях суперкомпьютерных технологий и робототехники. Следует упомянуть очень внимательное отношение к импорту технологий: такой импорт допускается только в случаях возможности совершенствования технологий с целью превращения их в собственно китайские.

Большой интерес вызвали доклады специалистов ИПИ РАН о системном подходе к созданию информационно-телекоммуникационных сетей (А. А. Зацаринный) и о применении процессного подхода к их развитию (С. В. Козлов).

В рамках работы Форума наряду с посещением выставки проведено ознакомление с учебными, научно-техническими заведениями и предприятиями промышленности, принято участие в обсуждении вопросов организации производ-

ства и применяемых технологий, включая применение современных методов процессного подхода на уровне международных стандартов ISO 9000-2000, на предприятиях и в организациях, таких как

- Политехнический университет и Государственная лаборатория робототехнических систем (State Key Laboratory Robotics System), г. Харбин;
- цех по производству станков для обработки пластмасс в составе ООО “Golden Eagle”, цех по производству крепежных изделий для автомобильной техники и цех по производству швейных изделий “Zhoushan Dali Knitting Co., Ltd. Zhoushan High Fashion”, г. Чжоушань.

В целом следует отметить высокий уровень организационных мероприятий по приему российской делегации, проведению Форума, научно-технической конференции, посещению предприятий и культурной программе, а также доброжелательность и стремление к поддержанию конструктивных взаимовыгодных контактов в области науки и техники.

*А. А. Зацаринный*

д.т.н., проф., заместитель директора  
Института проблем информатики РАН

*С. В. Козлов*

к.т.н., заведующий отделом  
Института проблем информатики РАН



---

## АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ ЗА 2014 г.

---

	№	Стр.
<b>Аверина А. А.</b> см. Алексеенко А. Н.		
<b>Агафонов Е. С.</b> см. Сеницын И. Н.		
<b>Адамович И. М., Волков О. И.</b> Средства поддержки интернет-поиска при проведении биографических исследований	2	178
<b>Адамович И. М., Земсков Д. В.</b> Настраиваемая схема кодирования символов переменным числом октетов — АСЕ	4	124
<b>Аладышев О. С., Киселёв Е. А., Савин Г. И., Телегин П. Н., Шабанов Б. М.</b> Влияние характеристик внешней памяти суперкомпьютерных комплексов на выполнение параллельных программ	4	111
<b>Алексеенко А. Н., Аверина А. А., Шаров Д. С., Проценко П. А., Иткин И. Л.</b> Использование инструментов для пассивного тестирования при сертификации клиентов трейдинговых систем	2	83
<b>Андрианова А. А., Ицыксон В. М.</b> Технология анализа исходного кода программного обеспечения и частичных спецификаций для автоматизированной генерации тестов	2	99
<b>Анисимов Д. А.</b> см. Гридин В. Н.		
<b>Анкудинов А. В.</b> см. Недорезов Д. А.		
<b>Белоусов В. В.</b> см. Сеницын И. Н.		
<b>Белоусов В. В.</b> см. Сеницын И. Н.		
<b>Белоусов В. В.</b> см. Сеницын И. Н.		
<b>Бирюкова Т. К.</b> см. Гершкович М. М.		
<b>Бобков С. Г.</b> см. Соколов И. А.		
<b>Богданова Д. А., Федосеев А. А.</b> К вопросу о логистике внедрения и использования мобильных электронных учебников	3	218
<b>Бондаренко О. А., Волович К. И., Кондрашев В. А.</b> Мониторинг информационной безопасности как облачный сервис	3	169
<b>Бородина А. В., Морозов Е. В.</b> Оценивание эффективной пропускной способности узла в инфокоммуникационной тандемной сети	2	37
<b>Буроменский Н. Г.</b> см. Зацаринный А. А.		
<b>Быстров И. И., Веселов В. Н., Радоманов С. И.</b> Онтология поддержки непрерывности ИТ-услуг в информационно-телекоммуникационных системах	4	221
<b>Веровкин Г. Ф.</b> см. Лукьянов Г. В.		
<b>Веровкин Г. Ф.</b> см. Лукьянов Г. В.		

<b>Веселов В. Н.</b> см. Быстров И. И.		
<b>Вихрев В. В.</b> О механизме реализации коэволюционной модели жизненного цикла разработки компьютерных программ для обучения	4	168
<b>Вихрев В. В., Христочевская А. С., Христочевский С. А.</b> О новой концепции информатизации образования	4	157
<b>Вовченко А. Е.</b> см. Скворцов Н. А.		
<b>Вовченко А. Е.</b> см. Ступников С. А.		
<b>Волков О. И.</b> см. Адамович И. М.		
<b>Волович К. И.</b> см. Бондаренко О. А.		
<b>Воронов Р. В., Малодушев С. В.</b> Динамическое создание карт уровня WiFi-сигналов для систем локального позиционирования	1	80
<b>Вышиванов М. А., Гмарь Д. В., Крюков В. В., Нагорняк К. С., Шахгельдян К. И.</b> Внедрение и использование в университете технологии виртуализации рабочих мест	1	193
<b>Гай М. А.</b> см. Гурьев Д. К.		
<b>Гаранин А. И.</b> см. Зацаринный А. А.		
<b>Гаранин А. И.</b> см. Зацаринный А. А.		
<b>Гершкович М. М., Бирюкова Т. К.</b> Задачи идентификации информационных объектов в распределенных массивах данных	1	224
<b>Гмарь Д. В.</b> см. Вышиванов М. А.		
<b>Горшенин А. К.</b> Информационная технология исследования тонкой структуры хаотических процессов в плазме с помощью анализа спектров	1	116
<b>Горшенин А. К., Замковец С. В., Захаров В. Н.</b> Параллелизм в микропроцессорах	1	46
<b>Гридин В. Н., Дмитриевич Г. Д., Анисимов Д. А.</b> Методика построения веб-сервисов распределенных платформенно-независимых систем автоматизированного проектирования	1	213
<b>Грушо А. А., Грушо Н. А., Тимонина Е. Е., Шоргин С. Я.</b> Безопасные архитектуры распределенных систем	3	18
<b>Грушо Н. А.</b> Скрытые каналы в беспроводных сетях стандарта 802.11	3	32
<b>Грушо Н. А.</b> см. Грушо А. А.		
<b>Гумникова Т. С.</b> см. Сеницын И. Н.		
<b>Гурьев Д. К., Гай М. А., Иткин И. Л., Терентьев А. А.</b> Создание высокопроизводительного генератора нагрузки для проверки систем высокочастотной торговли	2	67
<b>Дмитриевич Г. Д.</b> см. Гридин В. Н.		
<b>Дулин С. К., Дулина Н. Г., Никишин Д. А.</b> О проблемах реализации семантической геоинтероперабельности в Semantic Web	2	143

	№	Стр.
<b>Дулин С. К., Розенберг И. Н., Уманский В. И.</b> Автоматизированная система разработки и контроля оперативного графика движения поездов в период предоставления «окон» (АС ОГДПО)	1	93
<b>Дулина Н. Г.</b> см. Дулин С. К.		
<b>Дьяченко Ю. Г.</b> см. Соколов И. А.		
<b>Дьяченко Ю. Г.</b> см. Степченков Ю. А.		
<b>Егоров В. Б.</b> Современные тенденции в развитии архитектур интегрированных сетевых процессоров	3	78
<b>Заикин М. Ю., Обухова О. Л., Соловьев И. В.</b> Библиографическая информационно-аналитическая система ИПИ РАН	1	244
<b>Замковец С. В.</b> см. Горшенин А. К.		
<b>Захаров В. Н.</b> см. Горшенин А. К.		
<b>Захарова Т. В.</b> см. Хазиахметов М. Ш.		
<b>Зацаринный А. А., Буроменский Н. Г., Гаранин А. И.</b> Метод формирования системы показателей живучести информационно-телекоммуникационных сетей	1	138
<b>Зацаринный А. А., Ионенков Ю. С.</b> Особенности разработки документации для автоматизированных информационных систем в защищенном исполнении	3	156
<b>Зацаринный А. А., Киселев Э. В.</b> Некоторые подходы к формированию нормативно-технической базы для создания единого информационного пространства России	4	206
<b>Зацаринный А. А., Козлов С. В., Гаранин А. И.</b> Особенности формирования номенклатуры и количества компонентов ЗИП в автоматизированных информационных системах в защищенном исполнении	3	144
<b>Земсков Д. В.</b> см. Адамович И. М.		
<b>Ильин А. В., Ильин В. Д.</b> Информатизация нормализованного экономического механизма: электронные сервисы планирования ресурсов	4	242
<b>Ильин А. В., Ильин В. Д.</b> Систематизация знаний о программируемых задачах	3	192
<b>Ильин В. Д.</b> см. Ильин А. В.		
<b>Ильин В. Д.</b> см. Ильин А. В.		
<b>Илюшин Г. Я., Лиманский В. И.</b> Вопросы выбора медицинской информационной системы и облачные технологии	1	180
<b>Илюшин Г. Я., Лиманский В. И.</b> Методы интеграции облачных сервисов на примере здравоохранения	2	205
<b>Ионенков Ю. С.</b> см. Зацаринный А. А.		
<b>Иткин И. Л.</b> см. Алексеенко А. Н.		
<b>Иткин И. Л.</b> см. Гурьев Д. К.		

<b>Ицкyson В. М.</b> см. Андрианова А. А.		
<b>Калиниченко Л. А.</b> см. Скворцов Н. А.		
<b>Кириков И. А., Колесников А. В., Румовская С. Б.</b> Исследование лабораторного прототипа искусственной гетерогенной системы для диагностики артериальной гипертензии	3	121
<b>Кириков И. А., Колесников А. В., Румовская С. Б.</b> Функциональная гибридная интеллектуальная система для поддержки принятия решений при диагностике артериальной гипертензии	1	153
<b>Киселев Э. В.</b> см. Зацаринный А. А.		
<b>Киселёв Е. А.</b> см. Аладышев О. С.		
<b>Ковалев Д. Ю.</b> см. Скворцов Н. А.		
<b>Козеренко Е. Б.</b> см. Морозова Ю. И.		
<b>Козлов С. В.</b> см. Зацаринный А. А.		
<b>Колесников А. В.</b> см. Кириков И. А.		
<b>Колесников А. В.</b> см. Кириков И. А.		
<b>Кондрашев В. А.</b> см. Бондаренко О. А.		
<b>Коновалов М. Г.</b> Построение имитационной модели для решения задач планирования вычислительных ресурсов	4	45
<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>Королев В. Ю., Корчагин А. Ю., Соколов И. А., Черток А. В.</b> О работах в области моделирования информационных потоков в современных высокочастотных финансовых приложениях	4	63
<b>Королёв С. П.</b> см. Сорокин А. А.		
<b>Корчагин А. Ю.</b> см. Королев В. Ю.		
<b>Косарик В. В.</b> см. Лукьянов Г. В.		
<b>Красненко С. С.</b> см. Недорезов Д. А.		
<b>Крюков В. В.</b> см. Вышиванов М. А.		
<b>Кульберг Н. С.</b> см. Яковлева Т. В.		
<b>Куров Б. Н.</b> Применение веб-ресурсов системы знаний информатики СИНФ в учебном процессе	2	222
<b>Левыкин М. В., Троненко М. И., Шидловский-Москвин И. В.</b> Метод распространения с помощью атаки «человек посередине» в протоколе DNS	4	100
<b>Легалов А. И.</b> см. Недорезов Д. А.		
<b>Лиманский В. И.</b> см. Илюшин Г. Я.		
<b>Лиманский В. И.</b> см. Илюшин Г. Я.		
<b>Лукьянов Г. В., Никишин Д. А., Веревкин Г. Ф.</b> Информационное обеспечение мониторинга национальной безопасности в региональном разрезе	2	193

	№	Стр.
<b>Лукьянов Г. В., Никишин Д. А., Вережкин Г. Ф., Косарик В. В.</b> Специфика показателей национальной безопасности в контексте ее информационного мониторинга	4	186
<b>Малахов Д. В.</b> см. Черноусов А. Д.		
<b>Малодушев С. В.</b> см. Воронов Р. В.		
<b>Морозов Е. В.</b> см. Бородина А. В.		
<b>Морозов Н. В.</b> см. Петрухин В. С.		
<b>Морозов Н. В.</b> см. Степченков Ю. А.		
<b>Морозова Ю. И., Козеренко Е. Б., Шарнин М. М.</b> Методика извлечения пословных переводных соответствий из параллель- ных текстов с применением моделей дистрибутивной семантики	2	131
<b>Нагорняк К. С.</b> см. Вышиванов М. А.		
<b>Недорезов Д. А., Легалов А. И., Непомнящий О. В., Краснен- ко С. С., Анкудинов А. В.</b> Методология мутационного тести- рования для наземных испытаний бортовой аппаратуры косми- ческих аппаратов	1	73
<b>Непомнящий О. В.</b> см. Недорезов Д. А.		
<b>Никишин Д. А.</b> см. Дулин С. К.		
<b>Никишин Д. А.</b> см. Лукьянов Г. В.		
<b>Никишин Д. А.</b> см. Лукьянов Г. В.		
<b>Обухова О. Л.</b> см. Заикин М. Ю.		
<b>Петрухин В. С., Степченков Д. Ю., Морозов Н. В., Степчен- ков Ю. А.</b> Инструменты для системной верификации рекур- рентного обработчика сигналов	2	55
<b>Проценко П. А.</b> см. Алексеенко А. Н.		
<b>Радоманов С. И.</b> см. Быстров И. И.		
<b>Рацеев С. М.</b> О теоретически стойких шифрах	1	61
<b>Рождественскене А. В.</b> см. Степченков Ю. А.		
<b>Рождественский Ю. В.</b> см. Соколов И. А.		
<b>Рождественский Ю. В.</b> см. Степченков Ю. А.		
<b>Розенберг И. Н.</b> см. Дулин С. К.		
<b>Румовская С. Б.</b> см. Кириков И. А.		
<b>Румовская С. Б.</b> см. Кириков И. А.		
<b>Савин Г. И.</b> см. Аладышев О. С.		
<b>Сергеев И. В.</b> см. Сеницын И. Н.		
<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 И. Н., Сергеев И. В., Сеницын В. И., Корепан- нов Э. Р., Белоусов В. В.</b> Математическое обеспечение пара- метрического моделирования распределений в интегродиффе- ренциальных стохастических системах	1	4

	№	Стр.
<b>Синицын И. Н., Синицын В. И., Сергеев И. В., Корепанов Э. Р., Белоусов В. В., Шоргин В. С.</b> Математическое обеспечение аналитического моделирования стохастических систем со сложными нелинейностями	3	4
<b>Синицын И. Н., Шаламов А. С., Сергеев И. В., Корепанов Э. Р., Белоусов В. В., Гумникова Т. С., Шоргин В. С., Агафонов Е. С.</b> Методы и средства оптимального планирования параметров процессов в системах послепродажного обслуживания изделий наукоемкой продукции	2	4
<b>Скворцов Н. А., Вовченко А. Е., Калиниченко Л. А., Ковалев Д. Ю., Ступников С. А.</b> Модель метаданных для семантического поиска реализаций потоков работ, выраженных в виде правил	4	4
<b>Скворцова Н. Н.</b> см. Черноусов А. Д.		
<b>Соколов И. А.</b> см. Королев В. Ю.		
<b>Соколов И. А., Степченков Ю. А., Бобков С. Г., Рождественский Ю. В., Дьяченко Ю. Г.</b> Умножитель с накоплением: методологические аспекты	3	44
<b>Соловьев И. В.</b> см. Заикин М. Ю.		
<b>Сомин Н. В., Шарнин М. М.</b> Использование хеш-функций для повышения скорости морфологического анализа русских текстов	3	204
<b>Сорокин А. А., Тарасов А. Г., Королёв С. П.</b> Автоматизированная информационная система комплексного мониторинга телекоммуникационной сети	3	176
<b>Стенина М. М., Стрижов В. В.</b> Согласование агрегированных и детализированных прогнозов при решении задач непараметрического прогнозирования	2	23
<b>Степченков Д. Ю.</b> см. Петрухин В. С.		
<b>Степченков Д. Ю.</b> см. Степченков Ю. А.		
<b>Степченков Ю. А.</b> см. Петрухин В. С.		
<b>Степченков Ю. А.</b> см. Соколов И. А.		
<b>Степченков Ю. А., Дьяченко Ю. Г., Рождественский Ю. В., Морозов Н. В., Степченков Д. Ю., Рождественскене А. В., Сурков А. В.</b> Самосинхронный умножитель с накоплением: практическая реализация	3	63
<b>Стрижов В. В.</b> см. Стенина М. М.		
<b>Ступников С. А.</b> см. Скворцов Н. А.		
<b>Ступников С. А., Вовченко А. Е.</b> Методы построения отображений коллекций, представленных в нетрадиционных моделях данных, в интегрированное представление	4	29
<b>Сурков А. В.</b> см. Степченков Ю. А.		

	№	Стр.
<b>Сучков А. П.</b> Аналитические аспекты мультиагентных распределенных систем управления	2	166
<b>Тарасов А. Г.</b> см. Сорокин А. А.		
<b>Телегин П. Н.</b> см. Аладышев О. С.		
<b>Терентьев А. А.</b> см. Гурьев Д. К.		
<b>Тимонина Е. Е.</b> см. Грушо А. А.		
<b>Трифанов В. Ю.</b> см. Цителов Д. И.		
<b>Троненко М. И.</b> см. Левыкин М. В.		
<b>Уманский В. И.</b> см. Дулин С. К.		
<b>Федосеев А. А.</b> см. Богданова Д. А.		
<b>Хазиахметов М. Ш.</b> Свойства оконной дисперсии миограммы как случайного процесса	3	110
<b>Хазиахметов М. Ш., Захарова Т. В., Шестаков О. В.</b> Свойства приращений оконной дисперсии миограммы как случайного процесса	4	86
<b>Христочевская А. С.</b> см. Вихрев В. В.		
<b>Христочевский С. А.</b> см. Вихрев В. В.		
<b>Цителов Д. И., Трифанов В. Ю.</b> Обнаружение гонок в Java-программах с применением синхронизационных контрактов	2	114
<b>Черноусов А. Д., Малахов Д. В., Скворцова Н. Н.</b> Алгоритм и программный комплекс для анализа характеристик акустических волн плазменного актуатора, встроенного в модельное сопло самолета	1	128
<b>Черток А. В.</b> см. Королев В. Ю.		
<b>Шабанов Б. М.</b> см. Аладышев О. С.		
<b>Шаламов А. С.</b> см. Сеницын И. Н.		
<b>Шарнин М. М.</b> см. Морозова Ю. И.		
<b>Шарнин М. М.</b> см. Сомин Н. В.		
<b>Шаров Д. С.</b> см. Алексеенко А. Н.		
<b>Шахгельдян К. И.</b> см. Вышиванов М. А.		
<b>Шестаков О. В.</b> Хазиахметов М. Ш.		
<b>Шидловский-Москвин И. В.</b> см. Левыкин М. В.		
<b>Шмейлин Б. З.</b> Методы оптимизации систем поддержания когерентности на основе наблюдения	4	135
<b>Шоргин В. С.</b> см. Сеницын И. Н.		
<b>Шоргин В. С.</b> см. Сеницын И. Н.		
<b>Шоргин С. Я.</b> см. Грушо А. А.		
<b>Яковлева Т. В., Кульберг Н. С.</b> Двухпараметрический анализ магнитно-резонансного изображения методом максимума правдоподобия в сравнении с однопараметрическим приближением	3	92

---

## 2014 AUTHOR INDEX

---

	No.	Page
<b>Adamovich I. M. and Volkov O. I.</b> The Technology of Internet Search as a Part of Biographic Investigation	2	178
<b>Adamovich I. M. and Zemskov D. V.</b> Adjustable Variable-Length Character Encoding Scheme — ACE	4	124
<b>Agafonov E. S.</b> see Sinitsyn I. N.		
<b>Aladyshev O. S., Kiselev E. A., Savin G. I., Telegin P. N., and Shabanov B. M.</b> Influence of External Memory Features of Supercomputers on Parallel Programs Execution	4	111
<b>Alexeenko A. N., Averina A. A., Sharov D. S., Protsenko P. A., and Itkin I. L.</b> Usage of Passive Testing Tools for Certification of Trading Systems Clients	2	83
<b>Andrianova A. A. and Itsykson V. M.</b> Source Code and Partial Specifications Analysis for Automated Generation of Unit Tests	2	99
<b>Anisimov D. A.</b> see Gridin V. N.		
<b>Ankudinov A. V.</b> see Nedorezov D. A.		
<b>Averina A. A.</b> see Alexeenko A. N.		
<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>Birukova T. K.</b> see Gershkovich M. M.		
<b>Bobkov S. G.</b> see Sokolov I. A.		
<b>Bogdanova D. A. and Fedoseev A. A.</b> On Logistics of Mobile Electronic Textbooks Implementation and Use	3	218
<b>Bondarenko O. A., Volovich K. I., and Kondrashev V. A.</b> Monitoring of Information Security as a Cloud Service	3	169
<b>Borodina A. V. and Morozov E. V.</b> Estimation of the Effective Bandwidth of a Node in an Info-Communication Tandem Network	2	37
<b>Buromensky N. G.</b> see Zatsarinny A. A.		
<b>Bystrov I. I., Radomanov S. I., and Veselov V. N.</b> Ontology Support of Continuity of IT-Services in Information and Telecommunications Systems	4	221
<b>Chernousov A. D., Malakhov D. V., and Skvortsova N. N.</b> Algorithm and Program Complex for Analysis of the Characteristics of Acoustic Waves of Plasma Actuator Flush-Mounted in the Model Plane Nozzle	1	128
<b>Chertok A. V.</b> see Korolev V. Yu.		
<b>Christochevskaya A. S.</b> see Vikhrev V. V.		
<b>Christochevsky S. A.</b> see Vikhrev V. V.		



	<b>No.</b>	<b>Page</b>
<b>Diachenko Y. G.</b> see Sokolov I. A.		
<b>Diachenko Y. G.</b> see Stepchenkov Y.		
<b>Dmitrevich G. D.</b> see Gridin V. N.		
<b>Dulin S. K., Dulina N. G., and Nikishin D. A.</b> About Problems of Implementation of Semantic Geointeroperability in Semantic WEB	2	143
<b>Dulin S. K., Rozenberg I. N., and Umanskiy V. I.</b> Automated System Development and Control of Operational Train Schedule During “Free Zones”	1	93
<b>Dulina N. G.</b> see Dulin S. K.		
<b>Egorov V. B.</b> Modern Trends in Evolution of Integrated Network Processor Architectures	3	78
<b>Fedoseev A. A.</b> see Bogdanova D. A.		
<b>Gai M. A.</b> see Guriev D. K.		
<b>Garanin A. I.</b> see Zatsarinny A. A.		
<b>Garanin A. I.</b> see Zatsarinny A. A.		
<b>Gershkovich M. M. and Birukova T. K.</b> The Tasks of Identification of Informational Objects in Area-Spread Data Arrays	1	224
<b>Gmar D. V.</b> see Vyshivanov M. A.		
<b>Gorshenin A. K.</b> Information Technology to Research the Fine Structure of Chaotic Processes in Plasma by the Analysis of Spectra	1	116
<b>Gorshenin A. K., Zamkovets S. V., and Zakharov V. N.</b> Parallelism in Microprocessors	1	45
<b>Gridin V. N., Dmitrevich G. D., and Anisimov D. A.</b> Methodology of Construction of Web Services of Distributed Platform-Independent Computer-Aided Design	1	213
<b>Grusho A. A., Grusho N. A., Timonina E. E., and Shorgin S. Ya.</b> Secure Architecture of Distributed Systems	3	18
<b>Grusho N. A.</b> Covert Channels on the Wireless Networks of the Standard 802.11	3	32
<b>Grusho N. A.</b> see Grusho A. A.		
<b>Gumnikova T. S.</b> see Sinitsyn I. N.		
<b>Guriev D. K., Gai M. A., Itkin I. L., and Terentiev A. A.</b> High Performance Load Generator for High-Frequency Trading Systems Verification	2	67
<b>Ilyin A. V. and Ilyin V. D.</b> Informatization of the Normalized Economic Mechanism: E-Services for Resource Planning	4	242
<b>Ilyin A. V. and Ilyin V. D.</b> Systematization of Knowledge About Programmable Tasks	3	192
<b>Ilyin V. D.</b> see Ilyin A. V.		
<b>Ilyin V. D.</b> see Ilyin A. V.		

	<b>No.</b>	<b>Page</b>
<b>Ilyushin G. Y. and Limansky V. I.</b> Methods of Cloud Service Integration by the Example of Healthcare	2	205
<b>Ilyushin G. Y. and Limansky V. I.</b> Questions of Choosing a Medical Information System and Cloud Technologies	1	180
<b>Ionenkov Y. S.</b> see Zatsarinny A. A.		
<b>Itkin I. L.</b> see Alexeenko A. N.		
<b>Itkin I. L.</b> see Guriev D. K.		
<b>Itsykson V. M.</b> see Andrianova A. A.		
<b>Kalinichenko L. A.</b> see Skvortsov N. A.		
<b>Khaziakhmetov M. Sh.</b> Properties of Window Dispersion of Myogram as a Stochastic Process	3	110
<b>Khaziakhmetov M. Sh., Zakharova T. V., and Shestakov O. V.</b> Properties of Window Dispersion Increments of a Myogram as a Stochastic Process	4	86
<b>Kirikov I. A., Kolesnikov A. V., and Rumovskaya S. B.</b> Experimental Research of Laboratory Prototype of an Artificial Heterogeneous System for Diagnosis of Arterial Hypertension	3	121
<b>Kirikov I. A., Kolesnikov A. V., and Rumovskaya S. B.</b> Functional Hybrid Intelligent Decision Support System for Diagnostics of Arterial Hypertension	1	153
<b>Kiselev E. A.</b> see Aladyshev O. S.		
<b>Kiselev E. V.</b> see Zatsarinny A. A.		
<b>Kolesnikov A. V.</b> see Kirikov I. A.		
<b>Kolesnikov A. V.</b> see Kirikov I. A.		
<b>Kondrashev V. A.</b> see Bondarenko O. A.		
<b>Konovalov M. G.</b> Building a Simulation Model for Solving Scheduling Problems of Computing Resources	4	45
<b>Korchagin A. Yu.</b> see Korolev V. Yu.		
<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>Korolev S. P.</b> see Sorokin A. A.		
<b>Korolev V. Yu., Korchagin A. Yu., Sokolov I. A., and Chertok A. V.</b> Recent Works in the Field of Modeling Information Flows in Contemporary High-Frequency Financial Applications	4	63
<b>Kosarik V. V.</b> see Lukyanov G. V.		
<b>Kovalev D. Yu.</b> see Skvortsov N. A.		
<b>Kozerenko E. B.</b> see Morozova Yu. I.		
<b>Kozlov S. V.</b> see Zatsarinny A. A.		
<b>Krasnenko S. S.</b> see Nedorezov D. A.		
<b>Kryukov V. V.</b> see Vyshivanov M. A.		
<b>Kulberg N. S.</b> see Yakovleva T. V.		

	<b>No.</b>	<b>Page</b>
<b>Kurov B. N.</b> Application of Web Resources of the Informatics Knowledge System SINF in Educational Process	2	222
<b>Legalov A. I.</b> see Nedorezov D. A.		
<b>Levykin M. V., Tronenko M. I., and Shidlovsky-Moskvin I. V.</b> The Propagation Method by Means of an Attack of the “Man-in-the-Middle” Type in the DHCP Protocol	4	100
<b>Limansky V. I.</b> see Ilyushin G. Y.		
<b>Limansky V. I.</b> see Ilyushin G. Y.		
<b>Lukyanov G. V., Nikishin D. A., and Verevkin G. F.</b> Communicatory Provisions for Monitoring of National Security from the Regional Point of View	2	193
<b>Lukyanov G. V., Nikishin D. A., Verevkin G. F., and Kosarik V. V.</b> Characteristics of National Security Indicators in the Context of Its Information Monitoring	4	186
<b>Malakhov D. V.</b> see Chernousov A. D.		
<b>Malodushev S. V.</b> see Voronov R. V.		
<b>Morozov E. V.</b> see Borodina A. V.		
<b>Morozov N. V.</b> see Petrukhin V. S.		
<b>Morozov N. V.</b> see Stepchenkov Y. A.		
<b>Morozova Yu. I., Kozerenko E. B., and Sharnin M. M.</b> Method for Extracting Single-Word Translation Correspondences from Parallel Texts Using Distributional Semantics Models	2	131
<b>Nagorniak K. S.</b> see Vyshivanov M. A.		
<b>Nedorezov D. A., Legalov A. I., Nepomnjashhij O. V., Krasnenko S. S., and Ankudinov A. V.</b> Mutation Test Methodology for Onboard Spacecrafts Radioelectronic Equipment Ground Test	1	73
<b>Nepomnjashhij O. V.</b> see Nedorezov D. A.		
<b>Nikishin D. A.</b> see Dulin S. K.		
<b>Nikishin D. A.</b> see Lukyanov G. V.		
<b>Nikishin D. A.</b> see Lukyanov G. V.		
<b>Obuhova O. L.</b> see Zaikin M. Yu.		
<b>Petrukhin V. S., Stepchenkov D. Y., Morozov N. V., and Stepchenkov Y. A.</b> System Verification Tools for Recurrent Signal Processor	2	55
<b>Protsenko P. A.</b> see Alexeenko A. N.		
<b>Radomanov S. I.</b> see Bystrov I. I.		
<b>Ratseev S. M.</b> On Theoretically Perfect Ciphers	1	61
<b>Rogtestvenskene A. V.</b> see Stepchenkov Y. A.		
<b>Rogtestvenski Y. V.</b> see Sokolov I. A.		
<b>Rogtestvenski Y. V.</b> see Stepchenkov Y. A.		
<b>Rozenberg I. N.</b> see Dulin S. K.		
<b>Rumovskaya S. B.</b> see Kirikov I. A.		

<b>Rumovskaya S. B.</b> see Kirikov I. A.		
<b>Savin G. I.</b> see Aladyshev O. S.		
<b>Sergeev I. V.</b> see Sinitsyn I. N.		
<b>Sergeev I. V.</b> see Sinitsyn I. N.		
<b>Sergeev I. V.</b> see Sinitsyn I. N.		
<b>Shabanov B. M.</b> see Aladyshev O. S.		
<b>Shakhgeldyan C. I.</b> see Vyshivanov M. A.		
<b>Shalamov A. S.</b> see Sinitsyn I. N.		
<b>Sharnin M. M.</b> see Morozova Yu. I.		
<b>Sharnin M. M.</b> see Somin N. V.		
<b>Sharov D. S.</b> see Alexeenko A. N.		
<b>Shestakov O. V.</b> see Khaziakhmetov M. Sh.		
<b>Shidlovsky-Moskvin I. V.</b> see Levykin M. V.		
<b>Shmeilin B. Z.</b> Methods of Optimization of Snooping Cache Coherence Systems	4	135
<b>Shorgin S. Ya.</b> see Grusho A. A.		
<b>Shorgin V. S.</b> see Sinitsyn I. N.		
<b>Shorgin V. S.</b> see Sinitsyn I. N.		
<b>Sinitsyn I. N., Sergeev I. V., Sinitsyn V. I., Korepanov E. R., and Belousov V. V.</b> Distributions Parametrical Modeling Software for Integrodifferential Stochastic Systems	1	3
<b>Sinitsyn I. N., Shalamov A. S., Sergeev I. V., Korepanov E. R., Belousov V. V., Gumnikova T. S., Shorgin V. S., and Agafonov E. S.</b> Methods and Tools for Optimal Planning of Process Parameters in Aftersale Service Systems of High Technology Products	2	4
<b>Sinitsyn I. N., Sinitsyn V. I., Sergeev I. V., Korepanov E. R., Belousov V. V., and Shorgin V. S.</b> Mathematical Software Tools for Analytical Modeling in Stochastic Systems with Complex Nonlinearities	3	4
<b>Sinitsyn V. I.</b> see Sinitsyn I. N.		
<b>Sinitsyn V. I.</b> see Sinitsyn I. N.		
<b>Skvortsov N. A., Vovchenko A. E., Kalinichenko L. A., Kovaliev D. Yu., and Stupnikov S. A.</b> A Metadata Model for Semantic Search of Rule-Based Workflow Implementations	4	4
<b>Skvortsova N. N.</b> see Chernousov A. D.		
<b>Sokolov I. A.</b> see Korolev V. Yu.		
<b>Sokolov I. A., Stepchenkov Y. A., Bobkov S. G., Rogtestvenski Y. V., and Diachenko Y. G.</b> Fused Multiply-Add: Methodological Aspects	3	44
<b>Soloviev I. V.</b> see Zaikin M. Yu.		

	<b>No.</b>	<b>Page</b>
<b>Somin N. V. and Sharnin M. M.</b> Using Hash Function for Increasing Speed of Work of the Software for Morphological Analysis of Russian Texts	3	204
<b>Sorokin A. A., Tarasov A. G., and Korolev S. P.</b> Automated Information System for Telecommunication Network Complex Monitoring	3	176
<b>Stenina M. M. and Strijov V. V.</b> Reconciliation of Aggregated and Disaggregated Time Series Forecasts in Nonparametric Forecasting Problems	2	23
<b>Stepchenkov D. Y.</b> see Petrukhin V. S.		
<b>Stepchenkov D. Y.</b> see Stepchenkov Y. A.		
<b>Stepchenkov Y. A.</b> see Petrukhin V. S.		
<b>Stepchenkov Y. A.</b> see Sokolov I. A.		
<b>Stepchenkov Y. A., Diachenko Y. G., Rogtestvenski Y. V., Morozov N. V., Stepchenkov D. Y., Rogtestvenskene A. V., and Surkov A. V.</b> Self-Timed Fused Multiply-Add Unit: Practical Implementation	3	63
<b>Strijov V. V.</b> see Stenina M. M.		
<b>Stupnikov S. A.</b> see Skvortsov N. A.		
<b>Stupnikov S. A. and Vovchenko A. E.</b> Methods for Mapping of Collections Presented in Nontraditional Data Models into the Integrated Representation	4	29
<b>Suchkov A. P.</b> Analytical Aspects of Multiagent Distributed Control Systems	2	166
<b>Surkov A. V.</b> see Stepchenkov Y. A.		
<b>Tarasov A. G.</b> see Sorokin A. A.		
<b>Telegin P. N.</b> see Aladyshev O. S.		
<b>Terentiev A. A.</b> see Guriev D. K.		
<b>Timonina E. E.</b> see Grusho A. A.		
<b>Trifanov V. Yu.</b> see Tsitelov D. I.		
<b>Tronenko M. I.</b> see Levykin M. V.		
<b>Tsitelov D. I. and Trifanov V. Yu.</b> Data Race Detection in Java Programs Using Synchronization Contracts	2	114
<b>Umanskiy V. I.</b> see Dulin S. K.		
<b>Verevkin G. F.</b> see Lukyanov G. V.		
<b>Verevkin G. F.</b> see Lukyanov G. V.		
<b>Veselov V. N.</b> see Bystrov I. I.		
<b>Vikhrev V. V.</b> On the Mechanism of Implementation of Coevolutionary Model of the Development Life Cycle of Computer Programs for Learning	4	168
<b>Vikhrev V. V., Christochevskaya A. S., and Christochevsky S. A.</b> To a New Concept of Informatization of Education	4	157

	<b>No.</b>	<b>Page</b>
<b>Volkov O. I.</b> see Adamovich I. M.		
<b>Volovich K. I.</b> see Bondarenko O. A.		
<b>Voronov R. V. and Malodushev S. V.</b> Dynamic Creation of WiFi-Signal Level Maps for Location Systems	1	80
<b>Vovchenko A. E.</b> see Skvortsov N. A.		
<b>Vovchenko A. E.</b> see Stupnikov S. A.		
<b>Vyshivanov M. A., Gmar D. V., Kryukov V. V., Nagorniak K. S., and Shakhgeldyan C. I.</b> Deployment and Usage of Desktop Virtualization at University	1	193
<b>Yakovleva T. V. and Kulberg N. S.</b> Two-Parametric Analysis of Magnetic-Resonance Images by the Maximum Likelihood Technique in Comparison with the One-Parametric Approximation	3	92
<b>Zaikin M. Yu., Obuhova O. L., and Soloviev I. V.</b> Bibliographic Information-Analytical System of IPI RAS	1	244
<b>Zakharov V. N.</b> see Gorshenin A. K.		
<b>Zakharova T. V.</b> see Khaziakhmetov M. Sh.		
<b>Zamkovets S. V.</b> see Gorshenin A. K.		
<b>Zatsarinny A. A., Buromensky N. G., and Garanin A. I.</b> Method of Forming the System of Indicators of Information and Telecommunication Systems Vitality	1	138
<b>Zatsarinny A. A. and Ionenkov Y. S.</b> The Peculiar Properties of Documentation Development for Secured Automated Information Systems	3	156
<b>Zatsarinny A. A. and Kiselev E. V.</b> Some Approaches to Forming Regulatory and Technical Base for Creation of Unified Information Space of Russia	4	206
<b>Zatsarinny A. A., Kozlov S. V., and Garanin A. I.</b> The Peculiarities of Nomenclature and Spare Components Quantity Composition for Secured Automated Information Systems	3	144
<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 не должна нарушать закон об авторских правах.

Направляя рукопись в редакцию, авторы сохраняют все права собственников данной рукописи и при этом передают учредителям и редколлегии неисключительные права на издание статьи на русском языке (или на языке статьи, если он отличен от русского) и на ее распространение в России и за рубежом. Авторы должны предоставить в редакцию письмо в следующей форме:

**Соглашение о передаче права на публикацию:**

*«Мы, нижеподписавшиеся, авторы рукописи «. . .», передаем учредителям и редколлегии журнала «Системы и средства информатики» неисключительное право опубликовать данную рукопись статьи на русском языке как в печатной, так и в электронной версиях журнала. Мы подтверждаем, что данная публикация не нарушает авторских прав других лиц или организаций.*

*Подписи авторов: (ф. и. о., дата, адрес)».*

Это соглашение может быть предоставлено в бумажном виде или в виде отсканированной копии (с подписями авторов).

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 выше 20 страниц указанного формата.

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.

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 kompaktnyy 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 Publ. 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, ИПИ 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 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 secret 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 20 pages of the specified format.

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.
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 slovaryia 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:**

IPI RAN, 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 (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 24 No.4 Year 2014**

**Editor-in-Chief and Chair of Editorial Council**  
Academician I. A. Sokolov

## IN THIS ISSUE:

A METADATA MODEL FOR SEMANTIC SEARCH OF RULE-BASED WORKFLOW IMPLEMENTATIONS <b>N. A. Skvortsov, A. E. Vovchenko, L. A. Kalinichenko, D. Yu. Kovalev, and S. A. Stupnikov</b>	4
METHODS FOR MAPPING OF COLLECTIONS PRESENTED IN NONTRADITIONAL DATA MODELS INTO THE INTEGRATED REPRESENTATION <b>S. A. Stupnikov and A. E. Vovchenko</b>	29
BUILDING A SIMULATION MODEL FOR SOLVING SCHEDULING PROBLEMS OF COMPUTING RESOURCES <b>M. G. Konovalov</b>	45
RECENT WORKS IN THE FIELD OF MODELING INFORMATION FLOWS IN CONTEMPORARY HIGH-FREQUENCY FINANCIAL APPLICATIONS <b>V. Yu. Korolev, A. Yu. Korchagin, I. A. Sokolov, and A. V. Chertok</b>	63
PROPERTIES OF WINDOW DISPERSION INCREMENTS OF A MYOGRAM AS A STOCHASTIC PROCESS <b>M. Sh. Khaziakhmetov, T. V. Zakharova, and O. V. Shestakov</b>	86
THE PROPAGATION METHOD BY MEANS OF AN ATTACK OF THE "MAN-IN-THE-MIDDLE" TYPE IN THE DHCP PROTOCOL <b>M. V. Levykin, M. I. Tronenko, and I. V. Shidlovsky-Moskvin</b>	100
INFLUENCE OF EXTERNAL MEMORY FEATURES OF SUPERCOMPUTERS ON PARALLEL PROGRAMS EXECUTION <b>O. S. Aladyshchev, E. A. Kiselev, G. I. Savin, P. N. Telegin, and B. M. Shabanov</b>	111
ADJUSTABLE VARIABLE-LENGTH CHARACTER ENCODING SCHEME — ACE <b>I. M. Adamovich and D. V. Zemskov</b>	124
METHODS OF OPTIMIZATION OF SNOOPING CACHE COHERENCE SYSTEMS <b>B. Z. Shmeilin</b>	135