

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК  
Отделение нанотехнологий и информационных технологий

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ  
ИНСТИТУТ ИНФОРМАТИКИ И АВТОМАТИЗАЦИИ РАН

# ТРУДЫ СПИИРАН

proceedings.spiiras.nw.ru



**ВЫПУСК 4(35)**



Санкт Петербург  
2014

18+

# Труды СПИИРАН

Выпуск № 4(35), 2014

Научный, научно-образовательный, междисциплинарный журнал с базовой специализацией в области информатики, автоматизации и прикладной математики

Журнал основан в 2002 году

## Учредитель и издатель

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации Российской академии наук  
(СПИИРАН)

## Главный редактор

Р.М. Юсупов, чл.-корр. РАН, д-р техн. наук, проф., С-Петербург, РФ

## Редакционная коллегия

**А.А. Ашимов**, академик национальной академии наук Республики Казахстан д-р техн. наук, проф., Алматы, Казахстан  
**С.Н. Баранов**, д-р физ.-мат. наук, проф., С.-Петербург, РФ  
**Н.П. Веселкин**, академик РАН, д-р мед. наук, проф., С.-Петербург, РФ  
**В.И. Городецкий**, д-р техн. наук, проф., С.-Петербург, РФ  
**О.Ю. Гусихин**, Ph.D., Диаборн, США  
**В. Делич**, д-р техн. наук, проф., Нови-Сад, Сербия  
**А.Б. Долгий**, Dr. Habil., проф., Сент-Этьен, Франция  
**М. Железны**, Ph.D., доцент, Пльзень, Чешская республика  
**Д.А. Иванов**, д-р экон. наук, проф., Берлин, Германия  
**О.С. Илатов**, д-р техн. наук, проф., С.-Петербург, РФ  
**В.П. Леонов**, д-р пед. наук, проф., С.-Петербург, РФ  
**Г.А. Леонов**, член-корр. РАН, д-р физ.-мат. наук, С.-Петербург, РФ  
**К.П. Марков**, Ph.D., доцент, Аизу, Япония  
**Ю.А. Меркурьев**, член-корр. Латвийской академии наук, Dr. Habil., проф., Рига, Латвия  
**Н.А. Молдовян**, д-р техн. наук, проф., С.-Петербург, РФ  
**А.А. Петровский**, д-р техн. наук, проф., Минск, Беларусь  
**В.В. Попович**, д-р техн. наук, проф., С.-Петербург, РФ  
**В.А. Путилов**, д-р техн. наук, проф., Апатиты, Россия

**А.Л. Ронжин** (зам. главного редактора), д-р техн. наук, проф., С.-Петербург, РФ  
**А.И. Рудской**, член-корр. РАН, д-р техн. наук, проф., С.-Петербург, РФ  
**В.А. Сарычев**, д-р техн. наук, проф., С.-Петербург, РФ  
**В. Сгурев**, академик Болгарской академии наук, д-р техн. наук, проф., София, Болгария  
**В.А. Скормин**, Ph.D., проф., Бингемптон, США  
**А.В. Смирнов**, д-р техн. наук, проф., С.-Петербург, РФ  
**Б.Я. Советов**, академик РАО, д-р техн. наук, проф., С.-Петербург, РФ  
**В.А. Сойфер**, член-корр. РАН, д-р техн. наук, проф., Самара, РФ  
**Б.В. Соколов**, д-р техн. наук, проф., С.-Петербург, РФ  
**Л.В. Уткин**, д-р техн. наук, проф., С.-Петербург, РФ  
**А.Л. Фрадков**, д-р техн. наук, проф., С.-Петербург, РФ  
**Н.В. Хованов**, д-р физ.-мат. наук, проф., С.-Петербург, РФ  
**Д.С. Черешкин**, д-р техн. наук, проф., Москва, РФ  
**Л.Б. Шереметов**, д-р техн. наук, Мехико, Мексика  
**А.В. Язенин**, д-р техн. наук, профессор, Тверь, РФ

## Адрес редакции

199178, Санкт-Петербург, 14-я линия, д. 39,  
email: [publ@ias.spb.su](mailto:publ@ias.spb.su), сайт: <http://www.proceedings.spiiras.nw.ru/>

Подписано к печати 15.10.2014. Формат 60×90 1/16. Усл. печ. л. 13,2. Заказ № 558. Тираж 200 экз., цена свободная  
Отпечатано в Редакционно-издательском центре ГУАП, 190000, Санкт-Петербург, Б. Морская, д. 67

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи и массовых коммуникаций, свидетельство ПИ № ФС77-41695 от 19 августа 2010 г.  
Подписной индекс 29393 по каталогу «Почта России»

Журнал входит в «Перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертации на соискание ученой степени доктора и кандидата наук»

© Федеральное государственное бюджетное учреждение науки

Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации Российской академии наук, 2014

Разрешается воспроизведение в прессе, а также сообщение в эфир или по кабелю опубликованных в составе печатного периодического издания–журнала «Труды СПИИРАН» статей по текущим экономическим, политическим, социальным и религиозным вопросам с обязательным указанием имени автора статьи и печатного периодического издания–журнала «Труды СПИИРАН»

# SPIIRAS Proceedings

Issue № 4(35), 2014

Scientific, educational, and interdisciplinary journal primarily specialized  
in computer science, automation, and applied mathematics

Trudy SPIIRAN ♦ Founded in 2002 ♦ Труды СПИИРАН

---

## Founder and Publisher

Federal State Budget Institution of Science  
St. Petersburg Institute for Informatics and Automation of the Russian Academy of Sciences  
(SPIIRAS)

---

## Editor-in-Chief

R.M. Yusupov, Prof., Dr. Sci., Corr. Member of RAS, St. Petersburg, Russia

---

## Editorial Board Members

**A.A. Ashimov**, Prof., Dr. Sci., Academician  
of the National Academy of Sciences of the  
Republic of Kazakhstan, Almaty, Kazakhstan  
**S.N. Baranov**, Prof., Dr. Sci., St. Petersburg, Russia  
**N.P. Veselkin**, Prof., Dr. Sci., Academician of RAS,  
St. Petersburg, Russia  
**V.I. Gorodetski**, Prof., Dr. Sci., St. Petersburg, Russia  
**O.Yu. Gusikhin**, Ph. D., Dearborn, USA  
**V. Delic**, Prof., Dr. Sci., Novi Sad, Serbia  
**A. Dolgui**, Prof., Dr. Habil., St. Etienne, France  
**M. Zelezny**, Assoc. Prof., Ph.D., Plzen, Czech  
Republic  
**D.A. Ivanov**, Prof., Dr. Habil., Berlin, Germany  
**O.S. Ipatov**, Prof., Dr. Sci., St. Petersburg, Russia  
**V.P. Leonov**, Prof., Dr. Sci., St. Petersburg, Russia  
**G.A. Leonov**, Prof., Dr. Sci., Corr. Member of RAS,  
St. Petersburg, Russia  
**K.P. Markov**, Assoc. Prof., Ph.D., Aizu, Japan  
**Yu.A. Merkuryev**, Prof., Dr. Habil., Corr. Member  
of the Latvian Academy of Sciences, Riga, Latvia  
**N.A. Moldovian**, Prof., Dr. Sci., St. Petersburg, Russia  
**A.A. Petrovsky**, Prof., Dr. Sci., Minsk, Belarus  
**V.V. Popovich**, Prof., Dr. Sci., St. Petersburg, Russia  
**V.A. Putilov**, Prof., Dr. Sci., Apatity, Russia

**A.L. Ronzhin** (Deputy Editor-in-Chief),  
Prof., Dr. Sci., St. Petersburg, Russia  
**A.I. Rudskoi**, Prof., Dr. Sci., Corr. Member of RAS,  
St. Petersburg, Russia  
**V.A. Saruchev**, Prof., Dr. Sci., St. Petersburg,  
Russia  
**V. Sgurev**, Prof., Dr. Sci., Academician  
of the Bulgarian academy of sciences, Sofia,  
Bulgaria  
**V. Skormin**, Prof., Ph.D., Binghamton, USA  
**A.V. Smirnov**, Prof., Dr. Sci., St. Petersburg, Russia  
**B.Ya. Sovetov**, Prof., Dr. Sci., Academician of RAE,  
St. Petersburg, Russia  
**V.A. Soyfer**, Prof., Dr. Sci., Corr. Member of RAS,  
Samara, Russia  
**B.V. Sokolov**, Prof., Dr. Sci., St. Petersburg, Russia  
**L.V. Utkin**, Prof., Dr. Sci., St. Petersburg, Russia  
**A.L. Fradkov**, Prof., Dr. Sci., St. Petersburg, Russia  
**N.V. Hovanov**, Prof., Dr. Sci., St. Petersburg,  
Russia  
**D.S. Chereshekin**, Prof., Dr. Sci., Moscow, Russia  
**L.B. Sheremetov**, Assoc. Prof., Dr. Sci., Mexico,  
Mexico  
**A.V. Yazenin**, Prof., Dr. Sci. Tver, Russia

---

## Editorial Board's address

14-th line VO, 39, SPIIRAS, St. Petersburg, 199178, Russia,  
email: [publ@iias.spb.su](mailto:publ@iias.spb.su), web: <http://www.proceedings.spiiras.nw.ru/>

---

Signed to print 15.10.2014

Printed in Publishing center GUAP, 67, B. Morskaya, St. Petersburg, 190000, Russia

---

The journal is registered in Russian Federal Agency for Communications and Mass-Media Supervision,  
certificate ПИ № ФС77-41695 dated August 19, 2010 r.

Subscription Index 29393, Russian Post Catalog

© Federal State Budget Institution of Science  
St. Petersburg Institute for Informatics and Automation of the Russian Academy of Sciences, 2014

## СОДЕРЖАНИЕ

Юсупов Р.М., Бакурадзе Д.В. К 90-ЛЕТИЮ ПОНОМАРЕВА ВАЛЕНТИНА МИХАЙЛОВИЧА ОСНОВАТЕЛЯ И ПЕРВОГО ДИРЕКТОРА САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКОГО ИНСТИТУТА ИНФОРМАТИКИ И АВТОМАТИЗАЦИИ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК	5
Иванцов О.В., Саитов И.А. ГРАНИЦЫ МИНИМАЛЬНОГО КОДОВОГО РАССТОЯНИЯ ДЛЯ НЕКОТОРОЙ БЛОКОВОЙ ДЛИНЫ СЕГМЕНТА ДВОИЧНОГО КОДА ЛИНЕЙНОЙ РЕКУРРЕНТНОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ	15
Трегубов Р.Б., Лазарев С.Н., Андреев С.Ю. АЛГОРИТМ НАХОЖДЕНИЯ К МАКСИМАЛЬНЫМ ПОТОКОВ	33
Абалов Н.В., Губарев В.В., Альсова О.К. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ СИНГУЛЯРНОГО СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛИЗА И МОДЕЛЕТЕКИ ПРИ ИДЕНТИФИКАЦИИ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ	49
Смирнов С.В. КОРРЕКТИРОВКА ОШИБОК ОПТИЧЕСКОГО РАСПОЗНАВАНИЯ НА ОСНОВЕ РЕЙТИНГО-РАНГОВОЙ МОДЕЛИ ТЕКСТА	64
Мусаев А.А. АНАЛИЗ ИНЕРЦИОННОСТИ ХАОТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ДЛЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СХЕМЫ БЕЗ СЕГМЕНТАЦИИ	83
Григоров М.С. КЛАССИФИКАЦИЯ ЦИФРОВЫХ СИСТЕМ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО РЕНТГЕНОВСКОГО КОНТРОЛЯ ИЗДЕЛИЙ МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ	94
Коваленко А.Ю. АНАЛИЗ СТРУКТУРНОЙ УСТОЙЧИВОСТИ РАЗНОРОДНОЙ СИСТЕМЫ КА	108
Лившиц И.И. КОНЦЕПЦИЯ ОЦЕНКИ УРОВНЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ СЕРВИС- ПРОВАЙДЕРОВ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОБЪЕКТОВ	117
Гейда А.С., Исмаилова З.Ф., Клитный И.В., Лысенко И.В. ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ ОПЕРАЦИОННЫХ И ОБМЕННЫХ СВОЙСТВ СИСТЕМ	136
Громов И.А. ОЦЕНКА И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕНЕВОЙ ЭКОНОМИКИ НА СОСТОЯНИЕ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА	161
Ермолаев В.И., Левашова Т.В., Шилов НГ СЕМАНТИЧЕСКАЯ ИНТЕГРАЦИЯ СЕРВИСОВ ДЛЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В ГИБКИХ СЕТЯХ ПОСТАВОК	177
Галов И.В., Корзун Д.Ж. МОДЕЛЬ УВЕДОМЛЕНИЙ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ ПРОГРАММНЫХ ПРИЛОЖЕНИЙ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ПРОСТРАНСТВ	189
Кашевник А.М., Пономарев А.В., Савосин С.В. УПРАВЛЕНИЕ ГИБРИДНЫМИ СИСТЕМАМИ НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ПРОСТРАНСТВ	212

## CONTENTS

Yusupov R.M., Bakuradze D.V. IN MEMORY OF THE NINETIETH ANNIVERSARY OF PROF. PONOMAREV, VALENTIN MIKHAILOVICH, THE FOUNDER AND THE FIRST DIRECTOR OF THE ST. PETERSBURG INSTITUTE FOR INFORMATICS AND AUTOMATION OF THE RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES	5
Ivantsov O.V., Saitov I.A. MINIMUM DISTANCE BORDER FOR RANDOM BLOCK LENGTH BINARY CODE SEGMENT OF LINEAR RECURRING SEQUENCE	15
Tregubov R.B., Lazarev S.N., Andreev S.Ju. THE ALGORITHM OF FINDING OF K MAXIMUM FLOWS	33
Abalov N.V., Gubarev V.V., Alsova O.C. USE OF METHODS OF SINGULAR SPECTRAL ANALYSIS AND MODELETEKA FOR THE IDENTIFICATION OF TIME SERIES	49
Smirnov S.V. OCR ERROR CORRECTION BASED ON RATING-RANK MODEL OF TEXT	64
Musaev A.A. CHAOTIC PROCESSES PERSISTENCE ANALYSIS FOR COMPUTING SCHEME WITHOUT SEGMENTATION	83
Grigorov M.S. CLASSIFICATION OF DIGITAL SYSTEMS OF NON-DESTRUCTIVE X-RAY CONTROL OF MICROELECTRONIC PRODUCTS	94
Kovalenko A.Y. ANALYSIS OF THE STRUCTURAL STABILITY OF A HYBRID SYSTEM SC	108
Livshitz I.I. THE CONCEPT OF ASSESSING THE IT SERVICE PROVIDERS INFORMATION SECURITY LEVEL FOR INDUSTRIAL FACILITIES	117
Geida A.S., Ismailova Я, Klitnyu I.V., Lysenko I.V. OPERATIONAL AND EXCHANGE PROPERTIES OF SYSTEMS RESEARCH PROBLEMS	136
Gromov I.A. EVALUATION AND PREDICTION OF THE INFLUENCE OF THE SHADOW ECONOMY ON ECONOMIC SECURITY OF ST. PETERSBURG	161
Ermolaev V.I., Levashova T.V., Shilov N.G. SEMANTIC SERVICE INTEGRATION FOR INTELLIGENT DECISION SUPPORT IN FLEXIBLE SUPPLY NET-WORKS	177
Galov I.V., Korzun D.G. NOTIFICATION MODEL FOR SMART SPACE APPLICATIONS DEVELOPMENT	189
Kashevnik A.M., Ponomarev A.V., Savosin S.V. HYBRID SYSTEMS CONTROL BASED ON SMART SPACE TECHNOLOGY	212

**К 90-ЛЕТИЮ ПОНОМАРЕВА ВАЛЕНТИНА МИХАЙЛОВИЧА –  
ОСНОВАТЕЛЯ И ПЕРВОГО ДИРЕКТОРА САНКТ-  
ПЕТЕРБУРГСКОГО ИНСТИТУТА ИНФОРМАТИКИ И  
АВТОМАТИЗАЦИИ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК**



1 сентября 2014 года исполнилось 90 лет со дня рождения Пономарева Валентина Михайловича доктора технических наук, профессора, директора и основателя Ленинградского института информатики и автоматизации Академии наук СССР (ныне Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации Российской академии наук).

Пономарев Валентин Михайлович родился 1 сентября 1924 года на хуторе Черный Сасовского района Рязанской области в семье служащих. После окончания в 1942 году спецшколы ВВС (г. Иваново) В.М. Пономарев был направлен в Ленинградскую военно-воздушную академию (ныне Военно-космическая академия (ВКА) имени А.Ф. Можайского), которую окончил в 1948 году по специальности инженер-механик. В 1948-1949 годах В.М. Пономарев служил в Прикавказском военном округе в должностях техника и инженера авиационной эскадрильи.

Научно-педагогическая деятельность В.М. Пономарева началась с должности адъюнкта (1949—1952) Военной академии имени А.Ф. Можайского (ВА им. А.Ф. Можайского), где он затем занимал должности преподавателя кафедры динамики полета (1952-1957), старшего научного сотрудника научно-исследовательской лаборатории систем управления летательных аппаратов (1957—1958), старшего преподавателя кафедры систем управления ракет и космических аппаратов (1958—1964), начальника этой кафедры (1964—1975).

В 1975 году после увольнения в запас из Вооруженных Сил В.М. Пономарев был приглашен в Физико-технический институт (ФТИ) им. А.Ф. Иоффе АН СССР, где занимает должности заведующего вычислительным отделом, заместителя директора ФТИ (1977-1978).

С 1978 г. по 1985 г. В.М. Пономарев директор Ленинградского научно-исследовательского ВЦ АН СССР (ЛНИВЦ), с 1985 г. по 1991 г. директор Ленинградского института информатики и автоматизации АН СССР (ЛИИАИ). В 1992 г. в связи с окончанием

срока полномочий он был освобожден от должности директора и назначен на должность главного научного сотрудника института, которую исполнял вплоть до своей кончины 27 марта 2009 г.

В 1949—1975 годах В.М. Пономарев проводил исследования в области теории оптимального управления полетом летательных аппаратов. В 1965 г. по материалам докторской диссертации В.М. Пономарева в издательстве «Наука» издана его монография «Теория управления движением космических аппаратов». В.М. Пономарев один из основоположников отечественной научной школы по теории и практике оптимального управления полетом летательных аппаратов.

Под его руководством и с его участием в ВА им. А.Ф. Можайского и в ЛИИАН выполнено, в том числе по постановлениям Правительства СССР, более 80 комплексных научно-исследовательских работ и проектов по вопросам создания и повышения эффективности систем управления крылатых и баллистических ракет, космических аппаратов и маневрирующих головных частей. По результатам этих работ в 1956—1977 гг. В.М. Пономаревым опубликовано лично и в соавторстве с учениками и коллегами более 30 монографий и учебников для высшей школы.

К семидесятым годам прошлого века в Ленинграде стало ощущаться как заметный недостаток отсутствие в городе научного учреждения, ориентированного на разработку фундаментальных проблем развития и применения вычислительной техники в интересах повышения эффективности производства и научных исследований. Наряду с этим требовала своего решения и конкретная задача расширения применения ЭВМ и вычислительных методов в ленинградских учреждениях АН СССР. В начале 70-х годов этот большой научный комплекс, насчитывающий более 30 научных организаций, испытывал постоянно возрастающий дефицит машинного времени для выполнения научных исследований, причем потребный объем вычислительных работ удваивался каждые 2,5 года. Комплектация большинства имеющихся ЭВМ и их математическое обеспечение не позволяли решать сложные задачи и работать с большими информационными массивами.

Для решения этой проблемы постановлением Президиума АН СССР 7 октября 1974 года был организован Ленинградский вычислительный центр АН СССР (ЛВЦ) на правах отдела вычислительной техники ФТИ. Руководителем отдела был назначен В.М. Пономарев, как наиболее квалифицированный и активный из инициаторов создания ЛВЦ.

Реализация задачи создания и развития ЛВЦ была связана с большим объемом организационно-технической и экономической деятельности и необходимостью оперативного решения постоянно возникающих проблем, в том числе проблем международного характера. В связи с этим Президиум АН СССР своим распоряжением 6 июля 1977 года возложил на В.М.Пономарева исполнение обязанностей заместителя директора ФТИ.

Несмотря на огромный объем работ организационного характера, коллектив ЛВЦ под руководством В.М. Пономарева активно развивал собственные научные исследования.

В 1978 г. постановлением Правительства СССР Ленинградский ВЦ АН СССР преобразуется в Ленинградский научно-исследовательский ВЦ АН СССР (ЛНИВЦ), а В.М.Пономарев назначается директором ЛНИВЦ.



Демонстрация работ Института на выездном заседании Президиума АН СССР, 1982 год, Ленинград. Слева направо стоят: М.М.Шульц, В.А.Торгашев, В.В.Александров, А.П.Александров, Г.Г.Чахмахчев, Г.М.Лосев, В.М.Пономарев; сидят: В.В.Петухов, Т.Н.Емановская

Под его руководством в 1980 г. была разработана и создана (первая очередь) Региональная вычислительная подсеть "Северо-Запад" Академсети. Сеть охватывала 30 ленинградских учреждений АН СССР и других ведомств. Благодаря этой сети уже к



1985 году вычислительными и программными ресурсами ЛНИВЦ пользовались около 2000 специалистов из 82-х организаций, среди которых были академические институты, вузы и научно-производственные организации Ленинграда. При этом ряд ленинградских академических институтов был подключен к сети через локальные автоматизированные системы научных исследований, разработанных в ЛНИВЦ.

В конце 70-х годов стала очевидной необходимость коренного изменения складывающейся в СССР ситуации с развитием вычислительной техники и эффективностью ее использования в народном хозяйстве.

В 1980 году Ленгорисполком своим решением утвердил ЛНИВЦ головной организацией по методологии и методике разработки программного обеспечения и машинного моделирования для управления комплексным экономическим и социальным развитием Ленинградского народнохозяйственного комплекса.

Была утверждена Государственная территориально-отраслевая программа развития народного хозяйства Ленинграда и Ленинградской области на основе автоматизации и широкого использования вычислительной техники на 1984-1985 гг. и до 1990 г. (Интенсификация-90). По этой программе ЛНИВЦ под руководством В.М.Пономарева обеспечивал научно-методическое руководство фундаментальными и прикладными исследованиями и в частности в области интегральных систем автоматизации и гибких автоматизированных производственных систем. Результаты этих исследований широко использовались в промышленности.

Активная и успешная научная деятельность ученых ЛНИВЦ в ряде важных и перспективных направлений развития вычислительной техники и технологий ее применения способствовала привлечению сотрудников ЛНИВЦ к участию в работе научных советов АН СССР таких, как совет по комплексной проблеме "Кибернетика", совет по проблемам управления движением и навигации, совет по искусственному интеллекту, а также в таких международных организациях, как Международная федерация по автоматическому управлению (ИФАК) и Международная федерация по обработке информации (ИФИП), Международный институт прикладного системного анализа и др. При содействии этих организаций ЛНИВЦ подготовил и успешно провел в Ленинграде ряд международных научных мероприятий.



1985 г., Ленинград. У экспозиции работ Института на выставке «Интенсификация-90». Слева направо: Л.Н.Зайков, М.С.Горбачев, Р.М.Горбачева, Л.И.Зайкова, С.Н.Халкиопов, И.А.Глебов, В.М.Пономарев

В 1977 году проведено I Международное совещание по искусственному интеллекту. В 1980 г. проведено II Международное совещание по искусственному интеллекту. В 1982 г. впервые в нашей стране проведена IV Международная конференция ИФИП/ИФАК по программируемым системам для автоматизации проектирования и технологических процессов в производстве (ПРОЛАМАТ-82). В октябре 1983 г. проведен I Международный симпозиум ИФАК по искусственному интеллекту (промышленное применение). В работе этих научных мероприятий участвовало от 150 до 400 специалистов из 13—15, что свидетельствует о востребованности, важности этих мероприятий и авторитете их организатора — ЛНИВЦ.

Систематическое общение с зарубежными коллегами способствовало возникновению и развитию долговременного научного сотрудничества с иностранными научными организациями. Активная совместная работа началась с институтами академий наук ГДР, Венгрии, Болгарии, Словакии, КНР, с Техническим исследовательским центром Финляндии, с Университетом Париж-6, с Йоркским университетом (Канада) в области, вычислительных систем,

кибернетики, робототехники, автоматизации производства и искусственного интеллекта.

Расширялось участие института в работе созданного в 1983 г. Ленинградского научного центра АН СССР (ЛНЦ). Директор ЛИИАН д.т.н. В.М. Пономарев в 1987 г. был введен в состав Президиума ЛНЦ, а в 1988 г. был назначен первым заместителем Председателя Президиума ЛНЦ.



Обзорная площадка на 107 этаже Всемирного торгового центра (уничтоженного террористами в 2001 г.). Май 1991 г., Нью-Йорк. Слева направо: Ляшенко А.А., Юсупов Р.М., Поднозова И.П., Пономарев В.М.

Большое значение для координации и повышения эффективности в Северо-Западном регионе исследований и разработок в области вычислительной техники и ее применения имело создание в 1983 г. в составе Межведомственного координационного совета АН СССР Научного совета по информатике, вычислительной технике и автоматизации с ЛНИВЦ/ЛИИАН в качестве базовой организации. Председателем Совета был назначен д.т.н. В.М.Пономарев.

Во многом благодаря научным и практическим достижениям ЛНИВЦ под руководством В.М. Пономарева в области вычислительной техники и автоматизации в стране оформилось научное направление информатика. Что отразилось в названии нового отделения в составе АН СССР (Постановление №12 от 3 марта

1983 года) – Отделения информатики, вычислительной техники и автоматизации. Одним из учредителей нового отделения был ЛНИВЦ. Президиум АН СССР своим Постановлением от 23 мая 1985 года переименовал ЛНИВЦ в Ленинградский институт информатики и автоматизации АН СССР (ЛИИАИ) и утвердил основные направления его деятельности: разработка и создание многоуровневых информационно-вычислительных комплексов, включающих сети ЭВМ, системы передачи данных, банки данных, персональные ЭВМ, автоматизированные рабочие места, экспериментальное и технологическое оборудование; разработка методов автоматизации научных исследований, проектирования и управления; разработка, испытание и внедрение информационного, программного и аппаратного обеспечения автоматизированных интегрированных производственных комплексов; разработка теории управления сложными системами (экономическими, техническими, биологическими и др.); разработка, испытание и внедрение информационного, программного и аппаратного обеспечения автоматизированных интегрированных производственных комплексов; выполнение вычислительных работ для институтов АН СССР и оказание им соответствующей методической помощи.

Продолжена традиция организации международных научных мероприятий. В октябре 1987 г. ЛИИАИ совместно с Международным научно-исследовательским институтом проблем управления организовал и провел в Ленинграде IV Международную конференцию по гибким производственным системам.

В апреле 1990 г. институт подготовил и провел Международную конференцию ИФИП «Искусственный интеллект — промышленное применение», в которой приняли участие около 250 специалистов из 13 стран. На конференции было сделано 90 докладов, из них 9 — сотрудниками ЛИИАИ по проблемам: экспертные системы и системы принятия решений, интеллектуальные производственные системы.

Благодаря организаторским усилиям В.М. Пономарева учеными ЛИИАИ в 1977-1991 гг. опубликовано более 70 монографий и других научных трудов из них 22 в издательстве «Наука».

Под руководством В.М.Пономарева подготовлены 18 докторов и 47 кандидатов наук. Он является автором более 300 научных трудов, в том числе 14 монографий, учебников и учебных пособий. Благодаря широкому научному кругозору В.М.Пономарева, его выдающимся

организаторским способностям, удалось развить и увеличить интеллектуальный потенциал ЛИИАН, который он основал и руководил им 13 лет. Так в момент создания 1-го апреля 1978 г. институт насчитывал 82 человека, в том числе 2 доктора и 8 кандидатов наук. В 1990 г. численность института выросла до 590 человек, в том числе 19 докторов наук и 92 кандидата наук.



1998 г. Президиум заседания Ученого совета Института, посвященного его 20-летию 19 января 1998 г. 2-ой слева Юсупов Р.М., 3-й Глебов И.А., Пономарев В.М.

В.М. Пономарев являлся организатором, руководителем и участником крупнейших фундаментальных и прикладных исследований в области теории оптимального управления, создания и повышения эффективности систем управления крылатых и баллистических ракет, космических аппаратов и маневрирующих головных частей, развития вычислительных систем и сетей, автоматизированных систем научных исследований и интегрированных автоматизированных производственных систем, результаты которых явились важным вкладом в отечественную и мировую науку, экономику и образование страны, ее безопасность и развитие международных научных связей.

За заслуги в период военной службы В.М. Пономарев награжден медалью «За победу над Германией в Великой Отечественной войне 1941-1945 гг.» (1946 г.) и медалью «За боевые заслуги» (1953 г.).

За научные достижения и педагогические заслуги В.М. Пономарев награжден медалью ордена «За заслуги перед Отечеством» II степени (2003 г.) и орденом «Знак почета» (1986 г.), ему присуждена ученая степень доктора технических наук (1964 г.), присвоено ученое звание профессора (1966 г.).

Вся научная деятельность В.М. Пономарева и возглавляемого им коллектива Института была направлена на решение проблем использования стремительно развивающейся вычислительной техники, ее программного обеспечения и информационных ресурсов в интересах повышения эффективности производственной деятельности и укрепления обороноспособности страны.



В.М.Пономарев среди учеников и соратников в день 80-летия 1 сентября 2004 г.

Соратники В.М. Пономарева, его ученики и ученики его учеников с благодарностью помнят его неоценимую роль в создании

Института, в выборе и развитии направлений фундаментальных и прикладных исследований, которые подготовили переход организации от решения проблем компьютеризации к решению проблем информатизации всех сфер деятельности общества.

В настоящее время в новых условиях и вызовах XXI века Институт стал одним из признанных ведущих научных учреждений в области информатики и автоматизации не только в стране но и за ее пределами.

**Рафаэль Мидхатович Юсупов** — чл.-корр. РАН, д-р.техн.наук, профессор, директор, Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации РАН (СПИИРАН). Область научных интересов: теория управления, информатика, теоретические основы информатизации и информационного общества, информационная безопасность. Число научных публикаций — 390. yusupov@iias.spb.su; СПИИРАН, 14-я линия В.О., д. 39, 199178, Санкт-Петербург, РФ; р.т.: +7(812) 328–3311, факс: +7(812)328-4450.

**Rafael Midkhatovich Yusupov** — Ph.D., Dr.Sci., Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences (RAS), professor, director, St. Petersburg Institute for Informatics and Automation of RAS. Scientific interests: control theory, informatics, theoretic basics of informatization and information society, information security. The number of publications — 390; yusupov@iias.spb.su; SPIIRAS, 39, 14-th Line V.O., St. Petersburg, 199178, Russia; office phone +7(812)350-5885, fax +7(812)350-1113

**Бакурдзе Дмитрий Викторович** — к-т техн. наук, доцент, старший научный сотрудник лаборатории информационно-аналитических технологий в экономике Санкт-Петербургского института информатики и автоматизации РАН (СПИИРАН). Область научных интересов: исследование операций, процессы информатизации. Число научных публикаций — 150. bdv@iias.spb.su, www.spiiras.nw.ru; СПИИРАН, 14 линия В.О., д.39, г. Санкт-Петербург, 199178, РФ; р.т. +7(812)328-0625, факс +7(812)328-4450.

**Bakuradze Dmitriy Viktorovich** — Ph. D., assistant professor, senior researcher, Laboratory for Information-Analytic Technologies for Economics, St. Petersburg Institute for Informatics and Automation of RAS (SPIIRAS). Research interests: operations research, processes of information. The number of publications — 150. bdv@iias.spb.su, www.spiiras.nw.ru; SPIIRAS, 39, 14-th Line V.O. St. Petersburg, 199178, Russia; office phone +7(812)328-0625, fax +7(812)328-4450.

О.В. ИВАНЦОВ, И.А. САИТОВ  
**ГРАНИЦЫ МИНИМАЛЬНОГО КОДОВОГО РАССТОЯНИЯ  
ДЛЯ НЕКОТОРОЙ БЛОКОВОЙ ДЛИНЫ СЕГМЕНТА  
ДВОИЧНОГО КОДА ЛИНЕЙНОЙ РЕКУРРЕНТНОЙ  
ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ**

---

*Иванцов О.В., Саитов И.А. Границы минимального кодового расстояния для некоторой блоковой длины сегмента двоичного кода линейной рекуррентной последовательности.*

**Аннотация.** Решение научной проблемы по использованию линейных рекуррентных последовательностей (ЛРП) в помехоустойчивом кодировании информации требует разработки быстрых способов вычисления максимальной исправляющей способности для выбранного в качестве кодового слова сегмента произвольной длины на ЛРП. Количественной оценкой исправляющей способности таких кодеров является минимальное кодовое расстояние. В работе предложен нестандартный подход к быстрому и сравнительно точному определению границ минимального кодового расстояния для некоторых длин сегментов двоичного кода ЛРП на основе применения гипотетической  $M_1$ -последовательности.

**Ключевые слова:** линейная рекуррентная последовательность, гипотетическая  $M_1$ -последовательность, сегмент двоичного кода, границы минимального кодового расстояния.

*Ivantsov O.V., Saitov I.A. Minimum distance border for random block length binary code segment of linear recurring sequence.*

**Abstract.** The decision of scientific problem on using linear recurring sequence (LRS) in antinoise coding requires the development the fast ways calculate of maximum correcting ability for the selected for the selected segment of arbitrary LRS segment length. Quantitative correcting ability assessment of such coders is minimum code distance. In this paper unconventional approach to rapid and relatively precise definition of the boundaries of the minimum code distance for random segment length of binary LRS code by applying the hypothetical  $M_1$ -sequence is proposed.

**Keywords:** linear recurring sequence, hypothetical  $M_1$ -sequence, binary code segment, minimum distance code border.

---

**1. Введение.** Для любого линейного  $(n; k; d)$  двоичного кода, к которому относятся отрезки линейной рекуррентной последовательности (ЛРП), включая и код максимальной длины (КМД), определение минимального кодового расстояния  $d_{\min}$  для  $n < 2^k - 1$  является актуальной и сложной задачей. Актуальность решения задачи в настоящее время заключается в достаточно активной разработке способов применения ЛРП не только в системах синхронизации [4], но и помехозащищенном кодировании информации. Сложность решаемой задачи объясняется влиянием на значение  $d_{\min}$  вида примитивного полинома обратных связей, по закону которого формируется участок (отрезок) ЛРП длиной  $n$ . Участки ЛРП длиной  $n < 2^k - 1$  по отношению КМД являются усеченными



ми линейными двоичными кодами. Далее усеченный линейный двоичный код длиной  $n < 2^k - 1$  будем называть сегментом КМД.

Существует два основных пути по увеличению  $d_{\min}$  для сегментов КМД любой длины  $n$ : увеличение числа ненулевых коэффициентов примитивного полинома  $h(x)$  и увеличение  $m$  – избыточной части участка  $n$  линейной рекуррентной последовательности при заданной длине  $k$  – информационной части участка [1].

Можно доказать, что если примитивный полином  $h(x)$  является триномом, то минимально кодовое расстояние любого сегмента КМД  $d_{\min}=2$  при  $m < n$  и  $d_{\min}=3$  при  $m=n$  [1].

Вычисление же значений  $d_{\min}$  сегментов КМД для примитивных полиномов  $h(x)$ , которые не являются триномами, возможно только путем полного перебора участков длиной  $n$  на КМД. Для определения нижней и верхней границы минимального кодового расстояния необходимо осуществить полный перебор всех сегментов на КМД, которые образованы всеми существующими примитивными полиномами с разрядностью  $k$ , что является сложной вычислительной задачей, особенно для больших значений  $k$  и  $n$ .

Получение аналитических выражений для нижней верхней границы минимального кодового расстояния для некоторых длин сегментов КМД [3], значения которой необходимо учитывать при расчетах по проектированию систем синхронизации и кодирования информации, позволит избавиться от необходимости проведения сложных вычислений. Перед тем как перейти к решению задачи, необходимо выяснить закономерные особенности влияния веса примитивного полинома  $h(x)$  и его распределения на значение минимального кодового расстояния для выбранного сегмента КМД длиной  $n$ , так как полученные сведения могут повлиять на ход дальнейших решений.

**2. Анализ закономерностей влияния вида образующего полинома на минимальное кодовое расстояние сегмента двоичного кода ЛРП.** Для определения случаев нарушения зависимости увеличения  $d_{\min}$  от сегмента КМД длиной  $n$  и вида примитивного полинома  $h(x)$  были использованы экспериментальные значения для всех сегментов при разрядности ЛРП  $k=7$ .

В таблице 1 приведены значения  $d_{\min}$  для сегментов КМД на М-последовательности, произведенных линейными рекуррентными регистрами (ЛРП) длиной  $k=7$  по закону обратных связей  $h(x)$  при различных значениях  $n$ . Источниками М-последовательностей являются ЛРП с обратными связями с включенными в них схемами сложения по mod 2. ЛРП такого вида получили название простых (ПГРС) или модулярных генераторов на регистрах сдвига (МГРС).

Нетрудно заметить, что при длине участка на М-последовательности  $n=15$  значения  $d_{\min}=3$ , полученные по закону полиномов  $h_1(x)=x^7+x^5+x^3+x^2+x+1$  и  $h_2(x)=x^7+x+1$ , равны и уступают значению  $d_{\min}=5$  с использованием полинома  $h_3(x) = x^7+x^6+x^3+x+1$ , причем вес последнего примитивного полинома  $h_3(x)$  меньше веса полинома  $h_1(x)$  и больше  $h_3(x)$ .

Таблица 1. Экспериментальные значения  $d_{\min}$  сегментов КМД-кодов ( $k=7$ )

$\begin{matrix} h(x) \\ n \end{matrix}$	10011101	10000011	10100111	10111111	11000001	11001011
7	1	1	1	1	1	1
8	1	1	1	1	1	1
9	1	1	1	2	1	1
10	2	1	2	2	1	2
11	2	1	3	2	1	2
12	3	1	3	2	1	2
13	3	2	3	3	2	3
14	3	3	4	3	3	4
15	3	3	4	3	3	5
16	4	3	4	4	3	5
17	4	3	4	4	3	5
18	4	3	4	4	3	6
19	5	4	5	5	4	6
20	6	4	6	5	4	7
21	7	5	7	6	5	7
22	7	5	7	7	5	7
23	7	5	8	7	5	8
24	7	5	8	7	5	9
25	8	6	8	8	6	9
26	8	7	8	9	7	10
27	8	8	9	9	8	11
28	9	9	10	9	9	11

Из этого следует, что сегменты КМД одной длины  $n$  и соответствующие им значения  $d_{\min}$ , полученные по закону примитивных полиномов  $h(x)$ , не имеют пропорциональной зависимости увеличения минимального кодового расстояния от уменьшения числа нулевых коэффициентов полиномов.

Следовательно, необходимо определить закономерность, по которой изменяется значение  $d_{\min}$  в зависимости от длины любого сегмента КМД длиной  $n$  с учетом выбранного образующего полинома  $h(x)$ .

Отсутствие прямой зависимости увеличения  $d_{\min}$  для некоторых сегментов КМД от числа ненулевых коэффициентов примитивного полинома  $h(x)$  можно объяснить тем, что вид примитивного полинома, прежде всего, влияет на размещение серий из нулей или единиц на М-

последовательности, т.е. насколько пропорционально рассеяны (разнесены) друг от друга по отношению к размеру серии на М-последовательности, начиная с серий большой длины, настолько возможно увеличение  $d_{\min}$  с учетом выбранных величины сегмента КМД  $n$  и примитивного полинома  $h(x)$ .

Для проверки выдвинутого предположения в качестве примера, на рисунках 1 и 2 представлены М-последовательности, полученные с помощью примитивных полиномов  $x^7 + x^6 + x^5 + x^3 + x^2 + x + 1$  и  $x^7 + x + 1$ . Все места расположения серий из нулей и единиц длиной  $l \geq 3$  на М-последовательности выделены серым фоном.

001100111011101001011000110111101101101100100100011100001011111  
00101011100110100010011110001010000110000010000001111111010101

Рис. 1. Порядок распределения серий на М-последовательности с использованием примитивного полинома  $x^7 + x + 1$

0011100011001011001100010111101110010001000011010110100011110  
0000100110110000101000000111011011111001111111010010010101110  
10101

Рис. 2. Порядок распределение серий на М-последовательности с использованием примитивного полинома  $x^7 + x^6 + x^5 + x^3 + x^2 + x + 1$

Взаимное расположение выделенных серий на М-последовательности, изображенные на рисунках 1 и 2, указывает на то, что вид образующего полинома влияет на распределение этих серий. Количество и размер серий остаются неизменными на основании известного свойства "серий" ЛРР.

*Свойство "серий"*. Любая двоичная последовательность максимальной длины  $(2^k - 1)$  содержит серии как "единиц", так и "нулей" длины  $l$  точно  $2^{k-(l+2)}$  раз, где  $1 \leq l \leq k-2$ . Во всех этих случаях число серий "единиц" длины  $l$  равно числу серий "нулей" такой же длины. Исключения составляют серии длиной  $(k-1)$  и  $k$ , а именно, серия из  $(k-1)$  "нулей" встречается в замкнутом периоде М-последовательности только один раз, а серия из  $k$  "нулей" отсутствует. Напротив, серия из  $(k-1)$  "единиц" отсутствует, а серия из  $k$  "единиц" появляется только один раз [3].

Если пропорциональное рассеивание больших серий на М-последовательности дает положительный результат по повышению значения  $d_{\min}$  для заданного сегмента КМД длиной  $n$ , то можно предположить, что "склеивание" серий, начиная с серии величиной  $k$  и далее по убыванию, должно дать прямо противоположный результат для сегмента любой длины.

### 3. Математическое описание вычислительного эксперимента по определению нижней границы $d_{\min}^H$ для некоторых длин сег-

**ментов КМД.** Важность обнаружения "склеенных" больших серий из нулей и единиц на  $M$ -последовательности, начиная с серии максимальной длины, совпадающие с размером сегмента КМД длиной  $n$ , заключается в том, что при сдвиге на один бит, оба участка будут иметь максимальное количество совпадающих разрядов, между собой, что соответствует минимальному кодовому расстоянию. В этом случае необходимость полного перебора сегментов на  $M$ -последовательности длиной  $n$  отпадает, так как найти значение меньше обнаруженного уже невозможно независимо от того, каким из примитивных полиномов эта последовательность сформирована.

Но у  $M$ -последовательностей, полученных, например, от ПГРС, не может быть большого количества, "склеенных" между собой больших серий из нулей и единиц, и при выборе определенных значений участков  $M$ -последовательности длиной  $n$ , сравнимые с длиной этого "склеенного" участка,  $d_{\min}$  не всегда будет достигать нижней границы минимальных значений.

Это дает возможность теоретически предположить существование такой  $M$ -последовательности, у которой все значения  $d_{\min}$  сегментов КМД длиной  $n$  являются элементами нижней границы.

Введем абстрактную модель генератора на регистре сдвига, вырабатывающую гипотетическую  $M$ -последовательность ( $M_r$ ), у которой все серии "склеены" между собой, начиная с серии максимальной длины с учетом убывания до одиночных серий включительно. Действительно,  $M_r$ -последовательности такого вида, с одной стороны, присущи все свойства линейной рекуррентной последовательности, с другой – она не может быть получена ни одним из генераторов на регистре сдвига, следовательно, данную последовательность можно отнести к гипотетической. Для примера на рисунке 3 изображена  $M_r$ -последовательность при  $k=7$ .

Очевидно, что при выборе сегмента длиной  $n$ , необходимо выбрать, такую же, комбинацию, начиная с серии максимальной длины, как и в гипотетической  $M_r$ -последовательности. Затем сравнить между собой эти комбинации, при сдвиге их на один разряд по отношению друг к другу и получить самое минимальное значение  $d_{\min}^H$ . Дальнейшее сравнение и перебор остальных участков на  $M_r$ -последовательности меньший результат, чем был получен ранее, не даст.

1111111000000111110000011110000111100001110001110001110001110001110  
 001100110011001100110011001100110011001010101010101010101010101010101  
 01010

Рис. 3.  $M_r$ -последовательность для ЛПП разрядностью  $k=7$

Соответственно все значения  $d_{\min}$ , полученные на гипотетической последовательности при различных значениях  $n$ , будут определять нижнюю границу всех сегментов КМД, полученных ПГРС с разрядностью  $k=7$ .

Полученная закономерность распространяется на все возвратные М-последовательности, полученные ПГРС любой разрядности, так как им присуще свойство "серий".

После введения  $M_r$ -последовательности необходимо проверить на одном или нескольких примерах, согласуются ли ее новые абстрактные свойства и применяемые правила вычисления с предшествующим опытом определения нижней границы минимального кодового расстояния.

Правило вычисления  $d_{\min}^n$  заключается в том, что при сдвиге на один шаг сравниваются два сегмента длиной  $n$   $M_r$ -последовательности и М-последовательности. М-последовательность не должна содержать больше двух подряд склеенных серий, начиная с самой большой по убыванию, так как она не является гипотетической.

*Пример.*

*Дано:* Пусть ПГРС величиной  $k=7$  вырабатывает М-последовательность по закону примитивного полинома  $h(x)=x^7+x+1$  (рисунок 1). Размер сегмента КМД: а)  $n=7$ ; б)  $n=13=7+6$ ; в)  $n=18=7+6+5$ ; г)  $n=23=7+6+5+5$ ; д)  $n=27=7+6+5+5+4$ ; е)  $n=31=7+6+5+5+4+4$ .

*Найти:* значения нижней границы  $d_{\min}$ , для  $n=7, 13, 18, 23, 27, 31$ .

*Решение:*

Используя гипотетическую последовательность (рисунок 3), определим значения нижней границы  $d_{\min}$ :

а) Сегмент КМД длиной  $n=7$  на  $M_r$ -последовательности вмещает в себя одну полную серию длиной 7 бит. При сдвиге на один бит полученные два сегмента отличаются друг от друга 1 разрядом. Применяя правило вычисления  $d_{\min}=1$ :

$$\begin{array}{r|l} \oplus & 1111111 \\ & 0111111 \\ \hline & 1 \qquad \qquad \qquad | \qquad \qquad \qquad d_{\min}=1 \end{array}$$

б) Сегмент КМД длиной  $n=13$  на  $M_r$ -последовательности вмещает в себя две серии длиной 7 и 6 бит соответственно. При сдвиге на один бит (рисунок 5) два сегмента одной длины отличаются друг от друга 2 разрядами. Применяя правило вычисления  $d_{\min}=2$ :

$$\begin{array}{r|l} \oplus 111111100000011111 & \\ \hline 01111111000000 & \\ \hline 1 & 1 & | & d_{\min}^{\#} = 2 \end{array}$$

в) Сегмент КМД  $n=18$  на  $M_r$ -последовательности вмещает в себя три серии длиной 7, 6 и 5 бит соответственно. При сдвиге на один бит два сегмента одной длины отличаются друг от друга 3 разрядами. Применяя правило вычисления  $d_{\min}=3$ :

$$\begin{array}{r|l} \oplus 11111110000001111100000 & \\ \hline 0111111100000011111 & \\ \hline 1 & 1 & 1 & | & d_{\min}^{\#} = 3 \end{array}$$

г) В верхней строке сегмент КМД длиной  $n=23$  на  $M_r$ -последовательности вмещает в себя четыре серии длиной 7, 6 и две серии по 5 бит соответственно. Во второй строке представлен реальный сегмент М-последовательности длиной  $n=23$ , который отличается на минимальное количество разрядов, при условии, что сегмента с тремя и более склеенными сериями не существует. Для этого необходимо в один из разрядов сегмента внести изменения. В серии из пяти единиц значение третьего разряда изменено на противоположный и обозначено как "0". При сдвиге на один бит два сегмента одной длины отличаются друг от друга 5 разрядами ( $d_{\min}=5$ ). Применяя правило вычисления получим:

$$\begin{array}{r|l} \oplus 111111100000011111000001 & \\ \hline 011111110000001101100000 & \\ \hline 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & | & d_{\min}^{\#} = 5 \end{array}$$

д) В верхней строке сегмент КМД длиной  $n=27$  на  $M_r$ -последовательности вмещает в себя пять серий длиной 7, 6, две серии по 5 бит и одна серия 4 бита соответственно. В нижней строке необходимо внести минимальные изменения, чтобы в сегменте не было больше двух больших склеенных серий. Для этого в каждой из трех серий необходимо изменить как минимум по одному разряду. При сдвиге на один бит два сегмента одной длины отличаются друг от друга 8 разрядами ( $d_{\min}=8$ ). Применяя правило вычисления, получим значение  $d_{\min}$  в виде:

$$\begin{array}{r|l} \oplus 1111111000000111110000011110 & \\ \hline 0111111100000011011001001011 & \\ \hline 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & | & d_{\min}^{\#} = 8 \end{array}$$

е) Сегмент КМД длиной  $n=31$  на  $M_7$ -последовательности вмещает в себя шесть серий длиной 7, 6, две серии по 5 бит и две серия 4 бита соответственно. Таким образом, во второй строке необходимо внести минимальные изменения в четыре серии. В этом случае при сдвиге на один бит два сегмента одной длины отличаются друг от друга 10 разрядами.  $d_{\min}=10$ . Порядок вычисления можно представить в виде:

$$\begin{array}{r|l} \oplus \begin{array}{r} 11111110000001111100000111100001 \\ 01111111000000110110010010110100 \end{array} & \\ \hline \begin{array}{cccccccc} 1 & & 1 & & 1 & & 1 & & 1 & & 1 & & 1 & & 1 \end{array} & d_{\min}^H = 10 \end{array}$$

Подчеркнутые значения (таблица 2), вычисленные по выше предложенному правилу, не попадают в ряд чисел, составляющих арифметическую прогрессию.

Таблица 2. Вычисленные значения  $d_{\min}^H$  сегментов КМД-кодов ( $k=7$ )

Длина сегмента $n$	7	18	27	35	42	48	54	60
Нечетное количество серий $b_n$	1	3	5	7	9	11	13	15
Вычисленное аналитически $d_{\min a}^H$	1	<u>3</u>	8	11	14	17	20	23
Экспериментальное значение $d_{\min a}^H$	1	3	8	11	15	18	20	23
Длина сегмента $n$	13	23	31	39	45	51	57	62
Четное количество серий $b_n$	2	4	6	8	10	12	14	16
Вычисленное аналитически $d_{\min a}^H$	2	<u>5</u>	10	13	16	19	22	25
Экспериментальное значение $d_{\min a}^H$	2	5	10	13	16	19	22	26

*Вывод:*

Вычисленные значения  $d_{\min}$  с использованием гипотетической последовательности в большинстве случаев совпадают с экспериментальными значениями минимального кодового расстояния, а это значит, что ее новые абстрактные свойства согласуются с предшествующим опытом машинного вычисления нижней границы минимального кодового расстояния.

Вычисленные значения  $d_{\min}$ , за некоторым исключением (таблица 2), сегментов КМД длиной  $n$ , которые вмещают целое четное или нечетное количество серий по убыванию, образуют два ряда с арифметической прогрессией с шагом  $d=3$  для четного и нечетного количества серий соответственно.

Для получения аналитического выражения в общем виде для полного количества серий, уместяющихся на заданной длине  $n$  КМД-кода необходимо  $M_7$ -последовательность представить в виде суммы слагаемых  $a_{ji}$ , например при  $k=7$  (таблица 3), где  $a_{ji}$  – длина  $ji$ -ой серии гипотетической  $M$ -последовательности.

Таблица 3. Нумерация членов гипотетической последовательности ( $k=7$ )

Длина серии ( $k=7$ )	$K$	$k-1$	$k-2$	$k-2$	$k-3$	$k-3$	$k-3$	$k-3$	$k-4$	$k-4$	...	$k-4$	$k-5$	...	$k-5$	$k-6$	$k-6$	...	$k-6$
Вид серии	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	...	0	1	...	0	1	0	...	0
№ вид серии ( $j$ )	0	1	2	2	3	3	3	3	4	4	...	4	5	...	5	6	6	...	6
№ серии одного вида ( $i$ )	0	1	1	2	1	2	3	4	1	2	...	8	1	...	16	1	2	...	32
$a_{ji}$	$a_{00}$	$a_{11}$	$a_{21}$	$a_{22}$	$a_{31}$	$a_{32}$	$a_{33}$	$a_{34}$	$a_{41}$	$a_{42}$	...	$a_{48}$	$a_{51}$	...	$a_{516}$	$a_{61}$	$a_{62}$	...	$a_{632}$

$M_r$ -последовательность в соответствии со свойством "серий" ЛРР и длиной  $k$  может быть представлена в виде суммы длин  $a_{ji}$  равной длине КМД:

$$S_k = a_{00} + a_{11} + a_{21} + a_{22} + a_{31} + a_{32} + \dots + a_{41} + a_{42} + \dots + a_{48} + a_{52} + \dots + a_{516} + \dots + a_{(k-1)1} + a_{(k-1)2} + \dots + a_{(k-1)2^{k-2}} = 2^k - 1 \quad (1)$$

В результате этого уравнение (2) позволяет в общем виде выразить количество серий, начиная с серии максимальной длины, помещающихся на сегменте КМД длиной  $n$ :

$$n = a_{00} + \sum_{j=1}^{k-1} \sum_{i=1}^{\frac{2^{k-1}}{2^{k-j}}} a_{ji}, \quad (2)$$

где  $a_{00}$  – длина максимальной серии  $k$  разрядов;  $a_{ji}$  – длина  $j$ -ой серии;  $\frac{2^{k-1}}{2^{k-j}}$  – количество серий одной длины на  $M$ -последовательности;  $k$  – количество видов серий разной длины, определяемая длиной ЛРР.

Равенство (2) выполняется только лишь в том случае, если выбранная длина сегмента КМД  $n$  равна сумме длин полных серий  $M_r$ -последовательности, начиная с серии максимальной длины  $k$ .

Исходя из выражения (2), если количество полных серий  $b_n$  разного вида, помещается одна, две, три серии на выбранной длине сегмента  $n$ , то можно записать как:



$$\begin{aligned}
b_7 &= a_{00} = 1; \\
b_{13} &= a_{00} + a_{11} = 2; \\
b_{18} &= a_{00} + a_{11} + a_{21} = 3; \\
&\dots\dots\dots \\
b_n &= a_{00} + a_{11} + a_{21} + a_{22} + \dots + a_{ji} = 2^{j-1} + i.
\end{aligned}$$

Таким образом, количество полных серий  $b_n$  разного вида, помещающихся на выбранной длине сегмента  $n$  определяется выражением:

$$b_n = 2^{j-1} + i. \quad (3)$$

Нахождение  $d_{min}$  КМД-кодов длиной  $n$ , которые вмещают в себя нечетное или четное количество серий, можно представить в виде выражения, описывающего две арифметические прогрессии:

$$d_{min}^H \geq \begin{cases} a_0 + \frac{b_n - 1}{2} d, & a_0 = 1, d = 3, b = 3, 5, 7, \dots, 2^k - 1; \\ a_0 + \frac{b_n - 2}{2} d, & a_0 = 2, d = 3, b = 4, 6, 8, \dots, 2^k - 2. \end{cases} \quad (4)$$

Чтобы проверить точность полученных значений  $d_{min}^H$  с помощью аналитического выражения (4), необходимо провести сравнение со значениями  $d_{min}^H$ , полученными экспериментальным путем.

В ходе сравнения экспериментальных и аналитических значений  $d_{min}^H$ , выяснилось, что показатель  $d_{min}^H$  имеет значительные выходы за пределы двух рядов арифметической прогрессии при  $b_n=3$  ( $n=18$ ) и  $b_n=4$  ( $n=23$ ). С целью повышения точности вычисления  $d_{min}^H$  и компенсации этих выбросов в выражение (4) введены дополнительные слагаемые.

$$d_{min}^H \geq \begin{cases} a_0 + \frac{b_n - 1}{2} d + \left\lceil \frac{b_n - 4}{b_n - 2} \right\rceil, & a_0 = 1, d = 3, b = 3, 5, 7, \dots, 2^k - 1; \\ a_0 + \frac{b_n - 2}{2} d + 2 \left\lceil \frac{b_n - 4}{b_n - 3} \right\rceil, & a_0 = 2, d = 3, b = 4, 6, 8, \dots, 2^k - 2. \end{cases} \quad (5)$$

На графике (рисунок 4) произведено сравнение  $d_{\min \varepsilon}^H$  и  $d_{\min a}^H$  всех сегментов КМД при  $k=7$  длиной  $k \leq n \leq 2^{k-1}+11$ .

*Вывод:*

1) Графики на рисунке 4, полученные экспериментальным и аналитическим путем и описывающие нижние границы всех сегментов КМД на примере ПГРС при  $k=7$  в точках, где длина  $n$  равна сумме длин серий  $M_r$ -последовательности, в основном совпадают, а в некоторых точках погрешность  $\Delta$  не превышает  $\Delta = |d_{\min \varepsilon}^H - d_{\min a}^H| \leq 1$ .

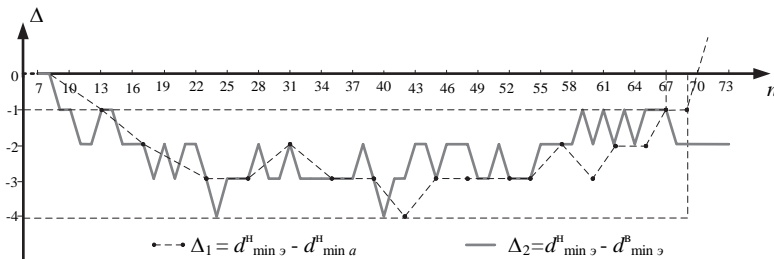


Рис. 4. Нижняя граница сегментов КМД при  $k=7$ , полученных экспериментальным и аналитическим способом

2) Начиная с участка  $n > 2^{k-1}+4$  возрастание  $d_{\min a}^H$  по закону арифметической прогрессии, полученное с помощью выражения (5), нарушается и расходится с экспериментальными значениями  $d_{\min \varepsilon}^H$ .

Полученная граница арифметической прогрессии соответствует сегменту КМД длиной  $n=2^{k-1}+4$  на  $M_r$ -последовательности. Величина этого сегмента равна сумме длин всех серии  $l \geq 3$  по убыванию и замыкающей к ним двух серий из двух единиц и нулей (рисунок 3) с учетом сдвига на один разряд вправо, при которой еще наблюдается на участке последней серии совпадение в одном разряде и сохраняется шаг арифметической прогрессии  $d = 3$ . В силу этого количество серий  $b_n$ , помещающихся на участке  $2^{k-1}+1$ , составит  $2^{k-3}+2$ .

После уточнения верхнего предела длины сегмента  $n$  КМД выражение (5) примет окончательный вид:

$$d_{\min a}^H \geq \begin{cases} a_0 + \frac{b_n - 1}{2}d + \left\lfloor \frac{b_n - 4}{b_n - 2} \right\rfloor, a_0 = 1, d = 3, b = 3, 5, 7, \dots, 2^{k-3} + 1; \\ a_0 + \frac{b_n - 2}{2}d + 2 \left\lfloor \frac{b_n - 4}{b_n - 3} \right\rfloor, a_0 = 2, d = 3, b = 4, 6, 8, \dots, 2^{k-3} + 2. \end{cases} \quad (6)$$

**4. Математическое описание вычислительного эксперимента по определению аналитического выражения верхней границы  $d_{\min}^B$  для некоторых длин сегментов КМД.** Не менее интересной, а может быть, и более важной задачей является определение аналитического выражения верхней границы  $d_{\min}^B$  для некоторых длин сегментов КМД на участке  $k \leq n \leq 2^k - 1$ .

Возвращаясь к гипотетической  $M_r$ -последовательности (рисунок 3), так же как и при определении нижней границы минимального кодового расстояния необходимо проверить на одном или нескольких примерах, согласуются ли ее новые абстрактные свойства и применяемые правила вычисления с предшествующим опытом вычисления минимального кодового расстояния для определения верхней границы.

Правило вычисления верхней границы минимального кодового расстояния заключается в том, что при сдвиге на один шаг сравниваются два сегмента длиной  $n$   $M_r$ -последовательности и  $M'_r$ -последовательности.  $M'_r$ -последовательность представляет из себя неполную гипотетическую последовательность, которая составлена из оставшихся больших серий по убыванию, не поместившихся на участке сегмента длиной  $n$ .

*Пример.*

*Дано:* Пусть ПГРС величиной  $k=7$  вырабатывает  $M$ -последовательность по закону примитивного полинома  $h(x) = x^7 + x + 1$  (рисунок 1). Размер сегмента КМД: а)  $n=7$ ; б)  $n=13=7+6$ ; в)  $n=18=7+6+5$ ; г)  $n=23=7+6+5+5$ ; д)  $n=27=7+6+5+5+4$ ; е)  $n=31=7+6+5+5+4+4$ ; ж)  $n=35=7+6+5+5+4+4+3$ .

*Найти:* значения верхней границы  $d_{\min}$ , для  $n=7, 13, 18, 23, 27, 31$ .

*Решение:*

Используя гипотетическую последовательность (рисунок 3), определим значения верхней границы  $d_{\min}$ :

а) Сегмент КМД длиной  $n=7$  на  $M_r$ -последовательности вмещает в себя одну полную серию длиной 7 бит. При сдвиге на один бит полученные два сегмента отличаются друг от друга 1 разрядом, таким образом  $d_{\min}=1$ .

б) Сегмент КМД длиной  $n=13$  на  $M_r$ -последовательности вмещает в себя две серии длиной 7 и 6 бит соответственно. Этот сегмент сравнивается с сегментом, который уже не имеет серии длиной 7 и 6 бит, а составлен из оставшихся больших серии длиной по 5 бит. Два сегмента отличаются друг от друга 3 разрядами. Порядок вычисления  $d_{\min}$  можно представить в виде:

$$\begin{array}{r|l} \oplus \begin{array}{l} 111111100000011111 \\ 01111110100000 \end{array} & \\ \hline 1 \quad 11 & d_{\min} = 3 \end{array}$$

в) Сегмент КМД  $n=18$  на  $M_r$ -последовательности вмещает в себя три серии длиной 7, 6 и 5 бит соответственно. Этот сегмент сравнивается с другим сегментом, который составлен из оставшихся больших серий длиной 5 и три серии по 4 бита. Два сегмента отличаются друг от друга 6 разрядами. Вычисление  $d_{\min}$  можно представить в виде:

$$\oplus \begin{array}{r|l} 1111111000000111110 & \\ \hline 000011110000011110 & \\ \hline 1111 & 1 \quad 1 \quad | d_{\min}=6 \end{array}$$

г) Сегмент КМД длиной  $n=23$  на  $M_r$ -последовательности вмещает в себя четыре серии длиной 7, 6 и две серии по 5 бит соответственно. Этот сегмент сравнивается с другим сегментом, который составлен из оставшихся больших серий длиной 4 и 3 бита. Два сегмента отличаются друг от друга 8 разрядами и вычисление  $d_{\min}$  можно представить в виде:

$$\oplus \begin{array}{r|l} 11111110000001111100000 & \\ \hline 11110111000011110000111 & \\ \hline 1 & 1 \quad 1 \quad 11 \quad 111 & | d_{\min}=8 \end{array}$$

д) Сегмент КМД длиной  $n=27$  на  $M_r$ -последовательности вмещает в себя пять серий длиной 7, 6, две серии по 5 бит и одна серия 4 бита соответственно. Этот сегмент сравнивается с другим сегментом, который составлен из оставшихся больших серий длиной 4 и 3 бита. Два сегмента отличаются друг от друга 11 разрядами и вычисление  $d_{\min}$  можно представить в виде:

$$\oplus \begin{array}{r|l} 1111111000000111110000011110 & \\ \hline 0001111000011100011100001110 & \\ \hline 111 & 11 \quad 111 \quad 11 \quad 1 & | d_{\min}=11 \end{array}$$

е) Сегмент КМД длиной  $n=31$  на  $M_r$ -последовательности вмещает в себя шесть серий длиной 7, 6, две серии по 5 бит и две серии 4 бита соответственно. Этот сегмент сравнивается с другим сегментом, который составлен из оставшихся больших серий длиной 4 и 3 бита. Два сегмента отличаются друг от друга 12 разрядами и вычисление  $d_{\min}$  можно представить в виде:

$$\oplus \begin{array}{r|l} 11111110000001111100000111100001 & \\ \hline 1111001110001110001110001110000 & \\ \hline 1111 & 1 \quad 111111 & 1 & | d_{\min}=12 \end{array}$$

ж) Сегмент КМД длиной  $n=35$  на  $M_r$ -последовательности вмещает в себя семь серий длиной 7, 6, две серии по 5 бит, три серии по 4 бита соответственно. Этот сегмент сравнивается с другим сегментом, который составлен из оставшихся больших серий длиной 4, 3 и 2 бита.

Два сегмента отличаются друг от друга 14 разрядами и вычисление  $d_{\min}$  можно представить в виде:

$$\oplus \frac{\begin{array}{|cccccccc} \hline 111111100000011111000001111100001111 \\ 001110001100011100011100011000011000 \\ \hline 11 & 11111 & & 11 & 111 & 11 & & \\ \hline \end{array}}{d_{\min} = 14}$$

Подчеркнутые значения (таблица 4), вычисленные по выше предложенному правилу, не попадают в ряд чисел, составляющих арифметическую прогрессию.

Таблица 4. Вычисленные значения  $d_{\min}^B$  сегментов КМД-кодов ( $k=7$ )

Длина сегмента $n$	7	18	27	35	42	48	54	60
Нечетное количество серий $b_n$	1	3	5	7	9	11	13	15
Вычисленное аналитически $d_{\min a}^E$	1	<u>6</u>	11	14	17	20	23	26
Экспериментальное значение $d_{\min \Phi}^E$	1	6	11	14	18	20	23	26
Длина сегмента $n$	13	23	31	39	45	51	57	62
Четное количество серий $b_n$	2	4	6	8	10	12	14	16
Вычисленное аналитически $d_{\min a}^E$	3	<u>8</u>	<u>12</u>	16	19	22	25	28
Экспериментальное значение $d_{\min \Phi}^E$	3	8	12	16	19	21	24	27

*Вывод:*

1) Вычисленные значения  $d_{\min}$  с использованием гипотетической последовательности в большинстве случаев совпадают с экспериментальными значениями минимального кодового расстояния, а это значит, что ее новые абстрактные свойства согласуются с предшествующим опытом вычисления верхней границы минимального кодового расстояния.

2) Вычисленные значения  $d_{\min}$  сегментов КМД длиной  $n$ , которые вмещают целое четное или нечетное количество серий по убыванию, образуют два ряда с арифметической прогрессией с шагом  $d=3$  для четного и нечетного количества серий соответственно.

$$d_{\min a}^E \leq \begin{cases} a_0 + \frac{b_n + 1}{2}d + \left\lfloor \frac{b_n - 4}{b_n - 2} \right\rfloor, a_0 = 1, d = 3, b = 3, 5, 7, \dots, 2^{k-3} + 1; \\ a_0 + \frac{b_n}{2}d + \left\lfloor \frac{b_n - 6}{b_n - 2} \right\rfloor, a_0 = 3, d = 3, b = 4, 6, 8, \dots, 2^{k-3} + 2. \end{cases} \quad (7)$$

*Вывод:*

1) Графики на рисунке 5, полученные экспериментальным и аналитическим путем и описывающие верхние границы сегментов КМД на примере ПГРС при  $k=7$  в точках, где длина  $n$  равна сумме длин серий  $M_k$ -последовательности, в основном совпадают, а в некоторых точках погрешность  $\Delta$  не превышает  $\Delta = |d_{\min \Phi}^B - d_{\min a}^B| \leq 1$ .

2) Начиная с участка  $n > 2^{k-1} + 4$  возрастание и  $d_{\min \alpha}^B$  по закону арифметической прогрессии, полученное с помощью выражения (7), нарушаются и расходятся с их экспериментальными значениями.

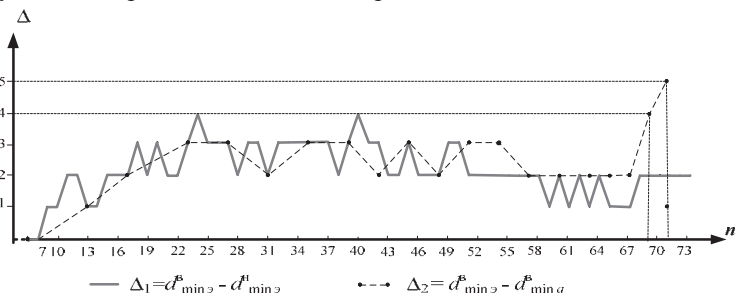


Рис. 5. Верхняя граница сегментов КМД при  $k=7$ , полученных экспериментальным и аналитическим способом

Экспериментальные значения  $d_{\min \alpha}^H$  и  $d_{\min \alpha}^B$  получены путем полного перебора всего множества сегментов КМД (для  $k=7$ ) на М-последовательностях, образованных ПГРС с использованием восемнадцати примитивных полиномов, и выбора для каждого сегмента длины  $n$  минимального и максимального значений соответственно.

**5. Заключение.** Применение аналитических выражений по нахождению нижней и верхней границ  $d_{\min}$  для сегментов КМД на М-последовательности, образованной ПГРС или МГРС для любых  $k$ , значительно упрощает процесс их вычисления по сравнению с машинным способом полного перебора.

Полученные аналитические выражения для некоторых блоковых длин сегментов КМД, составляющих полную сумму серий, определяют нижние и верхние границы  $d_{\min}$  с минимальной погрешностью. Для остальных блоковых длин сегментов, размер которых составляет немногим больше половины длины М-последовательности, полученные значения являются ориентировочными.

Ограничение длины  $n$  в полученных выражениях для применения в телекоммуникационных системах не снижает их значения, так как наибольшее практическое применение из всего возможного спектра сегментов простой возвратной М-последовательности получили коды, равные ее длине или не превышающие одной трети ее длины, часто применяемые в системах цикловой синхронизации синхронных систем передачи данных, в системах кодирования адреса корреспондента и в помехоустойчивом кодировании информации [4].

### Литература

1. Когновицкий О.С. Теория, методы и алгоритмы решения задач в телекоммуникациях на основе двойственного базиса и рекуррентных последовательностей. Монография // СПбГУТ. 2011.

2. Гладких А. А. Основы теории мягкого декодирования избыточных кодов в стирающем канале связи // Ульяновск : УлГТУ. 2010. 379 с.
3. Гребенев С. В., Дроздов И. А., Семкин С. Н. и др. Системы документальной связи: учебное пособие. В 3 ч. Ч. 1. Основы построения сетей специальной документальной связи / под. общ. ред. И. А. Дроздова // Орел.: Академия ФСО России. 2008. 196 с.
4. Радыгин В.М., Иванцов О.В., Бочков П.В. Применение полиномиальной системы классов вычетов для коррекции ошибок в системах передачи сигналов времени // Ученые записки Орловского государственного университета. Серия "Естественные, технические и медицинские науки". Орел: ФГБОУ ВПО "Орловский Государственный университет". 2013. Вып. (53). С.65–69.

## References

1. Kognovitsky O.S. *Teoriya, metody i algoritmy resheniya zadach v telekommunikacijah na osnove dvojsvennogo bazisa i rekurentnyh posledovatel'nostej*. Monografija [Theory, methods and algorithms for solving problems in telecommunications based on the dual basis and recurrent sequences. Monograph]. SUT. 2011. (In Russ.).
2. Gladkih A.A. *Osnovy teorii mjagkogo dekodirovaniya izbytochnyh kodov v stirajushhem kanale svyazi* [Fundamentals of the theory of soft decoding of redundant codes in the erasing communication channel]. Ulyanovsk: Ulyanovsk State Technical University. 2010. 379 p. (In Russ.).
3. Grebenev S. V., Drozdov I. A., Semkin S. N. et al. *Sistemy dokumental'noj svyazi: uchebnoe posobie. V 3 ch. Ch. 1. Osnovy postroeniya setej special'noj dokumental'noj svyazi / pod. obshh. red. I. A. Drozdova* [Systems of documentary communication: a tutorial. In 3 p. Part 1. Bases of creation of networks of special documentary communication. Edited by I. Drozdov]. Orel: Academy FSO of Russia. 2008. 196 p. (In Russ.).
4. Radygin V. M., Ivantcov O. V., Bochkov P. V. [Application of polynomial systems of residue classes for error correction in systems transmitting signals of time]. *Uchenye zapiski Orlovskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya "Estestvennye, tehnicheckie i medicinskie nauki" – The researchers notes of Orel State University. Series "Natural, technical and medical science"*. Orel: Orel State University". 2013. vol. 3(53). pp. 65–69. (In Russ.).

**Иванцов Олег Владимирович** — к-т техн. наук, доцент, сотрудник Академии ФСО России. Область научных интересов: помехоустойчивое кодирование и синхронизация линейными рекуррентными последовательностями Число научных публикаций — 65. iowwaa@mail.ru; Академия ФСО России, Приборостроительная, 35, г. Орел, 302034, РФ; р.т. (4862)549934.

**Ivantsov Oleg Vladimirovich** — Ph.D. associate professor, employee of Academy Federal Agency of protection of Russian Federation. Research interests: the antinoise coding and synchronization by linear recurring sequence. Number of scientific publications — 65. iowwaa@mail.ru; Academy of Federal Agency of protection of Russian Federation, Priborostroitel'naya Street, 35, Orel, 302034, Russia, office phone (4862)549934.

**Саитов Игорь Акрамович** — д-р техн. наук, профессор, сотрудник Академии ФСО России. Область научных интересов: анализ и синтез инфокоммуникационных сетей и систем. Число научных публикаций — 160. Akramovish@mail.ru; Академия ФСО России, Приборостроительная, 35, г. Орел, 302034, РФ; р.т. (4862)549801.

**Saitov Igor Akramovich** — Ph.D., Dr. Sci., professor, employee of Academy Federal Agency of protection of Russian Federation. Research interests: analysis and synthesis of infocommunicational networks and systems. The number of publications — 160. Akramovish@mail.ru; Academy of Federal Agency of protection of Russian Federation, Priborostroitel'naya Street, 35, Orel, 302034, Russia, office phone (4862)549801.

## РЕФЕРАТ

### **Иванцов О.В., Саитов И.А. Границы минимального кодового расстояния для некоторой блочной длины сегмента двоичного кода линейной рекуррентной последовательности.**

В статье рассматриваются сегменты линейных двоичных кодов максимальной длины, в качестве которых выступают участки разной блочной длины, выделяемые на семействе линейных рекуррентных последовательностей, образованных по закону примитивных полиномов. Доказывается, что нижняя и верхняя границы минимального кодового расстояния зависят от количества полных серий гипотетической  $M$ -последовательности (начиная с серий максимальной длины  $k$ ), помещающихся на участке длиной  $k \leq n \leq 2k-1+4$ .

Статья состоит из частей: 1) Введение 2) Анализ закономерностей влияния вида образующего полинома на минимальное кодовое расстояние сегмента двоичного кода ЛРП 3) Математическое описание вычислительного эксперимента по определению нижней границы  $d_{\min}^H$  для некоторых длин сегментов КМД 4) Математическое описание вычислительного эксперимента по определению аналитического выражения верхней границы  $d_{\min}^B$  для некоторых длин сегментов КМД 5) Заключение. Во введении указывается пути повышения, наличие некоторых теоретических проблем по вычислению минимального кодового расстояния для сегментов ЛРП, актуальность наличия быстрого и простого способа вычисления. Во второй части проводится анализ влияния вида и размерности образующего полинома на минимальное кодовое расстояние сегмента двоичного кода ЛРП. Выявленные закономерности определили необходимость применения в вычислительной системе гипотетической ЛРП. В третьей и четвертой частях авторами проведены вычислительные эксперименты по определению нижней и верхней границ соответственно с использованием гипотетической  $M_r$ -последовательности. Проведен сравнительный анализ полученных значений границ минимального кодового расстояния с машинным способом вычислений. Пятая часть ставит вопрос о возможности применения результатов быстрого вычисления при проектировании систем помехоустойчивого кодирования и синхронизации.



## SUMMARY

*Ivantsov O.B., Saitov I.A. Minimum distance border for random block length binary code segment of linear recurring sequence.*

The article considers the segments maximum length linear binary codes, such as different sections of the block length allocated on the family of linear recurring sequences, formed under the law of primitive polynomials. It is proved that the lower and upper bounds of the minimum distance of the code depends on the hypothetical M-sequence full series number (starting with a series of maximum length  $k$ ), locate on the  $k \leq n \leq 2k-1 + 4$  length.

The paper consists of parts: 1) Introduction 2) Analysis of the influence the forming polynomial type on the minimum binary LRS code segment distance 3) The mathematical description of the computational experiment to determine the lower border  $d_{\min}^H$  for some segment lengths MLC 4) The mathematical description of the computational experiment to determine the upper border analytical expression  $d_{\min}^B$  for some segment lengths MLC 5) Conclusion. The introduction indicates ways to improve some theoretical problems in a minimum distance calculating for the LRS code segment and showing availability a quick and easy calculating way. The second part is showing the impact analyzes of the form and the influence the forming polynomial type on the minimum binary LRS code segment distance. The revealed regularities identified the need to applying a hypothetical LRS in a computer system. In the third and fourth parts the authors carried out the computational experiments, to determine, lower and upper bounds, using a hypothetical  $M_r$ -sequence. A comparative analysis the obtained values of the minimum code distance boundaries with machine method is carried. The fifth part examines the opportunity of fast evaluation of the results of in antinoise coding and synchronize systems on design.

Р.Б. ТРЕГУБОВ, С.Н. ЛАЗАРЕВ, С.Ю. АНДРЕЕВ  
**АЛГОРИТМ НАХОЖДЕНИЯ К МАКСИМАЛЬНЫХ ПОТОКОВ**

---

*Трегубов Р.Б., Лазарев С.Н., Андреев С.Ю.* Алгоритм нахождения  $k$  максимальных потоков.

**Аннотация.** В работе предлагается оригинальный алгоритм решения прикладной задачи теории графов о нахождении  $k$  максимальных потоков между двумя заданными вершинами графа. Описываемый подход представляет собой комплексное применение в едином оптимизационном цикле алгоритма Форда-Фалкерсона (Эдмондса-Карпа или Диница) и алгоритма построения усеченного дерева состояний в ширину.

**Ключевые слова:** сеть связи с коммутацией пакетов, пропускная способность соединения, задача о максимальном потоке.

*Tregubov R.B., Lazarev S. N., Andreev S. Ju.* The algorithm of finding of  $k$  maximum flows.

**Abstract.** In the paper the original algorithm of solution of an applied task of the graph theory on finding of  $k$  maximum flows between the two set count's tops is proposed. The approach described represents a complex application of Ford-Fulkerson (Edmonds-Karp or Dinitz) algorithm and the algorithm of creation of a truncated tree of states in width in an indivisible optimizing cycle.

**Keywords:** a communication network with packet switching, connection capacity, the maximum flow task.

---

**1. Введение.** Управление трафиком в сети связи (СС) с коммутацией пакетов (КП) является одной из ключевых задач, решаемых в ходе обеспечения требуемого качества обслуживания пользователей. Под управлением трафиком далее понимается совокупность действий (процедур), реализованных в узлах коммутации пакетов (УКП) и направленных на максимально эффективное функционирование СС с КП при условии обеспечения требуемого качества обслуживания поступающих заявок.

В системе управления трафиком можно условно выделить три составляющие [1]: подсистему составления и заключения соглашения между пользователем и СС с КП по необходимому объему и качеству предоставляемых услуг (SLA); подсистему управления потоками пакетов; подсистему контроля параметров потоков пакетов.

Базовой для подсистемы управления потоками пакетов является функция управления доступностью соединения [1, 2]. На этапе установления нового виртуального соединения (ВС) в СС с КП данная функция заключается в определении, имеется ли в сети ресурс для обслуживания с требуемым качеством поступающего объема трафика. Новое ВС может быть поддержано СС с КП только в том случае, если имеется в наличии запрошенный ресурс, и при этом не снизится ниже требуемого значения качество обслуживания уже существующих ВС.

Для примера ниже рассматривается СС с КП со структурой, представленной на рисунке 1. Пусть требуется определить максимальную полосу пропускания ВС, в котором источник информации подключен к 1-му УКП, а приемник информации – к 5-му УКП. Логичным в данных условиях будет воспользоваться классическим решением задачи о максимальном потоке (минимальном разрезе) [3–11]. На сегодняшний день существует множество методов решения данной задачи: линейное программирование [11], алгоритм Форда-Фалкерсона [3], алгоритм Эдмондса-Карпа [4], алгоритм Диница [5], алгоритм проталкивания предпотока и алгоритм "поднять в начало" [4]. Кроме того в 2010 году команде ученых из разных научных заведений, состоящей из Джонатана Кельнера, Александра Мэдри, Поля Кристиано, Даниэля Спельмана и Шангуа Тенга, удалось найти принципиально новый подход, позволивший улучшить работу алгоритма поиска максимального потока впервые за 10 лет [6–8].

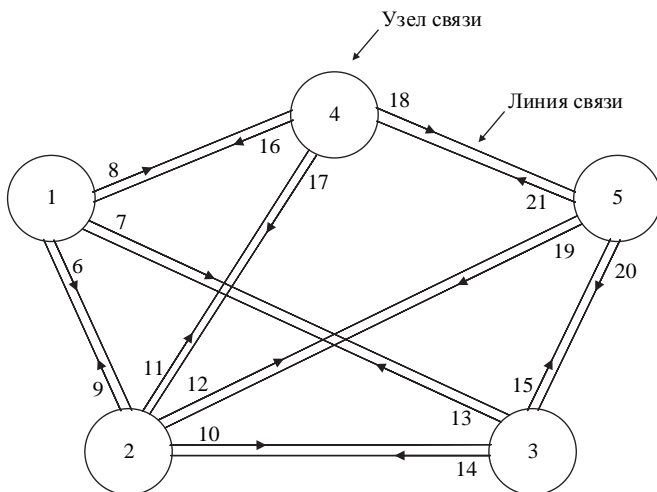


Рис. 1. Структура сети связи с пронумерованными элементами

Между тем в ходе реализации функций управления потоками пакетов в реальных СС важнее не просто получить список самых "узких" мест сети, а определить, как с наименьшими затратами их "расширить". Часто у администратора СС с КП имеется возможность увеличить пропускную способность отдельных направлений СС за счет дополнительной аренды/покупки ресурса у провайдера, однако рассмотренный выше инструментарий не позволяет определить параметры такого "расширения".

В свою очередь, известные решения поиска  $k$  максимальных потоков (минимальных разрезов), представленные в [12], такие как алгоритмы формирования множества простых разрезов методом сравнения и эвристическим методом обладают следующими недостатками: первый – требует значительных затрат для хранения промежуточных результатов вычисления, а второй – не исключает возможности неточных результатов в отдельных случаях.

Ниже предлагается алгоритм нахождения  $k$  максимальных потоков в порядке возрастания их пропускной способности лишенный данных недостатков.

**2. Алгоритм нахождения  $k$  максимальных потоков.** Граф СС с КП, структура которой показана на рисунке 1, целесообразно задать с помощью двух матриц смежности – в одной будут представлены номера элементов сети (узлов и линий связи), а в другой – их пропускная способность. Матрица смежности, в которой сосредоточены номера узлов сети и линий их соединяющих (если элемента нет, тогда его номер равен нулю) имеет вид:

$$M_{\text{номер}}^{\text{смежн}} = \begin{pmatrix} 1 & 6 & 7 & 8 & 0 \\ 9 & 2 & 10 & 11 & 12 \\ 13 & 14 & 3 & 0 & 15 \\ 16 & 17 & 0 & 4 & 18 \\ 0 & 19 & 20 & 21 & 5 \end{pmatrix}.$$

Матрица смежности, в которой представлены пропускные способности узлов и линий, их соединяющих (если элемента нет или вдоль него нельзя пустить поток, тогда его пропускная способность равна нулю; если пропускная способность элемента не определена, тогда она равна бесконечности) имеет вид:

$$M_{\text{проп.спос}}^{\text{смежн}} = \begin{pmatrix} \infty & 30 & 20 & 10 & 0 \\ 5 & \infty & 10 & 5 & 15 \\ 10 & 20 & \infty & 0 & 5 \\ 0 & 10 & 0 & \infty & 20 \\ 0 & 10 & 0 & 20 & \infty \end{pmatrix}.$$

Для удобства описания алгоритма введем ряд определений и одну процедуру.

*Определение 1.* Ограничивающее поток сечение (ОПС) – это такой набор элементов сети (узлов и/или соединительных линий), поток вдоль которых невозможно увеличить без изменения пропускной способности этих элементов.

Как правило, ОПС графа состоит из дуг, поток вдоль которых равен их пропускной способности. Такие дуги называют "насыщенными".

*Определение 2.* Ветвь дерева состояний – это последовательность элементов сети (узлов и/или соединительных линий), которая описывает группу состояний сети связи (последний элемент ветви – это пропускная способность ОПС для этой группы состояний, если ОПС не существует, тогда пропускная способность для этой группы состояний сети равна бесконечности).

Заметим, что часть элементов сети связи имеет ограниченную пропускную способность (положительные значения), а часть элементов – неограниченную пропускную способность (отрицательные значения) (рисунок 2).

Пример ветви дерева состояний:

$$vet_i = [8; -11; 12; 15; 40]. \quad (1)$$

Данная ветвь описывает группу состояний сети связи, которые представлены на рисунке 2.

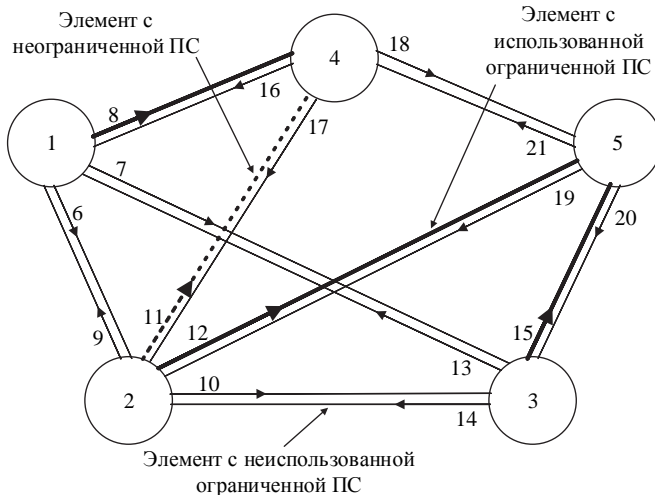


Рис. 2. Сеть связи, соответствующая ветви дерева состояний (выражение (1))

*Определение 3.* Ответвлением от ветви дерева состояний будем называть новую ветвь дерева состояний, которая получается путем перевода одного элемента с ограниченной пропускной способностью (положительное значение) в элемент с неограниченной пропускной способностью (отрицательное значение), при этом все последующие элементы, которые идут после него в исходной ветви из новой ветви исключаются. Пример формирования ответвления от ветви дерева состояний (см. выражение (1))

$$otk_i = [8; -11; 12; -15; \infty]. \quad (2)$$

*Определение 4.* Список ответвлений от ветви дерева состояний получается путем нахождения всех возможных ответвлений от элементов с ограниченной пропускной способностью исходной ветви, начиная с предпоследнего (последний элемент – это пропускная способность сети) и так далее, вплоть до первого элемента с неограниченной пропускной способностью. Если элементов с неограниченной пропускной способностью в исходной ветви дерева состояний нет, тогда вплоть до первого элемента исходной ветви.

Исходная ветвь дерева состояний

$$vet_j = [8; 11; 12; 15; 60]. \quad (3)$$

Список возможных ответвлений от исходной ветви

$$otk_1 = [8; 11; 12; -15; \infty], \quad (4)$$

$$otk_2 = [8; 11; -12; \infty], \quad (5)$$

$$otk_3 = [8; -11; \infty], \quad (6)$$

$$otk_4 = [-8; \infty]. \quad (7)$$

*Процедура.* Под формированием новых конкурирующих ветвей дерева состояний на основе списка ответвлений будем понимать следующую процедуру. Для каждого ответвления из списка, необходимо найти ОПС, используя алгоритм Форда-Фалкерсона (Эдмондса-Карпа, Диница или др.).

При этом необходимо учитывать, что часть элементов сети связи имеет неограниченную пропускную способность – это отрицательные номера элементов. Для таких элементов нужно заменить в исходной матрице  $M_{\text{проп.спос}}^{\text{смежн}}$  их реальную пропускную способность значением бесконечность (после того, как ОПС будет найдено (или же не найдено), снова восстановить исходные значения пропускных способностей

для соответствующих элементов). Если ОПС найдено, тогда с помощью его элементов необходимо дописать соответствующую строку списка ответвлений, при этом повторяющиеся элементы не пишутся, а в качестве последнего элемента ветви следует записать пропускную способность ОПС. Если путь не найден, тогда невозможно сформировать конкурирующую ветвь для такого состояния сети связи.

Ниже представлены новые ветви дерева состояний для списка ответвлений (см. выражения (4)–(7))

$$vet_k = [8; 11; 12; -15; 6; 7; 10; 60], \quad (8)$$

$$vet_{k+1} = [8; 11; -12; 6; 7; 14; 60], \quad (9)$$

$$vet_{k+2} = [8; -11; 12; 15; 18; 40], \quad (10)$$

$$vet_{k+3} = [-8; 12; 15; 17; 18; 40]. \quad (11)$$

Введенные выше определения и процедура позволяют сформулировать обобщенный алгоритм нахождения  $k$  максимальных потоков между двумя заданными вершинами графа.

I. Для исходной сети найти максимальный поток (минимальное сечение), используя алгоритм Форда-Фалкерсона (Эдмондса-Карпа, Диница или др.). Если такой поток будет равен бесконечности, тогда работа алгоритма заканчивается.

II. Найденное сечение необходимо записать в списки конкурирующих ветвей дерева состояний и конкурирующих сечений. Списки ответвлений и ОПС на этом шаге не содержат строк (эти списки пусты).

III. Подсчитать число строк в списке ОПС. Если оно равно числу  $k$ , то работа алгоритма заканчивается.

IV. Если список конкурирующих ветвей дерева состояний не содержит строк (список пустой), тогда работа алгоритма заканчивается. Иначе в списке конкурирующих ветвей необходимо найти строку с минимальной пропускной способностью (значение последнего элемента ветви дерева состояний). На ее основе сформировать список ответвлений и удалить эту ветвь из списка конкурирующих ветвей дерева состояний. Соответствующее ей сечение из списка конкурирующих сечений необходимо сравнить с уже имеющимися сечениями в списке ОПС, и, если такого сечения нет, записать его в список ОПС, а из списка конкурирующих сечений соответствующую строку удалить. Если же такое сечение уже есть (или это сечение является расширением уже имеющегося), то нужно удалить соответствующую строку из списка конкурирующих сечений.

V. Сформировать новые конкурирующие ветви дерева состояний на основе имеющегося списка ответвлений. При этом если для очередного ответвления сечение найдено, тогда оно записывается последним в список конкурирующих сечений, а полученная с его помощью новая ветвь дерева событий записывается в список конкурирующих ветвей в качестве последнего элемента (из списка ответвлений она удаляется). Если сечение не найдено, тогда соответствующая строка просто удаляется из списка ответвлений. По окончании работы данного шага алгоритма список ответвлений не должен содержать строк (список должен быть пустой).

VI. Переход на III шаг алгоритма.

Ниже работа данного алгоритма иллюстрируется на примере СС с КП, представленной на рисунке 1. Три ОПС между 1-м и 5-м узлом сети связи в порядке возрастания их пропускной способности находятся следующим образом.

*Шаг 1.* Список конкурирующих ветвей на первом шаге:

$$vet_1^* = [8; 11; 12; 15; 35] \quad (12)$$

Список ответвлений на первом шаге не содержит элементов:

$$otk_1 = [\emptyset]. \quad (13)$$

Список конкурирующих сечений на первом шаге:

$$cut_1^* = [8; 11; 12; 15; 35]. \quad (14)$$

Список ОПС на первом шаге:

$$ops_1 = [\emptyset]. \quad (15)$$

*Шаг 2.* Список конкурирующих ветвей на втором шаге:

$$vet_2 = [\emptyset]. \quad (16)$$

Список ответвлений на втором шаге:

$$otk_1 = [8; 11; 12; -15; \infty], \quad (17)$$

$$otk_2 = [8; 11; -12; \infty], \quad (18)$$

$$otk_3 = [8; -11; \infty], \quad (19)$$

$$otk_4 = [-8; \infty]. \quad (20)$$

Список конкурирующих сечений на втором шаге:

$$cut_1 = [\emptyset]. \quad (21)$$



Список ОПС на втором шаге:

$$ops_1 = [8; 11; 12; 15; 35]. \quad (22)$$

*Шаг 3.* Список конкурирующих ветвей на третьем шаге:

$$vet_1 = [8; 11; 12; -15; 7; 10; 60], \quad (23)$$

$$vet_2 = [8; 11; -12; 6; 14; 60], \quad (24)$$

$$vet_3^* = [8; -11; 12; 15; 18; 40], \quad (24)$$

$$vet_4 = [-8; 12; 15; 17; 18; 40]. \quad (25)$$

Список ответвлений на третьем шаге:

$$otk_1 = [\emptyset]. \quad (26)$$

Список конкурирующих сечений на третьем шаге:

$$cut_1 = [7; 8; 10; 11; 12; 60], \quad (27)$$

$$cut_2 = [6; 8; 14; 60], \quad (28)$$

$$cut_3^* = [12; 15; 18; 40], \quad (29)$$

$$cut_4 = [12; 15; 17; 18; 40]. \quad (30)$$

Список ОПС на третьем шаге:

$$ops_1 = [8; 11; 12; 15; 35]. \quad (31)$$

*Шаг 4.* Список конкурирующих ветвей на четвертом шаге:

$$vet_1 = [8; 11; 12; -15; 7; 10; 60], \quad (32)$$

$$vet_2 = [8; 11; -12; 6; 14; 60], \quad (33)$$

$$vet_3 = [-8; 12; 15; 17; 18; 40]. \quad (34)$$

Список ответвлений на четвертом шаге:

$$otk_1 = [8; -11; 12; 15; -18; \infty], \quad (35)$$

$$otk_2 = [8; -11; 12; -15; \infty], \quad (36)$$

$$otk_3 = [8; -11; -12; \infty]. \quad (37)$$

Список конкурирующих сечений на четвертом шаге:

$$cut_1 = [7; 8; 10; 11; 12; 60], \quad (38)$$

$$cut_2 = [6; 8; 14; 60], \quad (39)$$

$$cut_3 = [12; 15; 17; 18; 40]. \quad (40)$$

Список ОПС на четвертом шаге:

$$ops_1 = [8; 11; 12; 15; 35], \quad (41)$$

$$ops_2 = [12; 15; 18; 40]. \quad (42)$$

Шаг 5. Список конкурирующих ветвей на пятом шаге:

$$vet_1 = [8; 11; 12; -15; 7; 10; 60], \quad (43)$$

$$vet_2 = [8; 11; -12; 6; 14; 60], \quad (44)$$

$$vet_3^* = [-8; 12; 15; 17; 18; 40], \quad (45)$$

$$vet_4 = [8; -11; 12; 15; -18; 6; 14; 60], \quad (46)$$

$$vet_5 = [8; -11; 12; -15; 6; 7; 10; 18; 60], \quad (47)$$

$$vet_6 = [8; -11; -12; 6; 14; 18; 60]. \quad (48)$$

Список ответвлений на пятом шаге:

$$otk_1 = [\emptyset]. \quad (49)$$

Список конкурирующих сечений на пятом шаге:

$$cut_1 = [7; 8; 10; 11; 12; 60], \quad (50)$$

$$cut_2 = [6; 8; 14; 60], \quad (51)$$

$$cut_3^* = [12; 15; 17; 18; 40], \quad (52)$$

$$cut_4 = [6; 8; 14; 60], \quad (53)$$

$$cut_5 = [6; 7; 10; 18; 60], \quad (54)$$

$$cut_6 = [6; 8; 14; 18; 60]. \quad (55)$$

Список ОПС на пятом шаге не изменяется, так как найденное сечение является расширением найденного ранее:

$$ops_1 = [8; 11; 12; 15; 35], \quad (56)$$

$$ops_2 = [12; 15; 18; 40]. \quad (57)$$

Шаг 6. Список конкурирующих ветвей на шестом шаге:

$$vet_1 = [8; 11; 12; -15; 7; 10; 60], \quad (58)$$

$$vet_2 = [8; 11; -12; 6; 14; 60], \quad (59)$$

$$vet_3 = [8; -11; 12; 15; -18; 6; 14; 60], \quad (60)$$

$$vet_4 = [8; -11; 12; -15; 6; 7; 10; 18; 60], \quad (61)$$

$$vet_5 = [8; -11; -12; 6; 14; 18; 60]. \quad (62)$$

Список ответвлений на шестом шаге:

$$otk_1 = [-8; 12; 15; 17; -18; \infty], \quad (63)$$

$$otk_2 = [-8; 12; 15; -17; \infty], \quad (64)$$

$$otk_3 = [-8; 12; -15; \infty], \quad (65)$$

$$otk_4 = [-8; -12; \infty]. \quad (66)$$

Список конкурирующих сечений на шестом шаге:

$$cut_1 = [7; 8; 10; 11; 12; 60], \quad (67)$$

$$cut_2 = [6; 8; 14; 60], \quad (68)$$

$$cut_3 = [6; 8; 14; 60], \quad (69)$$

$$cut_4 = [6; 7; 10; 18; 60], \quad (70)$$

$$cut_5 = [6; 8; 14; 18; 60]. \quad (71)$$

Список ОПС на шестом шаге:

$$ops_1 = [8; 11; 12; 15; 35], \quad (72)$$

$$ops_2 = [12; 15; 18; 40]. \quad (73)$$

*Шаг 7.* Список конкурирующих ветвей на седьмом шаге:

$$vet_1 = [8; 11; 12; -15; 7; 10; 60], \quad (74)$$

$$vet_2 = [8; 11; -12; 6; 14; 60], \quad (75)$$

$$vet_3 = [8; -11; 12; 15; -18; 6; 14; 60], \quad (76)$$

$$vet_4 = [8; -11; 12; -15; 6; 7; 10; 18; 60], \quad (77)$$

$$vet_5 = [8; -11; -12; 6; 14; 18; 60], \quad (78)$$

$$vet_6^* = [-8; 12; 15; -17; 18; 40], \quad (79)$$

$$vet_7 = [-8; 12; -15; 7; 10; 17; 18; 65], \quad (80)$$

$$vet_8 = [-8; -12; 6; 14; 17; 18; 80]. \quad (81)$$

Список ответвлений на седьмом шаге

$$otk_1 = [\emptyset]. \quad (82)$$

Список конкурирующих сечений на седьмом шаге:

$$cut_1 = [7; 8; 10; 11; 12; 60], \quad (83)$$

$$cut_2 = [6; 8; 14; 60], \quad (84)$$

$$cut_3 = [6; 8; 14; 60], \quad (85)$$

$$cut_4 = [6; 7; 10; 18; 60], \quad (86)$$

$$cut_5 = [6; 8; 14; 18; 60], \quad (87)$$

$$cut_6 = [12; 15; 18; 40], \quad (88)$$

$$cut_7 = [7; 10; 12; 17; 18; 65], \quad (89)$$

$$cut_8 = [6; 14; 17; 18; 80]. \quad (90)$$

Список ОПС на седьмом шаге:

$$ops_1 = [8; 11; 12; 15; 35], \quad (91)$$

$$ops_2 = [12; 15; 18; 40]. \quad (92)$$

*Шаг 8.* Список конкурирующих ветвей на восьмом шаге:

$$vet_1 = [8; 11; 12; -15; 7; 10; 60], \quad (93)$$

$$vet_2 = [8; 11; -12; 6; 14; 60], \quad (94)$$

$$vet_3 = [8; -11; 12; 15; -18; 6; 14; 60], \quad (95)$$

$$vet_4 = [8; -11; 12; -15; 6; 7; 10; 18; 60], \quad (96)$$

$$vet_5 = [8; -11; -12; 6; 14; 18; 60], \quad (97)$$

$$vet_6 = [-8; 12; -15; 7; 10; 17; 18; 65], \quad (98)$$

$$vet_7 = [-8; -12; 6; 14; 17; 18; 80]. \quad (99)$$

Список ответвлений на восьмом шаге:

$$otk_1 = [-8; 12; 15; -17; -18; \infty]. \quad (100)$$

Список конкурирующих сечений на восьмом шаге:

$$cut_1 = [7; 8; 10; 11; 12; 60], \quad (101)$$

$$cut_2 = [6; 8; 14; 60], \quad (102)$$

$$cut_3 = [6; 8; 14; 60], \quad (103)$$

$$cut_4 = [6; 7; 10; 18; 60], \quad (104)$$

$$cut_5 = [6; 8; 14; 18; 60], \quad (105)$$

$$cut_6 = [7; 10; 12; 17; 18; 65], \quad (106)$$

$$cut_7 = [6; 14; 17; 18; 80]. \quad (107)$$

Список ОПС на восьмом шаге:

$$ops_1 = [8; 11; 12; 15; 35], \quad (108)$$

$$ops_2 = [12; 15; 18; 40]. \quad (109)$$

*Шаг 9.* Список конкурирующих ветвей на девятом шаге:

$$vet_1^* = [8; 11; 12; -15; 7; 10; 60], \quad (110)$$

$$vet_2 = [8; 11; -12; 6; 14; 60], \quad (111)$$

$$vet_3 = [8; -11; 12; 15; -18; 6; 14; 60], \quad (112)$$

$$vet_4 = [8; -11; 12; -15; 6; 7; 10; 18; 60], \quad (113)$$

$$vet_5 = [8; -11; -12; 6; 14; 18; 60], \quad (114)$$

$$vet_6 = [-8; 12; -15; 7; 10; 17; 18; 65], \quad (115)$$

$$vet_7 = [-8; -12; 6; 14; 17; 18; 80]. \quad (116)$$

Список ответвлений на девятом шаге:

$$otk_1 = [\emptyset]. \quad (117)$$

Список конкурирующих сечений на девятом шаге:

$$cut_1^* = [7; 8; 10; 11; 12; 60], \quad (118)$$

$$cut_2 = [6; 8; 14; 60], \quad (119)$$

$$cut_3 = [6; 8; 14; 60], \quad (120)$$

$$cut_4 = [6; 7; 10; 18; 60], \quad (121)$$

$$cut_5 = [6; 8; 14; 18; 60], \quad (122)$$

$$cut_6 = [7; 10; 12; 17; 18; 65], \quad (123)$$

$$cut_7 = [6; 14; 17; 18; 80]. \quad (124)$$

На девятом шаге не было найдено ни одного сечения.

Список ОПС на седьмом шаге:

$$ops_1 = [8; 11; 12; 15; 35], \quad (125)$$

$$ops_2 = [12; 15; 18; 40]. \quad (126)$$

*Шаг 10.* Список конкурирующих ветвей на десятом шаге:

$$vet_1 = [8; 11; -12; 6; 14; 60], \quad (128)$$

$$vet_2 = [8; -11; 12; 15; -18; 6; 14; 60], \quad (129)$$

$$vet_3 = [8; -11; 12; -15; 6; 7; 10; 18; 60], \quad (130)$$

$$vet_4 = [8; -11; -12; 6; 14; 18; 60], \quad (131)$$

$$vet_5 = [-8; 12; -15; 7; 10; 17; 18; 65], \quad (132)$$

$$vet_6 = [-8; -12; 6; 14; 17; 18; 80]. \quad (133)$$

Список ответвлений на десятом шаге:

$$otk_1 = [8; 11; 12; -15; 7; -10; \infty], \quad (134)$$

$$otk_2 = [8; 11; 12; -15; -7; \infty]. \quad (135)$$

Список конкурирующих сечений на десятом шаге:

$$cut_1 = [6; 8; 14; 60], \quad (136)$$

$$cut_2 = [6; 8; 14; 60], \quad (137)$$

$$cut_3 = [6; 7; 10; 18; 60], \quad (138)$$

$$cut_4 = [6; 8; 14; 18; 60], \quad (139)$$

$$cut_5 = [7; 10; 12; 17; 18; 65], \quad (140)$$

$$cut_6 = [6; 14; 17; 18; 80]. \quad (141)$$

Список ОПС на десятом шаге:

$$ops_1 = [8; 11; 12; 15; 35], \quad (142)$$

$$ops_2 = [12; 15; 18; 40], \quad (143)$$

$$ops_3 = [7; 8; 10; 11; 12; 60]. \quad (144)$$

*Шаг 11.* Работа алгоритма заканчивается, так как были найдены три максимальных потока между 1-м и 5-м узлом сети в порядке возрастания их пропускной способности.

**3. Заключение.** Обоснование эффективности предлагаемого в работе алгоритма основано на том очевидном факте, что длины новых ветвей дерева событий, получаемые на V шаге алгоритма, не могут быть меньше длины исходной ветви, ответвлениями от которой они являются. Предлагаемый в работе алгоритм может найти применение в СС с КП на этапе установления ВС для определения максимальной полосы пропускания в данном информационном направлении, а также в методах расчета структурной надежности сетей связи, использующих алгоритмы поиска простых сечений графа.

## Литература

1. *Вегишна Ш.* Качество обслуживания в сетях IP: пер. с англ. // М.: Издательский дом "Вильямс". 2003. 368 с.
2. *Кучерявый Е.А.* Управление трафиком и качество обслуживания в сети Интернет // СПб.: Наука и Техника. 2004. 336 с.
3. *Ford L.R., Fulkerson Jr. Fulkerson, D.R.* Maximal Flow through a Network // Canadian Journal of Mathematics. 1956. pp. 399–404.
4. *Кормен Т., Лейзерсон Ч., Ривест Р., Штайн К.* Алгоритмы: построение и анализ. 3-е издание // М.: "Вильямс". 2013. 1323 с.
5. *Dinitz Y.* Dinitz' Algorithm: The Original Version and Even's Version // Theoretical Computer Science: Essays in Memory of Shimon Even. Springer, 2006. pp. 218–240.
6. *Arora S., Hazan E., Kale S.* The multiplicative weights update method: A meta-algorithm and applications // Theory OF Computing. 2012. pp. 121–164.
7. *Christiano P., Kelner J., Madry A., Spielman D., Teng S.* Electrical Flows, Laplacian Systems, and Faster Approximation of Maximum Flow in Undirected Graphs // Proceedings of the forty-third annual ACM symposium on Theory of computing (STOC 2011). 2011. pp. 273–282.
8. *Lee Y.T., Rao S., Srivastava N.* A new approach to computing maximum flows using electrical flows // Proceedings of the forty-fifth annual ACM symposium on Theory of computing (STOC 2013). 2013. pp. 755–764.
9. *Кристофидес Н.* Теория графов. Алгоритмический подход // М.: Мир. 1978. 432 с.
10. *Нечепуренко М.И., Попков В.К., Майнагашиев С.М.* Алгоритмы и программы решения задач на графах и сетях // Новосибирск: Наука. Сиб. отделение. 1990. 515 с.
11. *Таха Х. А.* Введение в исследование операций. 6-е издание: пер. с англ. // М.: Издательский дом "Вильямс". 2001. 915 с.
12. *Дудник Б. Я., Овчеренко В. Ф., Орлов В. К. и др.* Надежность и живучесть систем связи / Под ред. Б. Я. Дудника // М.: Радио и связь. 1984. 216 с.

## References

1. *Vegeshna Sh.* *Kachestvo obsluzhivaniya v setjah IP* [Quality of service in networks IP] М.: Izdatel'skij dom "Vil'jams". 2003. 368 p. (In Russ.).
2. *Kucherjavij E.A.* *Upravlenie trafikom i kachestvo obsluzhivaniya v seti Internet* [Traffic Management and quality of service in the Internet]. SPb.: Nauka i Tehnika. 2004. 336 p. (In Russ.).
3. *Ford L.R., Fulkerson Jr. Fulkerson, D.R.* Maximal Flow through a Network. Canadian Journal of Mathematics. 1956. pp. 399–404.
4. *Kormen T., Lejzerson Ch., Rivest R., Shtajn K.* *Algoritmy: postroenie i analiz. 3-e izdanie* [Algorithms: construction and analysis. 3rd edition]. М.: "Vil'jams". 2013. 1323 p. (In Russ.).
5. *Dinitz Y.* Dinitz' Algorithm: The Original Version and Even's Version. Theoretical Computer Science: Essays in Memory of Shimon Even. Springer, 2006. pp. 218–240.
6. *Arora S., Hazan E., Kale S.* The multiplicative weights update method: A meta-algorithm and applications. Theory OF Computing. 2012. pp. 121–164.
7. *Christiano P., Kelner J., Madry A., Spielman D., Teng S.* Electrical Flows, Laplacian Systems, and Faster Approximation of Maximum Flow in Undirected Graphs. Proceedings of the forty-third annual ACM symposium on Theory of computing (STOC 2011). 2011. pp. 273–282.
8. *Lee Y.T., Rao S., Srivastava N.* A new approach to computing maximum flows using electrical flows. Proceedings of the forty-fifth annual ACM symposium on Theory of computing (STOC 2013). 2013. pp. 755–764.

9. Kristofides N. *Teorija grafov. Algoritmicheskiy podhod* [Graph theory. Algorithmic approach]. M.: Mir. 1978. 432 p. (In Russ.).
10. Nechepurenko M.I., Popkov V.K., Majnagashev S.M. *Algoritmy i programmy resheniya zadach na grafah i setjah* [Algorithms and software of solutions problems on graphs and networks]. Novosibirsk: Nauka. Sib otdelenie, 1990. 515 p. (In Russ.).
11. Taha H. A. *Vvedenie v issledovanie operacija. 6-e izdanie: per. s angl.* [Introduction to Operations Research]. M.: Izdatel'skiy dom "Vil'jams". 2001. 915 p. (In Russ.).
12. Dudnik B. Ja., Ovcherenko V. F., Orlov V. K., et al. *Nadezhnost' i zhivuchest' sistem svyazi. Pod red. B. Ja. Dudnika* [Reliability and survivability of communication systems. Edited by Dudnik B. Ja.]. M.: Radio i svjaz'. 1984. 216 p. (In Russ.).

**Трегубов Роман Борисович** — к-т техн. наук, сотрудник Академии ФСО России. Область научных интересов: теория графов, теория массового обслуживания, теория вероятностей, применение методов математического моделирования в телекоммуникациях. Число научных публикаций — 61. [treba@list.ru](mailto:treba@list.ru); Академия ФСО России, ул Приборостроительная, д. 35, г. Орел, 302034, РФ; п.т.: +7(4862)54-9731.

**Tregubov Roman Borisovich** — Ph.D., employee of the Academy of Federal Agency of protection of Russian Federation. Research interests: graph theory, waiting theory, probability theory, application of mathematical model approaches in telecommunications. The number of publications — 61. [treba@list.ru](mailto:treba@list.ru); Academy of Federal Agency of protection of Russian Federation, Priborostroitelnaya Street, 35, Orel, 302034, Russia; office phone: +7(4862)54-9731.

**Лазарев Сергей Николаевич** — доцент, сотрудник Академии ФСО России. Область научных интересов: теория графов, теория массового обслуживания, теория вероятностей, применение методов математического моделирования в телекоммуникациях. Число научных публикаций — 60. [serg.orel@mail.ru](mailto:serg.orel@mail.ru); Академия ФСО России, ул Приборостроительная, д. 35, г. Орел, 302034, РФ; п.т.: +7(4862)54-9731.

**Lazarev Sergej Nikolaevich** — associate professor, employee of the Academy of Federal Agency of protection of Russian Federation. Research interests: graph theory, waiting theory, probability theory, application of mathematical model approaches in telecommunications. The number of publications — 60. [serg.orel@mail.ru](mailto:serg.orel@mail.ru); Academy of Federal Agency of protection of Russian Federation, Priborostroitelnaya Street, 35, Orel, 302034, Russia; office phone: +7(4862)54-9731.

**Андреев Сергей Юрьевич** — сотрудник Академии ФСО России. Область научных интересов: теория графов, теория массового обслуживания, теория вероятностей, применение методов математического моделирования в телекоммуникациях. Число научных публикаций — 1. [us12a@mail.ru](mailto:us12a@mail.ru); Академия ФСО России, ул Приборостроительная, д. 35, г. Орел, 302034, РФ; п.т.: +7(4862)54-9731.

**Andreev Sergej Jur'evich** — employee of the Academy of Federal Agency of protection of Russian Federation. Research interests: graph theory, waiting theory, probability theory, application of mathematical model approaches in telecommunications. The number of publications — 1. [us12a@mail.ru](mailto:us12a@mail.ru); Academy of Federal Agency of protection of Russian Federation, Priborostroitelnaya Street, 35, Orel, 302034, Russia; office phone: +7(4862)54-9731.



## РЕФЕРАТ

*Трегубов Р.Б., Лазарев С.Н., Андреев С.Ю.* **Алгоритм нахождения  $k$  максимальных потоков.**

Управление трафиком в сети связи с коммутацией пакетов является одной из ключевых задач. В процессе ее решения, на этапе установления нового соединения осуществляется проверка, имеется ли в сети ресурс для обслуживания данного соединения с требуемым качеством. Однако в ходе реализации функций управления трафиком важно не просто знать список самых "узких" мест в сети, но и как их с наименьшими затратами "расширить".

В работе предлагается оригинальный алгоритм решения прикладной задачи теории графов о нахождении  $k$  максимальных потоков между двумя заданными вершинами графа, который позволяет решить данную проблему.

Описываемый подход представляет собой комплексное применение в едином оптимизационном цикле алгоритма Форда-Фалкерсона (Эдмондса-Карпа или Диница) и алгоритма построения усеченного дерева состояний в ширину. Особенности работы алгоритма демонстрируются на примере решения задачи нахождения  $k$  максимальных потоков для ориентированного графа.

Предлагаемый алгоритм может найти применение как на этапе установления нового соединения (для определения максимальной полосы пропускания в данном информационном направлении), так и в методах расчета структурной надежности сетей связи, использующих алгоритмы поиска простых сечений.

## SUMMARY

*Tregubov R.B., Lazarev S. N., Andreev S. Ju.* **The algorithm of finding of  $k$  maximum flows.**

The traffic control in a communication network with switching of packages is one of the key tasks. To solve it, at the stage of establishment of new connection it is tested, whether the network has a resource to maintain this connection with the quality demanded. However while implementing functions of traffic control it is important to know the list of weak points of the network as well as the best way to overcome them.

To solve this problem the paper proposes the original algorithm of solution of an applied task of the graph theory on finding of  $k$  maximum flows between the two set count's tops.

The approach described represents a complex application of Ford-Fulkerson (Edmonds-Karp or Dinitz) algorithm and the algorithm of creation of a truncated tree of states in width in an indivisible optimizing cycle. The solution of the problem of finding of  $k$  of the maximum flows for the focused count demonstrates the peculiarities of algorithm functioning.

The algorithm suggested can be applied to define the maximum strip of a transmission in this information direction at the stage of establishment of new connection as well as to calculate the structural reliability of the communication networks using algorithms of simple sections search.

Н.В. АБАЛОВ, В.В. ГУБАРЕВ, О.К. АЛЬСОВА  
**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ СИНГУЛЯРНОГО  
СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛИЗА И МОДЕЛЕТЕКИ ПРИ  
ИДЕНТИФИКАЦИИ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ**

---

*Абалов Н.В., Губарев В.В., Альсова О.К. Использование методов сингулярного спектрального анализа и моделетеки при идентификации временных рядов.*

**Аннотация.** Сингулярный спектральный анализ (ССА) является относительно новым методом анализа нестационарных временных рядов. Слабой стороной ССА является отсутствие аналитического модельного представления ряда, например, в виде суммы простых функций, компактное аналитическое представление которых могло бы быть нагляднее и доступнее для интерпретации, чем совокупность большого количества компонент. В настоящей работе описан оригинальный метод вариативного моделирования, позволяющий устранить отмеченную слабую сторону ССА путем совместного использования его и метода моделетеки для получения компактного и легко интерпретируемого модельного представления изучаемого временного ряда с желаемым уровнем его адекватности ряду, цели и условиям идентификации.

Первый этап предлагаемого метода заключается в разложении исходного временного ряда на компоненты с помощью ССА. Разложение исходного ряда завершается выделением интересующих исследователя компонент. На втором этапе компоненты идентифицируются моделями из априори сформированной моделетеки согласно целям идентификации. Результатом является результирующая модель исходного временного ряда в аддитивной или аддитивно-мультипликативной форме.

Применимость метода рассматривается на примерах идентификации искусственного ряда и реальных ежедневного данных изменения мутности воды в реке в г. Челябинске за 2005 г.

**Ключевые слова:** спектральный анализ, сингулярный спектральный анализ, моделетека, временные ряды, нестационарный временной ряд, вариативное моделирование, модель.

*Abalov N.V., Gubarev V.V., Alsova O.K. Use of methods of singular spectral analysis and modeleteka for the identification of time series.*

**Abstract.** Singular spectrum analysis (SSA) is relatively new method for analysis of non-stationary time series. The weakness of SSA is lack of analytical model representation of time series, e.g., as a sum of simple functions, which could be clearer and easier for interpretation than a large number of components in form of time series.

In this paper we propose to use variative modeling, based on joint use of SSA and method of modeleteka, for obtaining of analytical model of time series, providing necessary level of adequacy, compactness and interpretability. First, time series are decomposed into components using SSA, significant components are selected using formal indicators (e.g. variance contributed by component, etc.). Second, each significant component is identified according to the purpose of identification with simple and interpretable model from preformed modeleteka. The result is final model of time series in additive or additive-multiplicative form.

Applicability of the method is shown on synthetic data and time series of daily changes of water turbidity in the river in the city of Chelyabinsk in 2005.

**Keywords:** spectral analysis, singular spectral analysis, modeleteka, time series, non-stationary time series, variative modeling, model, identification.

---

**1. Введение.** Под идентификацией временных рядов (ВР) понимается построение их моделей по эмпирическим значениям ряда. Чаще всего при этом стремятся, чтобы модель задавалась аналитически и

удовлетворяла определенным требованиям. Среди них, например, такие: 1) модель должна быть как можно более компактной, т.е. содержать как можно меньше структурных составляющих, параметров; 2) она должна позволять прикладным специалистам осуществлять интерпретацию модели, её составляющих и параметров; 3) модель должна быть четко ориентирована на конкретную задачу, ради решения которой она создавалась, либо допускать многофункциональное (многозадачное) её применение. Это, например, задачи: сжатия данных (ВР), имитации, прогнозирования, анализа и синтеза объекта, порождающего ВР, и т.д.

Однако разработанный и применяемый на данный момент инструментарий для определения структуры и модельного представления ВР зачастую не позволяет достичь желаемого качества идентификации одновременно с простотой и интерпретируемостью полученных результатов. Часто это вызвано тем, что ВР имеют сложную априори неизвестную структуру и характеризуются наличием нестационарности и компонент различной формы. Во многих приложениях ВР состоит из тренда, затухающих колебаний или биений, а также включает набор периодических колебаний, соответствующих сезонным составляющим (см., например, [1]).

Наиболее распространённым при идентификации таких ВР является двухэтапный подход [2, 3]. На первом этапе изучается структура ВР с использованием периодограммного спектрального анализа (ПСА). На втором – строится модельное описание ВР с использованием полигармонических моделей. Основными недостатками такого подхода являются: необходимость предварительной обработки ВР для устранения нестационарности, поскольку периодограммный СА требует предположения о стационарности ВР; фиксированность базиса разложения, состоящего лишь из гармонических колебаний.

Относительно новым методом анализа временных рядов является сингулярный спектральный анализ (ССА), описание которого и его объединение с методом «Гусеница» можно найти, например, в [4]. Среди основных сильных сторон этого метода можно отметить то, что он: не требует предположения о стационарности процесса; применим к коротким зашумленным рядам; позволяет выделять как сложные нестационарные компоненты, в частности аддитивный нелинейный тренд, медленно затухающие на интервале наблюдения колебания, так и периодические компоненты, а также шум.

Слабой стороной ССА является отсутствие аналитического модельного представления ряда.

Цель работы: описание разработанного метода и структуры программного обеспечения позволяющих осуществлять многофункциональную идентификацию ВР с достаточной для прикладных задач адекватностью на интервале наблюдения ВР в следующих условиях: а) априорная неопределенность о структуре компонент модели ВР; б) допустимость гипотезы о пригодности для описания ВР модели нестационарного случайного процесса в виде аддитивного или мультипликативного тренда и суммы стационарных (в широком смысле) периодических компонент и аperiodических компонент, в частности шума; в) возможность априори неизвестного компактного описания выделенных компонент модели.

**2. Описание предлагаемого метода.** Построение модели ВР непосредственно на основе исходного временного ряда в условиях априорной неопределенности о её структуре, а именно её состава, формы отдельных компонент и их количества сложен и зачастую основывается на гипотетических предположениях о структуре временного ряда. Один вариант решения задачи – выбор сложной модели и подгонка её к ВР. Второй – представить модель аддитивной, мультипликативной или аддитивно-мультипликативной совокупностью простейших моделей, выбрать и подгонять множество простых моделей к каждой компоненте исходного ряда, а затем, при необходимости, переводить их в более сложное компактное аналитическое представление.

Суть предлагаемого метода сводится к двухэтапной идентификации, реализующей второй вариант. На первом этапе производится разложение ряда с использованием метода ССА на множество различных по свойствам компонент, с выделением, по процедурам, описанным в [4], из них наиболее значимых (по формальным показателям, например, по доле их вклада в общую дисперсию ВР, либо по их практической значимости или интерпретируемости). ССА является аналогом применяемого для исследования ВР многомерного метода главных компонент (МГК). Базовый вариант метода состоит в преобразовании одномерного ряда с использованием сдвиговой оконной процедуры («Гусеница») в представляемый в матричной форме многомерный ряд, разложении его на компоненты, число которых определяется размером окна, выделения в них наиболее значимых компонент и восстановления (аппроксимации) ряда, очищенного от нежелательных компонент.

На втором этапе каждая из отобранных компонент исследуется на пригодность включения её в модели как аддитивной или мультипликативной составляющей и идентифицируется как можно более про-

стой и хорошо интерпретируемой, согласно цели идентификации, моделью, выбираемой из предварительно сформированной моделетeki. Под моделетеккой понимается упорядоченное множество моделей [3, 5]. В результате получается итоговая модель ряда в аддитивной, мультипликативной или аддитивно-мультипликативной форме.

Это позволяет использовать моделетекку из небольшого набора простых проверенных моделей для выбора наиболее адекватной (по формальным или функциональным показателям) модели к каждой из компонент по отдельности. Заметим, что использование на первом этапе ССА позволяет сразу выделить те компоненты, которые интересуют исследователя, а применение моделетeki позволяет автоматизировать апостериорный выбор модели этих компонент. Это следует из самого принципа формирования моделетeki как упорядоченного множества моделей, удовлетворяющих требованиям простоты, полноты, минимальной избыточности, уровня описания и исследованности в приложении к конкретной предметной области [3, 5].

**3. Структура системы, реализующей подход.** Предлагаемый метод может быть реализован системой, состоящей из нескольких крупных модулей, представленной на рисунке 1.

Первый этап предлагаемого метода заключается в разложении исходного ВР, формируемого в модуле 1, на компоненты с помощью ССА.



Рис. 1. Структура системы

Разложение исходного ряда завершается выделением интересующих исследователя компонент, которые могут быть проинтерпретированы как тренд, сезонные и циклические составляющие, а также шумы. За выполнение данного этапа отвечает модуль 2, который учитывает параметры разложения, полученные от специального модуля 3 (в простейшем случае параметр один - длина окна). Полученные в ходе разложения компоненты ВР, в целях уменьшения расчетов, могут быть сгруппированы (в частности парами, так как гармонические ко-

лебания раскладываются на две компоненты) автоматически или вручную.

На втором этапе все компоненты, полученные в результате разложения, передаются в модуль 4 для поиска и подгонки моделей, выбираемых из моделетеки. В стартовом варианте реализации системы в состав моделетеки были включены следующие простейшие модели: линейная, кусочно-линейная, полигармонические, вейвлет (мексиканская шляпа), сумма вейвлета и гармонического колебания, рациональная функция, сумма двух гауссовых кривых. В простейшем варианте выбор модели может осуществляться перебором всех возможных моделей из множества, когда отбирается та из них, которая обеспечивает наилучшую в принятом смысле адекватность в результате аппроксимации ею эмпирических данных. При большем количестве перебираемых моделей можно использовать известные [3, 5] приемы автоматизации упорядочивания и выбора моделей. При отборе моделей учитывается не только качество (значение формальной меры адекватности модели ВР), но и сложность модели. Если значения показателей качества простой и сложной модели совпадают или близки, то приоритет следует отдавать более простой, и, как правило, легче интерпретируемой модели. С целью упрощения полученного результата в модуле 6 решаются вопросы повышения компактности полученного модельного представления, например, путем выявления общего мультипликативного тренда нескольких компонент. Итоговый результат окончательно формируется и выдается пользователю в модуле 6.

Рассмотрим результаты, получаемые с применением упрощенной реализации предложенного метода согласно рисунку 1 в программной среде MATLAB.

**4. Примеры применения предлагаемого метода.** Для проверки работоспособности и качества предлагаемого метода применим используемый для метрологической аттестации средств измерительной техники метод образцового сигнала. Для этого на вход системы подадим искусственный временной ряд, характеристики которого известны и близки реальным временным рядам. Например таким, с которыми приходится работать при анализе инфекционной обстановки и состояния окружающей среды [1, 2], содержащими нестационарные, периодические компоненты и шум.

Искусственный ряд  $x(t)$  содержит 365 наблюдений (шаг дискретизации времени – 1 день,  $t = 0, \dots, 365$ ) и состоит из 5 детерминированных компонент, имеющих периодический характер:

$$x(t) = 4 + 4 \sin(0,5 + 2\pi / 1365) + 0,91 \sin(1 + 2\pi / 7) - 0,72 \sin(1 + 2\pi / 11) \cdot \sin(2\pi / 172) - 1,1 \sin(1 + 2\pi / 31) - 0,8 \sin(0,065 + 2\pi / 365,2) + \varepsilon(t).$$

Случайная компонента  $\varepsilon(t)$  имеет распределение, близкое к нормальному с нулевым средним и среднеквадратическим отклонением, составляющим 10% от среднеквадратического отклонения суммы детерминированных компонент. Колебания с периодом в 1365 дней рассматриваются как монотонный тренд, так как длина окна наблюдения значительно меньше периода данной компоненты.

Согласно процедурам ССА [4] из сингулярного разложения ряда были выделены первые 11 компонент по степени убывания значимости, дающих долю объясненной дисперсии, равную примерно 0,99.

Полученные 11 компонент были сгруппированы на основе визуального анализа графиков компонент (на основе процедур описанных в [4]). В результате было выделено 4 отдельных компонент, которые были переданы в модуль подгонки моделей. При ручном выборе модели было решено использовать следующие модели: 1 компонента (тренд, медленные колебания) – гармоническое колебание с аддитивным линейным трендом, 2, 3 компоненту – гармоническое колебание (синус). Поскольку 4-я компонента представляет собой биения, для ее описания была выбрана более сложная модель – «сумма двух синусоид» (что с учетом тригонометрических свойств эквивалентно произведению синусоид). В примере использовались достаточно простые модели.

Как видно из графиков, приведенных на рисунке 2, модели приемлемо точно подогнаны к исходным данным. Коэффициент детерминации  $R^2$  – доля дисперсии, объясненная суммарной моделью, – составила 0,99. Мы получили адекватную и компактную модель  $y(t)$ , где  $t = 0, \dots, 365$ , аналитически описывающую исходный временной ряд и имеющую вид:

$$y(t) = -1,64 \sin(0,013t + 1,25) - 0,0022t + 7,66 + 1,08 \sin(0,20t + 3,95) + 0,9 \sin(0,9t + 0,12) + 0,35 \sin(0,53t - 1,16) + 0,35 \sin(0,61t + 2).$$

В качестве второго примера рассмотрим реальные данные, представляющие собой значения мутности воды в реке в г. Челябинске за 2005 год. График временного ряда приведен на рисунке 3. Исходные данные были взяты из банка данных CliWaDIn (Climate, Water, Diseases, Infections) [6]. Данный ряд был выбран как пример явно нестационарного ряда с разладкой, к которому плохо применимы классические методы.

В силу априорной неопределенности о структуре модели ВР проиллюстрируем, что даст применение для идентификации этого ВР классического периодограммного анализа и предполагаемого метода.

Нетрудно убедиться, что нестационарность ряда затрудняет получение адекватных результатов с использованием классического периодограммного анализа.

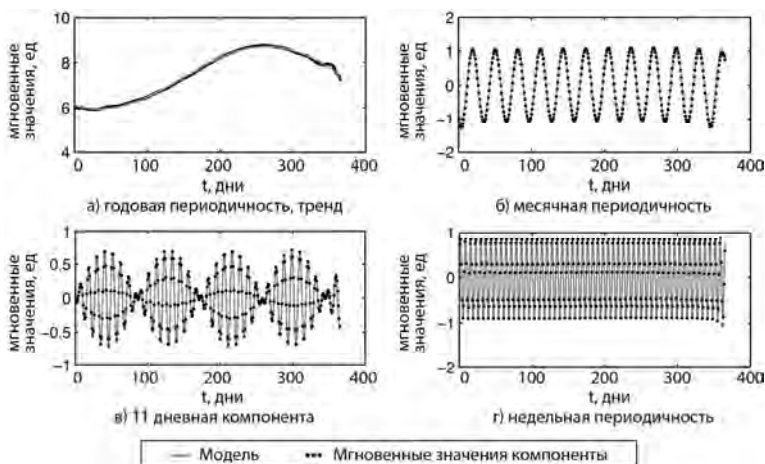


Рис. 2. Графики компонент и подогнанных моделей

Анализ периодограммы не позволяет сделать адекватные предположения о структуре ряда, поскольку медленные трендовые составляющие ряда и прочие нестационарности «размывают» значения периодограммы в районе низких частот. Для повышения «структурной информативности» периодограммы предварительно вычтем трендовую составляющую. Воспользуемся простейшим экспоненциальным сглаживанием для его выделения. Из графика (рисунок 3) видно, что в данном случае вместе с трендом также были частично удалены колебания, что нежелательно с точки зрения возможной потери значимых периодических компонент идентификационной модели ВР.

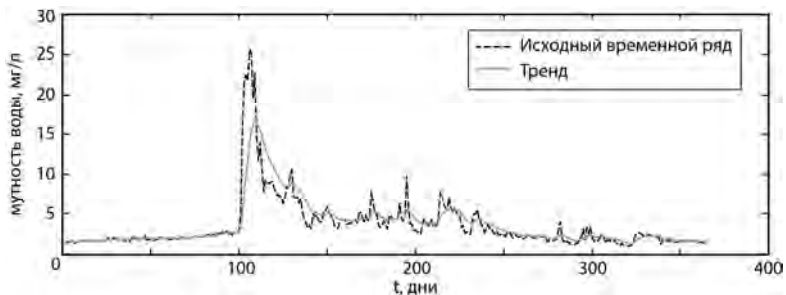


Рис. 3. Мутность воды в реке в городе Челябинске за 2005 год



Квазистационарная периодограмма, полученная для ряда за вычетом тренда, более наглядна и интерпретируема по сравнению с периодограммой, полученной для исходного ряда. Тем не менее, и в ней сохраняются значения трендовых компонент. Анализ такой периодограммы позволяет предложить модель в виде суммы трендовой и полигармонической составляющей, состоящей из 6 компонент (пар синусов и косинусов одной частоты).

$$y(t) = s(t, 0,15) - 0,51 \sin(2\pi \cdot 0,047) + 0,49 \cos(2\pi \cdot 0,047) + \\ + 0,032 \sin(2\pi \cdot 0,044) - 0,67 \cos(2\pi \cdot 0,044) - 0,52 \sin(2\pi \cdot 0,036) - \\ - 0,39 \cos(2\pi \cdot 0,036) - 0,38 \sin(2\pi \cdot 0,016) - 0,38 \cos(2\pi \cdot 0,016) - \\ - 0,48 \sin(2\pi \cdot 0,027) + 0,22 \cos(2\pi \cdot 0,027) + 0,165 \sin(2\pi \cdot 0,011) + \\ + 0,47 \cos(2\pi \cdot 0,011),$$

где  $s(t, \alpha) = s(t-1) + \alpha[x(t) - s(t-1)]$ .

Доля объясненной дисперсии суммарной модели составила 0,81. При этом часть ряда была описана моделью экспоненциального сглаживания, которая является менее информативной с точки зрения предварительного анализа, чем, например, гармонические или линейные модели, позволяющие оценить параметры процесса: периодичность, темп роста и т.п. Более того, трендовая составляющая, описанная экспоненциальным сглаживанием, дает долю объяснённой дисперсии исходного ряда равную 0,72, т.е. значительная часть структуры ряда объясняется слабо информативной моделью. Увеличение числа компонент с 6 до 8 дает увеличение коэффициента детерминации суммарной модели лишь на 0,016.

Наличие размазанности по частотам в периодограмме свидетельствует о том, что некоторые компоненты имеют непериодический характер и, возможно, могут быть описаны более компактно при использовании базиса, отличного от гармонического. Это наталкивает на использование моделетеки, в рамках которой следует совмещать полигармонические модели с другими видами моделей, например, линейными и вейвлетами. Как будет видно из дальнейшего, некоторые компоненты изучаемого ряда имеют вейвлет-подобную форму. Описание таких компонент только гармониками повышает сложность модели и снижает ее интерпретируемость.

Стоит отметить, что даже при использовании лишь гармонического базиса анализ структуры ряда в предлагаемом подходе упрощается по сравнению с классическим, так как рассматривается не весь ряд в целом, а его отдельные компоненты. Кроме того упрощается решение вопросов соответствия модели требуемому уровню адекватно-

сти, поскольку исследователь будет в итоге иметь знания о вкладе каждой из выделенных компонент в мощность всего ВР.

Теперь используем предлагаемый метод. С помощью ССА из ряда были выделены 15 компонент. Часть компонент была сгруппирована в результате визуального анализа. После чего отобранные и сгруппированные компоненты были аппроксимированы моделями, выбранными из моделетеки.

Как уже упоминалось, метод позволяет широко изменять используемый базис. Для одной компоненты в принципе можно подобрать не одну модель. Это позволит исследователю рассмотреть одни и те же данные с разных сторон, варьируя модели в зависимости от текущих целей исследования. На рисунке 4 приведены примеры полученных моделей для первой и второй компонент, соответствующих трендовой составляющей ряда.

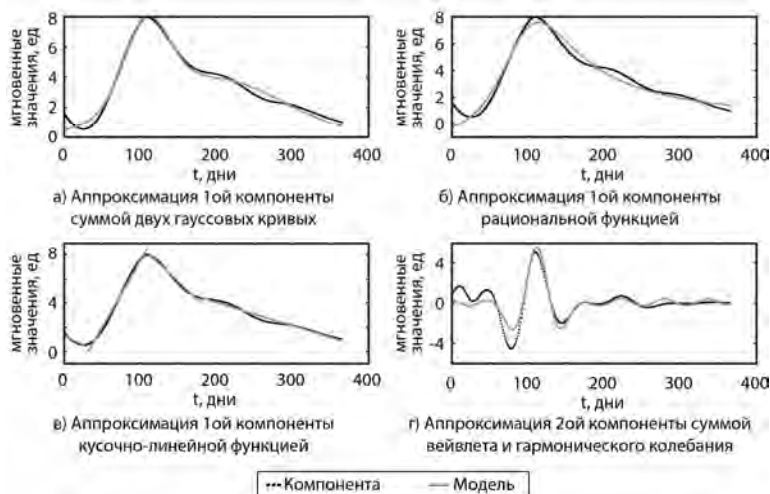


Рис. 4. Аппроксимации первой и второй компонент моделями различного вида

Для первой компоненты можно получить приемлемо адекватные модели, используя сумму двух гауссовых кривых (рисунок 4, а), рациональную функцию (рисунок 4, б) или кусочно-линейную аппроксимацию (рисунок 4, в). Варьируя модели, включаемые в финальную модель ряда, можно решать различные задачи. Так для задач краткосрочного прогнозирования могут использоваться более точные, но сложные модели, а для других задач могут быть использованы более простые в интерпретации модели. Вторая компонента может быть аде-

кватно и компактно описана в виде суммы вейвлета (мексиканская шляпа) и гармонического колебания (рисунок 4, г).

Для остальных 3 компонент на данном этапе были использованы вейвлет Морле и полигармонические модели, которые могли бы быть описаны более компактно при наличии в моделетексти соответствующих моделей. Отбор моделей, которые могли бы компактно и адекватно описать данные компоненты для включения в моделетексту, требует дополнительных исследований.

Графики этих компонент и подогнанных моделей приведены на рисунке 5. Из них видно, что некоторые компоненты (рисунок 5, а, б) могут быть компактно описаны с помощью различных вейвлетов. Кроме того можно предположить наличие мультипликативного тренда, имеющего максимум, приходящийся на весенние месяцы. Суммарная модель может быть записана как  $y(t) = y_1(t) + y_2(t) + y_3(t) + y_4(t) + y_5(t)$ , где:

$$y_1(t) = 5,22 \exp \left[ - \left( \frac{t-108,1}{41,24} \right)^2 \right] + 3,98 \exp \left[ - \left( \frac{t-190,5}{133,7} \right)^2 \right]$$

$$y_2(t) = 0,051 + \frac{2 \cdot 26,16}{\sqrt{3 \cdot 18,6 \cdot \sqrt{\pi}}} \left( 1 - \frac{(t-111,9)^2}{18,6^2} \right) \exp \left( - \frac{(t-111,9)^2}{2 \cdot 18,6^2} \right) + 0,365 \sin(2\pi / 56,15 + 8,5);$$

$$y_3(t) = 0,92 \sin(0,29t + 1,97) + 0,55 \sin(0,27t - 1,72) + 0,55 \sin(0,31x - 0,26);$$

$$y_4(t) = \frac{-7,933}{\sqrt{2\pi}} \exp \left[ - \frac{(t-91,16)^2}{2 \cdot 31,43^2} + i2\pi \frac{(t-91,16)}{31,43} \right];$$

$$y_5(t) = 0,53 \sin(0,43t - 0,32) + 0,54 \sin(0,44t - 0,30) + 0,28 \sin(0,35t + 1,41).$$

Отметим, что  $y_3(t)$  и  $y_5(t)$  можно преобразовать из аддитивной в аддитивно-мультипликативную запись для удобства интерпретации.

На рисунке 5, г) приведены графики результирующей модели и оригинального временного ряда. Доля объясненной дисперсии суммарной модели составила 0,81. Использование суммы 4-х гармоник (вместо 3-х) в моделях  $y_3(t)$  и  $y_5(t)$ , позволяет увеличить коэффициент детерминации  $R^2$  до 0,82, усложнив суммарную модель.

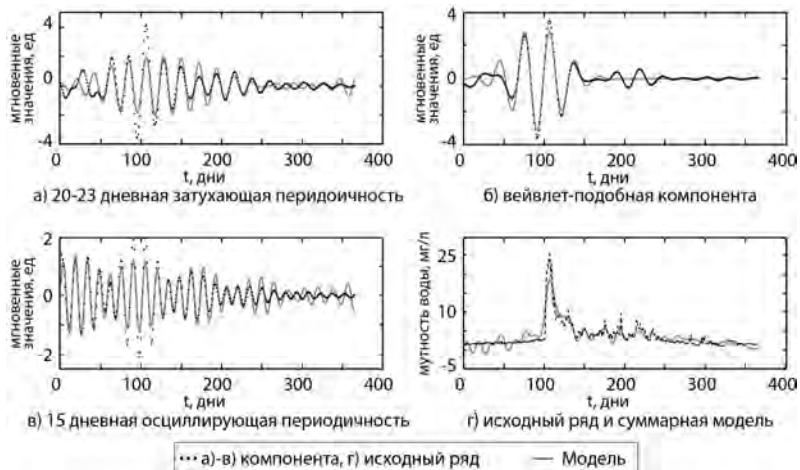


Рис. 5. а) – в) Графики компонент 3–5 и их моделей  $y_i(t)$ ; г) график исходного ряда  $x(t)$  и суммарной модели  $y(t)$

Отметим, что при выборе моделей в данном примере мы ориентировались на компактность моделей и их пригодность для целей разведочного и дескрипторного анализа, а не целей построения точной аппроксимационной модели или прогнозирования. Таким образом, полученная модель, во-первых, не уступает по адекватности модели, полученной с помощью классического подхода с выделением тренда, во-вторых, дает более простое для анализа и интерпретации описание компонент. В частности тренд в данном случае представлен в виде суммы гауссовых кривых, которые более просты в анализе и интерпретации на этапах предварительного и дескрипторного анализа, чем модель экспоненциального сглаживания. При этом данный подход позволяет использовать более сложные суммарные модели, чем классический подход, без усложнения их восприятия и анализа, поскольку суммарная модель представляется в виде набора сравнительно более простых моделей, каждая из которых может рассматриваться независимо. Кроме того предлагаемый метод допускает варьированность моделей в зависимости от целей исследователя.

**5. Заключение.** В работе рассмотрен новый подход к построению компактного и интерпретируемого модельного аналитического представления ВР. Подход был проверен на искусственных и на реальных данных, отражающих качество воды. Показана его работоспособность и преимущества перед ранее применяемыми подходами. Он сохраняет преимущества и позволяет устранить недостаток ССА, свя-

занный с отсутствием компактного аналитического модельного представления ряда.

Среди сильных сторон предлагаемого подхода можно отметить: отсутствие необходимости в предположении о стационарности исходного ВР; простота и наглядность получаемых моделей. Кроме того в отличие от классического подхода, при котором строится одна линейная комбинация гармонических функций, при данном подходе мы получаем схожую модель, но разбитую на отдельные группы. Тем самым повышается содержательность модели, так как исследователю доступна информация о связи между различными элементами модели.

Среди слабых сторон подхода можно отметить необходимость диалога с исследователем и значительное количество ручного ввода (группировка компонент, выбор моделей, упрощение результирующей модели) при данной реализации подхода. Данные этапы могут быть автоматизированы, в частности путем автоматической группировки компонент, полученных в ходе разложения с помощью ССА.

Среди направлений дальнейшего исследования можно выделить решение вопросов наполнения моделетеки различными моделями, автоматизацию подхода, в частности автоматизацию группировки компонент, и разработку адекватного алгоритма выбора моделей, одновременно учитывающего как требования к точности моделей, так и требования к их простоте.

### Литература

1. *Naumova E.N., Jagai J.S., Matyas B., DeMaria A., MacNeill I.B., Griffiths J.K.* Seasonality in six enterically transmitted diseases and ambient temperature // *Epidemiological Infection.* 2007. vol. 135. pp. 281–292.
2. *Альсова О.К., Губарев В.В., Локтев В.Б.* Использование вариативного моделирования при идентификации временных рядов инфекционной заболеваемости // *Известия Волгоградского государственного технического университета. Серия «Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах».* 2011. Т. 11. №12. С. 42–47.
3. *Губарев В.В.* Алгоритмы спектрального анализа случайных сигналов // *Новосибирск: Издательство НГТУ.* 2005. 660 с.
4. *Данилов Д.Л., Жиглявский А.А.* Главные компоненты временных рядов: метод Гусеница // *СПб.: Издательство Санкт-Петербургского университета.* 1997. 307 с.
5. *Губарев В.В.* Вероятностные модели: справочник: в 2 ч. // *Новосибирский электротехнический институт. Новосибирск: НЭТИ.* 1992. Ч. 2. С. 197–421.
6. *О. К. Альсова, В. В. Губарев, Н. А. Чистяков, С. Г. Юн и др.* Climate, Water, Diseases, Infections (CliWaDIn) // *НГТУ. Свидетельство о государственной регистрации базы данных №2011620720 от 04.10.11.; заяв. 01.06.11; №2011620396.*

### References

1. *Naumova E.N., Jagai J.S., Matyas B., DeMaria A., MacNeill I.B., Griffiths J.K.* Seasonality in six enterically transmitted diseases and ambient temperature. *Epidemiological Infection.* 2007. vol. 135. pp. 281–292.

2. Alsova O. K., Gubarev V. V., Loktev V. B. [Use of the variant modeling for the identification of time series of infectious diseases]. *Izvestiya VolgGTU – Bulletin of the Volgograd state technical university*. 2011. vol. 11. no. 12. pp. 42–47. (In Russ.).
3. Gubarev V. V. *Algoritmy spektralnogo analiza sluchajnyh signalov* [Algorithms for Spectral Analysis of Random Signals]. Novosibirsk: NSTU. 2005. 660 p. (In Russ.).
4. Danilov D., Zhigljavsky A.A. *Glavnye komponenty vremennyh ryadov: metod Gusenica* [Principal Components of Time Series: the Caterpillar Method]. SPB: St.Petersburg University. 1997. 307 p. (In Russ.).
5. Gubarev V. V. *Verojatnostnye modeli: spravochnik: v 2 ch.* [Probabilistic Models: A Handbook: in 2 parts]. Novosib. Elektrotekh. Inst. Novosibirsk. NJeTI. 1992. part 2. pp. 197–421 (In Russ.).
6. Alsova O. K., Gubarev, et al. Climate, Water, Diseases, Infections (CliWaDIn). Novosibirsk State Technical University. Patent RF, no. 2011620720, 04.10.2011. (In Russ.).

**Абалов Николай Владимирович** — аспирант кафедры вычислительной техники Новосибирского государственного технического университета. Область научных интересов: интеллектуальный анализ данных и вариативное моделирование. Число научных публикаций — 4. nickabalov@yahoo.com. 630073, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20; р.т. +7-913-714-97-03.

**Abalov Nikolay Vladimirovich** — Ph.D student of Computer Sciences Department, Novosibirsk State Technical University. Research interests: intellectual data analysis and variative modelling. The number of publications — 4. nickabalov@yahoo.com. 20, Prospekt K. Marksa, Novosibirsk, 630073, Russia; р.т. +7-913-714-97-03.

**Губарев Василий Васильевич** — заслуженный деятель науки Российской Федерации, заслуженный работник высшей школы Российской Федерации, д-р техн. наук, профессор, кафедра вычислительной техники НГТУ. Область научных интересов: идентификация, измерение характеристик, имитация и прогнозирование случайных сигналов; вероятностное моделирование реальных объектов; статистические прикладные информационные системы; системный анализ в экспериментальных исследованиях; интеллектуальный анализ данных и вариативное моделирование; концептуальные основы информатики. Число научных публикаций — более 500. gubarev@vt.cs.nstu.ru; 630073, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20; р.т. +7(383)346-11-33.

**Gubarev Vasily Vasilyevich** — Ph.D., Dr. Sci., honored scientist of Russian Federation, honored worker of higher school of Russian Federation, professor of Computer Sciences Department, NSTU. Research interests: identification, measurement of characteristics, simulation and prediction of random signals; probabilistic modeling of real objects; applied statistical information systems; system analysis in experimental research; intellectual data analysis and variative modeling; conceptual foundations of informatics. The number of publications — more than 500. gubarev@vt.cs.nstu.ru; 20, Prospekt K. Marksa, Novosibirsk, 630073, Russia; р.т. +7(383)346-11-33.

**Альсова Ольга Константиновна** — к-т техн. наук, доцент кафедры вычислительной техники НГТУ. Область научных интересов: исследование и разработка методов и средств прогнозирования временных рядов, компьютерное моделирование систем, интеллектуальный анализ данных. Число научных публикаций — 30. alsova@mail.ru; 630073, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20; р.т. +7(383)346-04-92.

**Alsova Olga Constantinovna** — Ph.D., associate professor of Computer Sciences Department, NSTU. Research interests: research and development of methods and means of time series forecasting, computer modeling of systems, intellectual data analysis. The number of publications — 30. alsova@mail.ru; 20, Prospekt K. Marksa, Novosibirsk, 630073, Russia; р.т. +7(383)346-04-92.

## РЕФЕРАТ

*Абалов Н.В., Губарев В.В., Альсова О.К.* **Использование методов сингулярного спектрального анализа и моделетеки при идентификации временных рядов.**

Статья посвящена рассмотрению нового подхода к построению компактного и интерпретируемого модельного аналитического представления нестационарных временных рядов. В основе предлагаемого подхода лежит совместное применение методов сингулярного спектрального анализа (ССА) и моделетеки. Под моделетекой понимается упорядоченное множество моделей.

ССА является относительно новым методом анализа нестационарных временных рядов. Слабой стороной ССА является отсутствие аналитического модельного представления ряда, например, в виде суммы простых функций, компактное аналитическое представление которых могло бы быть нагляднее и доступнее для интерпретации, чем совокупность большого количества компонент. Описанный в статье метод вариативного моделирования позволяет устранить отмеченную слабую сторону ССА путем совместного использования его и метода моделетеки для получения компактного и легко интерпретируемого модельного представления изучаемого временного ряда с желаемым уровнем его адекватности ряду, цели и условиям идентификации.

Первый этап предлагаемого метода заключается в разложении исходного временного ряда на компоненты с помощью ССА. Разложение исходного ряда завершается выделением интересующих исследователя компонент. На втором этапе компоненты идентифицируются моделями из априори сформированной моделетеки согласно целям идентификации. Результатом является результирующая модель исходного временного ряда в аддитивной или аддитивно-мультипликативной форме.

В статье рассматривается применимость предлагаемого подхода на примерах идентификации искусственного ряда и реального временного ряда. В качестве реального временного ряда рассматривается нестационарный ряд ежедневных значений мутности воды в реке в г. Челябинске за 2005 г.

Среди сильных сторон предлагаемого подхода можно отметить: отсутствие необходимости в предположении о стационарности исходного временного ряда; простота и наглядность получаемых моделей.

## SUMMARY

*Abalov N.V., Gubarev V.V., Alsova O.K.* **Use of methods of singular spectral analysis and modeleteka for the identification of time series.**

The article discusses new approach for obtaining compact and interpretable analytical model representation of nonstationary time series. Proposed approach is based on joint use of methods of singular spectrum analysis (SSA) and modeleteka. Modeleteka refers to an ordered set of models.

Singular spectrum analysis (SSA) is relatively new method for analysis of non-stationary time series. The weakness of SSA is lack of analytical model representation of time series, e.g., as a sum of simple functions, which could be clearer and easier for interpretation than a large number of components in form of time series.

Described method of variative modeling allows reducing highlighted drawback of SSA. This is achieved through joint use of SSA and method of modeleteka to obtain analytical model representation of time series, providing necessary level of adequacy, compactness and interpretability.

First, time series are decomposed into components using SSA, significant components are selected using formal indicators (e.g. variance contributed by component, etc.). Second, each significant component is identified according to the purpose of identification with simple and interpretable model from preformed modeleteka. The result is final model of time series in additive or additive-multiplicative form.

The article discusses applicability of the proposed approach based on examples of identification of synthetic and real time series. As a real time series a daily turbidity of river in city of Chelyabinsk in year 2005 is considered.

Strengths of the proposed approach include: nonnecessity of assumption of stationarity of the studied time series, simplicity and clarity of produced resulting models.



С.В. СМИРНОВ  
**КОРРЕКТИРОВКА ОШИБОК ОПТИЧЕСКОГО  
РАСПОЗНАВАНИЯ НА ОСНОВЕ РЕЙТИНГО-РАНГОВОЙ  
МОДЕЛИ ТЕКСТА**

---

*Смирнов С.В. Корректировка ошибок оптического распознавания на основе рейтинго-ранговой модели текста.*

**Аннотация.** Результаты массового оптического распознавания архивных документов необходимо подвергать корректировке с целью сокращения количества ошибок. В работе описывается алгоритм корректировки, учитывающий особенности русского языка и позволяющий обрабатывать корпуса текстов больших объемов в полностью автоматическом режиме. Процесс корректировки разделяется на этапы анализа всего корпуса текстов, подготовки структур данных, отбора слов-кандидатов и их финального ранжирования. Использование рейтинго-ранговой модели текста для генерации корректировок позволяет обрабатывать тексты, содержащие узкоспециализированную терминологию, различных предметных областей.

**Ключевые слова:** оптическое распознавание, OCR, корректировка ошибок распознавания, обработка текста, алгоритм, функция хеширования.

*Smirnov S.V. OCR error correction based on rating-rank model of text.*

**Abstract.** OCR results of archival documents have to be corrected in order to improve accuracy. An algorithm that takes into account peculiarities of the Russian language and allows handling large volumes of text corpus in fully automatic mode is described. The correction process is divided into stages of analysis of the entire corpus of texts, preparation of data structures, the selection of word candidates and their final ranking. Using rank-rating model for generating text corrections allows handling texts containing specific terminology from different subject areas.

**Keywords:** OCR, detection and correction of OCR errors, text processing algorithms, hash function.

---

**1. Введение.** В наше время системы оптического распознавания изображений текста достигают высокой точности результатов при обработке современных качественных документов. В случае же работы с документами, происхождение которых датируется несколькими десятилетиями лет назад, результат оказывается менее качественным и эффективность применения средств автоматического распознавания снижается.

В проектах по оцифровке документов культурного наследия основную массу составляют именно исторические документы, при массовом распознавании которых, становится недостаточным применение лишь средств оптического распознавания. Результаты, получаемые на выходе систем распознавания необходимо подвергать последующей автоматической постобработке с целью коррекции допущенных оши-

бок, более подробно проблематика построения систем массового оптического распознавания архивных документов описывается в [1].

**2. Особенности корректировки ошибок распознавания текста и постановка задачи.** Качество процесса корректировки во многом зависит от точности нахождения ошибок и их верной классификации. Общая схема классификации ошибок в текстах и уточненная классификация ошибок в результатах оптического распознавания приводятся в работах [2, 3] соответственно.

Известные подходы контекстной пост-обработки [2–5] включают статистические и лингвистические методы, использующие Скрытые Марковские Модели (СММ) [6], конечные автоматы, нейронные сети, N-граммы символов и слов [7,8], алгоритмы нечеткого отображения строк [3]. Существуют методы использующие специальную внешнюю информацию, частично определенный синтаксис [9] или комбинированные подходы [2].

В работе [10] приводится более подробный обзор методов и подходов, применимых к задаче контекстной обработке результатов распознавания, выделен ряд способов предобработки результатов распознавания путем шаблонной замены, сравнения выходных значений нескольких OCR систем, описаны методы обнаружения ошибок, основанные на оценке вероятности, n-грамм анализе, словарной проверке.

Отдельно стоит выделить класс методов [3, 11, 12], относящихся к обработке орфографических ошибок, поскольку эта тема является намного более глубоко исследованной.

Существующие методы в общем случае неплохо решают ряд задач по обработке результатов распознавания с использованием словарей, статистических моделей языка, хорошо развита тематика обнаружения и коррекции ошибок в тексте. Тем не менее, во многих случаях указанные методы предназначены для обработки современных текстов и не подходят в чистом виде для обработки исторических текстов, содержащих большое количество специализированных терминов, имен собственных, географических наименований и т.п. В большинстве работ корректировка основана на предварительном ручном обучении системы или участии человека на этапе финального выбора слова-заместителя. Также стоит отметить, очень малое количество работ нацеленных на корректировку именно русскоязычных текстов. Это вызвало потребность разработки алгоритма корректировки, учитывающего особенности русского языка и позволяющего обрабатывать корпуса текстов больших объемов в полностью автоматическом режиме.

Практическая задача заключается в автоматической корректировке распознанных документов центральных государственных архи-

вов Санкт-Петербурга, специализирующихся на хранении документов различной направленности: историко-политические документы, документы по литературе и искусству, документы по личному составу ликвидированных государственных предприятий, научно-техническая документация.

Общий объем корпуса материалов составляет чуть менее 50 тысяч документов, 1 миллиона изображений и 200 миллионов слов.

Примеры изображений документов приведены на рисунке 1. Формат изображений – JPEG, разрешение – 300dpi.

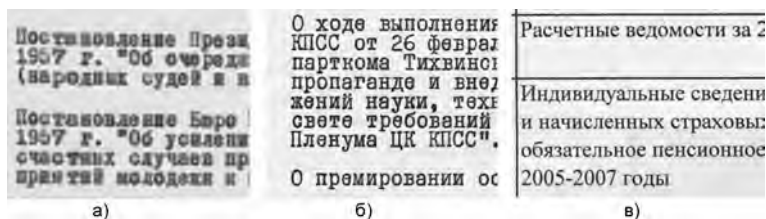


Рис. 1. Примеры изображений: а) печатная машинка, среднее качество; б) печатная машинка, высокое качество; в) принтер, очень высокое качество

Из существующих методов в данной работе используются алгоритм нахождения минимального расстояния между словами (расстояние Левенштейна [13]) и алгоритм поиска схожих слов методом анаграмм [14]. Выбранные алгоритмы позволяют обрабатывать ошибки типичные для систем оптического распознавания, не требуют проведения предварительного обучения и могут применяться для обработки текстов независимо от языка написания.

**3. Корректировка результатов распознавания.** Разделим весь процесс корректировки результатов распознавания на три основных этапа:

1. Подготовка структур данных.
2. Генерация корректировок.
3. Формирование результата.

В ходе предварительного этапа подготовки структур данных производится сбор статистической информации по всему корпусу распознанных документов, формируется целый ряд словарей и хэш-таблиц, содержащих необходимые данные для этапа генерации корректировок.

Этап генерации корректировок является основным этапом обработки, на котором для каждого ошибочно распознанного слова формируются списки слов-кандидатов на замену, отсортированные по рейтингу. Все множество ошибок распознавания можно разделить на

множество ошибок 1-го рода (пропущенные слова) и множество ошибок 2-го рода (ошибочно распознанные слова). На этапе генерации корректировок обработке подвергаются только ошибки 2-го рода.

На последнем этапе производится выборка наиболее вероятных слов-заместителей, их подстановка и сохранение финального результата распознавания в формате XML (eXtensible Markup Language).

**4. Подготовка структур данных.** На первом шаге необходимо произвести анализ всего корпуса распознанных документов для формирования статистической информации по встречающимся словам.

**4.1. Предварительная обработка.** Назовем лексемой последовательность символов, разделенных пробельными символами или определенных системой распознавания как слова.

Выразим весь набор лексем, полученных в результате распознавания документов, в виде упорядоченного по порядку следования элементов множества  $L = \{s_1, s_2, \dots, s_m\}$ .

Под процедурой нормализации будем понимать преобразование последовательности  $L$  в нормализованную последовательность лексем  $L^N = \{s_1, s_2, \dots, s_n\}$ .

Процедура нормализации состоит из следующих шагов:

1. Объединение лексем, разделенных знаком переноса.

Две лексемы  $s_1$  и  $s_2$  объединяются в одну, в том случае если:

а) Лексемы расположены на разных строках.

б) Лексема  $s_1$  заканчивается символом «-» после удаления всех неалфавитных символов в конце лексемы. Неалфавитными символами будем считать символы, не входящие во множество символов русского алфавита {а-я, А-Я}.

с) В лексеме  $s_1$  перед символом «-», стоит символ в нижнем регистре

д) Лексема  $s_2$  начинается с символа в нижнем регистре после удаления всех неалфавитных символов в начале лексемы.

2. Разбиение лексем.

В дополнение к разбиению по пробельным символам лексемы следует разбивать по следующим символам {.,:()\"&[]?!“{}/+# =<> %}, так как системам распознавания свойственно допускать ошибки сегментации слов.

3. Очистка лексем.

После дополнительного разбиения лексем удаляются все неалфавитные символы с начала и конца каждой лексемы.

**4.2. Структуры для отбора слов-кандидатов.** Получив нормализованную последовательность  $L^N$ , сформируем множество лексем в нижнем регистре символов  $L^{low}$  и его рейтинговое распределение  $\xi_{L^{low}}$ :

$$L^{low} = \{lower(s) \mid s \in L^N\},$$

где  $lower(s)$  — функция перевода строки в нижний регистр.

Исходя из предположения, что наиболее часто встречающиеся лексемы с наибольшей вероятностью не содержат ошибок, а также с целью уменьшения поискового пространства проведем сокращение множества  $L^{low}$  и его рейтингового распределения  $\xi_{L^{low}}$  до множества  $L^p$  и рейтингового распределения  $\xi_{L^p}$ :

$$L^p = \{s \mid s \in L^{low}, \xi_{L^{low}}(s) \geq \alpha\},$$

где  $\alpha$  — минимально допустимое количество повторений одной лексемы. Выбор значения  $\alpha$  является своего рода компромиссом. При низком значении может остаться большее количество ошибочных лексем, а при высоком могут быть потеряны редкие имена собственные, географические наименования и т.п.

Далее проведем сбор статистической информации о вхождении парных лексем. Для этого сформируем множество биграмм  $L^{bigram}$  и его рейтинговое распределение  $\xi_{L^{bigram}}$ :

$$L^{bigram} = \{(lower(s_1), lower(s_2)) \mid s_1, s_2 \in L^N; (seq(s_1, s_2) \vee seq(s_2, s_1))\},$$

где  $seq(a_1, \dots, a_z)$  — последовательность элементов от  $a_1$  до  $a_z$ , следующих друг за другом. Порядок следования лексем в паре не имеет значения, то есть пары  $seq(s_1, s_2)$  и  $seq(s_2, s_1)$  считаются равными.

Сбор биграмм производится без учета знаков препинания. Это обусловливается тем, что в результатах распознавания может присутствовать большое количество ошибочных знаков препинания, полученных из-за наличия «шума» на исходном изображении. Главной задачей является сбор максимального количества биграмм для избегания проблем с разреженностью данных и корректировки ошибочно объединенных слов.

Проведем сокращение множества биграмм  $L^{bigram}$  и его рейтингового распределения  $L^{bigram}$  до множества  $L^{bgr}$  и его рейтингового распределения  $\xi_{L^{bgr}}$ :

$$L^{bgr} = \{(s_1, s_2) \mid (s_1, s_2) \in L^{bigram}; len(s_1), len(s_2) > 1; \xi_{L^{bigram}}(s_1, s_2) \geq \beta\},$$

где  $len(s)$  — количество символов в строке  $s$ , а  $\beta$  — минимальное пороговое значения количества повторений одной биграммы. Ограничение по длине лексемы в биграмме введено для того, чтобы избежать нежелательного разбиения слов при корректировке и сократить пространство поиска.

Сформируем основные структуры данных для генерации кандидатов на замену ошибочных слов: множество слов-кандидатов  $L^W$  и хэш-таблицу анаграмм  $H^{anagram}$ .

$$L^W = L^{lp} \cup \{s_1 s_2 \mid (s_1, s_2) \in L^{bgr}\},$$

$$H^{anagram} = \{(hash(s), (s, \xi_{L^W}(s))) \mid s \in L^W\},$$

где  $\xi_{L^W}$  — рейтинговое распределение множества всех лексем для выбора слов-кандидатов  $L^W$ .

Для каждого элемента множеств  $L^W$  вычисляется значение хэш-функции  $hash(s)$  и производится добавление записи в хэш-таблицу  $H^{anagram}$ , ключом которой является значение хэш-функции, а значением — список всех элементов с их рейтингом, обладающих соответствующим значением хэш-функции. Описание алгоритма вычисления значения хэш-функции представлено ниже.

**4.3. Структуры для ранжирования слов-кандидатов.** Произведем нормализацию морфологической формы каждой лексемы множества  $L^N$ , используя функцию морфологического анализа  $morph$ :

$$morph(s) = b, s \in \Sigma_s \rightarrow b \in \Sigma_s,$$

где  $\Sigma_s$  — множество словоформ одной лексемы,  $b$  — нормальная (базовая) форма лексемы (именительный падеж, единственное число для имен существительных; 1-ое лицо, единственное число, настоящее время для глаголов и т.д.).

Функция морфологического анализа *morph* обладает следующими свойствами:

$$morph(b) = b, \forall s \notin \Sigma_s \rightarrow morph(s) = b, b \notin \Sigma_s.$$

В результате перевода лексем в нормальную форму получим множество лексем:

$$L^{NF} = \{morph(lower(s)) \mid s \in L^N\}.$$

Реализация функции перевода лексем в нормальную форму с помощью внешнего модуля морфологического анализа системы «АОТ» [15], позволит генерировать нормальные (базовые) формы на основе морфологических предсказаний [16] даже для лексем, отсутствующих в словаре.

Сформируем отношения  $R_1, R_2$  для связей лексем множества  $L^{NF}$  и их рейтинговые распределения  $\xi_{R_1}, \xi_{R_2}$ :

$$R_1 = L^{NF},$$

$$R_2 = \{(b_1, b_2) \mid b_1, b_2 \in L^{NF}; seq(b_1, b_2)\}.$$

**4.4. Словарные структуры данных.** Опишем следующую структуру данных — словарь  $D^{corpus}$ , который будет впоследствии применяться для ограничения области лексем, подлежащих корректировке:

$$D^{corpus} = L^{lp} \cap (D^{gen} \cup D^{spec}),$$

где  $D^{gen}$  — словарь общих слов русского языка,  $D^{spec}$  — словарь специфических терминов конкретной предметной области документов (словарь имен собственных, фамилий, географических наименований и т.п.).

**5. Генерация корректировок.** Пусть последовательность  $S = \{s_1, s_2, \dots, s_m\}$  — упорядоченный по порядку следования набор лексем, полученных в результате распознавания отдельного изображения документа.

Тогда  $S^N = \{s_1, s_2, \dots, s_n\}$  — результат нормализации последовательности  $S$ .

Задача генерации корректировок состоит из двух подзадач:

1. Отбор полного множества слов-кандидатов  $W_i^C$  из всего множества слов  $L^W$  для корректировки каждой лексемы  $s_i$  последовательности  $S^N$ .

2. Ранжирование отобранных слов-кандидатов  $W_i^C$  и выявление среди них наиболее вероятных  $\hat{W}_i$ .

В общем виде эту задачу можно представить следующим образом:

$$\hat{W} = \left\{ \arg \max_w^k (G(w, s)) \mid w \in W^C, W^C \subset L^W, s \in S^N, G(w, s) \in [0..1] \right\}, \\ 1 \leq |\hat{W}| \leq k,$$

где  $G(w, s)$  — степень достоверности того, что результатом корректировки лексемы  $s$  является слово  $w$ ;  $W^C$  — множество всех отобранных слов-кандидатов;  $\arg \max_w^k (G(w, s))$  — список размером  $k$  слов  $w$ , при которых функция  $G(w, s)$  принимает свои максимальные значения.

Разделим все множество лексем  $S^N$  на множество лексем  $S^{err}$ , подлежащих корректировке, и множество лексем  $S^{cor}$ , которые будем считать корректно распознанными:

$$S^N = S^{err} \cup S^{cor}, S^{err} = S^N \setminus S^{cor}.$$

В область лексем  $S^{cor}$ , не подлежащих корректировке, отнесем лексемы, для которых найдено соответствие в словаре  $D^{corpus}$  или длина которых меньше порогового значения  $\varphi$ :

$$S^{cor} = \left\{ s \mid s \in S^N; \left( len(s) \leq \varphi \vee s \in D^{corpus} \right) \right\}.$$

Тогда корректно распознанные лексемы  $S^{cor}$  будут обладать следующим свойством:

$$\forall s \in S^{cor} \rightarrow w = s \rightarrow R(w, s) = 1, W^C = \{s\}.$$

Таким образом, задача процесса генерации корректировок сокращается до формирования списка наиболее вероятных слов-кандидатов  $\hat{W}$  из множества  $L^W$  для каждого элемента множества лексем  $S^{err}$ .



**5.1. Отбор слов-кандидатов.** Основой метода анаграмм [14,17] является предварительно сформированная хэш-таблица анаграмм  $H^{anagram}$ . Ключом таблицы является «плохая» хэш-функция, которая выдает числовое значение одинаковое для всех слов, являющихся анаграммами. Значениями таблицы выступают соответствующие ключу списки лексем.

Значение хэш-функции будем называть анаграммным ключом. Каждому символу  $c_i$  используемого алфавита  $A = c_1, \dots, c_{|A|}$ , сопоставим уникальный числовой идентификатор из кодовой таблицы UTF-8. Значение хэш-функции для слова  $w = c_1, \dots, c_{|w|}$  вычисляется по следующей формуле:

$$hash(w) = \sum_{i=1}^{|w|} \text{int}(c_i)^n,$$

где  $\text{int}(c)$  — значение числового кода символа  $c$  в кодовой таблице UTF-8, а  $n$  — значение степени, в которую возводится числовой код. Возведение числового кода в степень  $n$  необходимо для устранения появления коллизий, в работе [14] установлено достаточное значение  $n = 5$ .

Введем ряд определений для описания отбора слов-кандидатов по методу анаграмм.

*Ключевое слово* — слово, требующее корректировки, для которого происходит отбор слов-кандидатов на замену.

*Алфавит*  $A_W^k$ , содержащий  $n$ -граммы всех символов и знаков, входящих в состав списка слов  $W$ , с добавлением символа пробела в начало и конец каждого слова:

$$A_W^k = \{ngrams(sws, n) \mid w \in W, 1 \leq n \leq k\},$$

где  $s$  — символ пробела,  $ngrams(w, n)$  — функция, возвращающая список  $n$ -грамм слова  $w$ .

*Строгий алфавит*  $A_W^{k-}$ , содержащий  $n$ -граммы всех символов и знаков, входящих в состав списка слов  $W$ , без добавления символа пробела:

$$A_W^{k-} = \{ngrams(w, n) \mid w \in W, 1 \leq n \leq k\}.$$

Поисковый алфавит  $X_W^k$ , состоящий из анаграммных ключей символьных  $n$ -грамм списка слов  $W$  :

$$X_W^k = \{hash(\delta) \mid \delta \in A_W^k\}.$$

Ключевой алфавит  $\Phi_w^k$ , состоящий из анаграммных ключей символьных  $n$ -грамм ключевого слова  $w$  :

$$\Phi_w^k = \{hash(\delta) \mid \delta \in A_{\{w\}}^k\}.$$

Отметим, что ключевой алфавит строится на основе строгого алфавита.

Главной задачей метода анаграмм является нахождение списка слов-кандидатов  $W^C$ , схожих по написанию с заданным ключевым словом. Схожие слова могут быть получены путем вставки, удаления, замены или перестановки символов [18].

Выделим основную характеристику хэш-функции:

$$hash(w) = \sum_{i=1}^{|w|} hash(c_i) = hash(c_1 \dots c_{k-1}) + hash(c_k) + hash(c_{k+1} \dots c_{|w|}),$$

$$\forall 1 \leq k \leq |w|,$$

из которой следует, что общее значение может быть рассчитано, как сумма значений элементов произвольной длины.

Данная характеристика позволяет определить следующие четыре пути по извлечению всего набора схожих слов для ключевого слова  $w$  :

1. Перестановка. Для извлечения всех слов, полученных путем перестановки символов, достаточно однократной выборки из хэш-таблицы по анаграммному ключу исходного слова:

$$hash(\text{слово}) = hash(\text{слоов}) = hash(\text{волос}).$$

2. Удаление. Каждый символ или символьную последовательность ключевого алфавита  $\Gamma$  необходимо вычесть из анаграммного ключа ключевого слова:

$$hash(\text{слово}) - hash(\text{л}) = hash(\text{слово}).$$

3. Вставка. Каждый символ или символьную последовательность поискового алфавита  $\Pi$  необходимо прибавить:

$$hash(\text{слово}) + hash(\text{о}) = hash(\text{слово}).$$

4. Замена. Каждый символ или символьную последовательность ключевого алфавита  $\Gamma$  необходимо вычесть, а каждый символ или символьную последовательность поискового алфавита  $\Pi$  прибавить:

$$\text{hash}(\text{слово}) - \text{hash}(z) + \text{hash}(e) = \text{hash}(\text{слово}).$$

На практике, операция «замена» является общей для оставшихся трех операций:

а) для получения операции «удаление» достаточно прибавить 0 и вычесть элемент ключевого алфавита;

а) для получения операции «вставка» достаточно вычесть 0 и прибавить элемент поискового алфавита;

б) для получения операции «перестановка» достаточно ничего не вычитать и не прибавлять.

Рассмотрим псевдокод алгоритма отбора слов-кандидатов по методу анаграмм (листинг 1):

```
#w – ключевое слово
#ldLimit – пороговое значение расстояния Левенштейна
#searchAlph – поисковый алфавит
#keyAlph – ключевой алфавит
Function anagramSearch(w, ldLimit, searchAlph, keyAlph) {
  WC ← ∅;
  RC [] ← ∅;
  keyWordHash ← hash(w);
  for all ck ∈ keyAlph do
    for all cs ∈ searchAlph do
      simulatedWordHash ← keyWordHash + cs - ck;
      W' ← getWords(simulatedWordHash);
      for all w' ∈ W' do
        if LD(w, w') ≤ ldLimit then
          WC ← WC ∪ w';
          RC[w'] = RC[w'] + 1;
        end if
      end for
    end for
  end for
  return WC;
}
```

Листинг 1. Алгоритм отбора слов-кандидатов по методу анаграмм

Функция  $getWords(simulatedWordHash)$  возвращает список слов-анаграмм по хэшу  $simulatedWordHash$  из хэш-таблицы анаграмм  $H^{anagram}$ .

Между каждым выбранным словом-кандидатом и ключевым словом вычисляется расстояние Левенштейна, и если оно больше заданного порога  $ldLimit$ , то слово-кандидат исключается из результирующего списка.

В результате, некоторые слова могут быть получены несколько раз, чем чаще слово было получено, тем выше его достоверность. Количество повторений сохраняется для каждого слова в ассоциативном массиве  $R^C$ .

Рассмотрим особенности адаптации метода анаграмм в данной работе.

Алфавиту  $A_W^k$  установим значение  $k = 2$ , а множество  $W = L^p$ .

Введем дополнительное ограничение на построение алфавита  $A_W^2$  такое, что в его состав могут входить только те символы и символьные последовательности, из которых формируются корректные слова:

$$C = \{a..я\} \cup \{-, s\},$$

$$A_W^2 = C \cup \{c_1, c_2 \mid seq(c_1, c_2) \in sws; w \in W; c_1, c_2 \in C\},$$

где  $s$  — пробельный символ. Добавление пробельного символа в начало и конец слова  $w$  необходимо для обеспечения возможности корректировки ошибочно объединенных слов.

В поисковый алфавит и ключевой алфавит добавим нули. Таким образом, основная формула для вычисления слов-кандидатов для ключевого слова  $w$  выглядит следующим образом:

$$simulatedWordHash \leftarrow keyWordHash + cs - ck,$$

$$cs \in \{0\} \cup X_W^2, ck \in \{0\} \cup \Phi_{\{w\}}^2.$$

**5.2 Ранжирование слов-кандидатов.** После получения множества слов-кандидатов  $W^C$ , необходимо определить вероятность каждого из них. Применим для этого двухшаговую модель ранжирования:

1) на первом шаге производится оценка каждого слова-кандидата, отобранного методом анаграмм, и упорядочивание множества  $W^C$  по убыванию оценки;

2) на втором шаге для каждого из  $V$  слов-кандидатов вычисляется финальный ранг  $G(w, s)$ .

*Шаг 1. Оценка соответствия слова-кандидата  $w$  для замены лексемы  $s$  [2]:*

$$score_A(s, w) = \ln(f(w)) \times (|w| - LD(s, w)) \times r(w),$$

где  $f(w) = \xi_{L^W}(w)$  — частота повторения слова  $w$  во всем корпусе слов  $L^W$ ;  $|w|$  — длина слова  $w$  в символах;  $LD(s, w)$  — расстояние Левенштейна между словами  $s$  и  $w$ ;  $r(w) = R^C[w]$  — количество повторений слова  $w$  в ходе отбора методом анаграмм.

Вычисление оценки  $score_A(s, w)$  основывается на двух предположениях.

1. Исходное множество слов  $L^W$ , из которого выбираются слова-кандидаты, может содержать ошибки распознавания, так как оно было получено из корпуса распознанных документов. Вследствие этого, будем считать, что слова, обладающие наибольшей частотой повторения  $f(w)$ , наиболее вероятно являются корректными и будем отдавать им предпочтение при ранжировании слов-кандидатов.

2. Чем меньше расстояние Левенштейна  $LD(s, w)$  между исходной лексемой и словом-кандидатом, тем более предпочтительным будем его считать.

Таким образом, на данном шаге производится вычисление оценки  $score_A(s, w)$  для каждого слова-кандидата из множества  $W^C$  и формируется упорядоченное по убыванию вычисленной оценки множество:

$$\bar{W}^C = \{w \mid w \in W^C, score_A(s, w_i) \geq score_A(s, w_{i+1}), 1 \leq i \leq |W^C|\}.$$

*Шаг 2. Вычисление финального ранга.*

Вычисление финального ранга  $G(w, s)$  произведем для  $V$  слов-кандидатов, используя следующую систему оценки:

$$G(w, s) = \frac{score_A(s, w)}{\sum_{i=1}^V score_A(s, w)} \times P(w),$$

где  $\nu$  — число, определяющее максимальное количество слов-кандидатов для нормализации оценки степени достоверности  $score_A(s, w)$ ;  $P(w)$  — статистическая вероятность нахождения слова-кандидата  $w$  в тексте на позиции лексемы  $s$ .

Выразим  $P(w_i)$  через языковую модель следующим образом:

$$P(w_i) = P(w_i | w_{1,i-1}),$$

где  $P(w_i | w_{1,i-1})$  — вероятность появления слова  $w_i$  при наличии предшествующей ему последовательности слов  $w_1, w_2, \dots, w_{i-1}$ .

В случае языковой модели, основанной на биграммах, данное определение можно упростить:

$$P(w_i) = P(w_i | w_{1,i-1}) = \frac{f(w_{i-1}, w_i)}{f(w_{i-1})},$$

где  $f(w_{i-1})$  — частота повторения слова,  $f(w_{i-1}, w_i)$  — частота повторения биграммы  $(w_{i-1}, w_i)$ .

В данной работе, вместо одного слова  $w_{i-1}$  выступает множество слов-кандидатов  $\vec{W}_{i-1}^C$ , а информация о частоте повторения слов и биграмм получается из рейтинговых распределений отношений связок лексем в нормальной форме  $\xi_{R_1}, \xi_{R_2}$ .

Формула расчета вероятности принимает вид:

$$P(w_i^k) = \frac{\sum_{j=1}^{\min(\nu, |\vec{W}_{i-1}^C|)} f(w_{i-1}^j, w_i^k)}{\sum_{j=1}^{\min(\nu, |\vec{W}_{i-1}^C|)} f(w_{i-1}^j)},$$

$$1 \leq k \leq |\vec{W}_i^C|,$$

$$f(w_{i-1}^j) \leftarrow \xi_{R_1}(\text{morph}(w_{i-1}^j)),$$

$$f(w_{i-1}^j, w_i^k) \leftarrow \xi_{R_2}(\text{morph}(w_{i-1}^j), \text{morph}(w_i^k)),$$

где  $w_i^k$  —  $k$ -ое по порядку слово-кандидат на замену лексемы  $s_i$ ,  
 $w_{i-1}^j$  —  $j$ -ое по порядку слово-кандидат на замену лексемы  $s_{i-1}$ .

## 6. Способ оценки качества результатов корректировки.

Оценку качества результатов корректировки можно проводить путем сравнения характеристик результатов распознавания различных OCR систем с использованием автоматической корректировки и без нее.

Характеристики вычисляются путем сопоставления результата распознавания с ранее подготовленным эталонным текстом и сбором следующего ряда метрик [19]: коэффициент распознанных символов, коэффициент распознанных слов, точность в символах, точность в словах, точность в словах без учета порядка, словарная точность.

**7. Заключение.** Предложенный в работе метод предназначается для автоматической корректировки результатов массового оптического распознавания документов.

Отбор слов-кандидатов для корректировки осуществляется по специальным глоссариям, построенным на основе частотных характеристик повторений слов и словосочетаний со всего корпуса распознанных материалов. Использование таких глоссариев, позволяет производить корректировку текстов различных предметных областей, содержащих узкоспециализированную терминологию, имена собственные, географические наименования и т.п.

Финальное ранжирование отобранных слов-кандидатов производится с учетом контекста и основывается на результатах статистического n-грамм анализа всего корпуса текста в нормальной форме. Реализация функции перевода слова в нормальную форму на основе морфологических предсказаний позволяет генерировать нормальные (базовые) формы даже для слов русского языка, отсутствующих в словаре.

При корректировке корпусов большого объема существенное значение имеет скорость выполнения обработки. В данной работе для увеличения скорости производится корректировка только слов с некорректным написанием, также не подвергаются корректировке слова с малым количеством символов. Данный подход не может обеспечить корректировку слов, присутствующих в словаре, но некорректно примененных в текущем контексте.

## Литература

1. *Смирнов С.В.* Подсистема массового распознавания изображений архивных документов // Труды СПИИРАН. 2012. Выпуск 3(22). С. 234–248.
2. *Kai N.* Unsupervised Post-Correction of OCR Errors // Hannover: Leibniz University. 2010.
3. *Kukich K.* Techniques for automatically Correcting Words in Text // ACM computing survey Computational Linguistic. 1992. vol. 24. no. 4. pp. 377–439.
4. *Mailburg M.* Comparative Evaluation of Techniques for Word Recognition Improvement by Incorporation of Syntactic Information // 4th International Conference Document Analysis and Recognition (ICDAR '97). 1997. p. 784.

5. Beitzel S., Jensen E., Grossman D. A Survey of Retrieval Strategies for OCR Text Collections // Proc. of 2003 Symposium on Document Image Understanding Technology. 2003.
6. Chen D., Mao J., Mohiuddin K. An Efficient Algorithm for Matching a Lexicon with a Segmentation Graph // Fifth International Conference on Document Analysis and Recognition. 1999. pp. 543-546.
7. Mays E., Damerau F.J., Mercer R.L. Context Based Spelling Correction // Inf. Process. Manage. 1991. vol. 27. no. 5. pp. 517-522.
8. Fossati D., Barbara Di Eugenio. A Mixed Trigrams Approach for Context Sensitive Spell Checking // Proceedings of the 8th International Conference on Computational Linguistics and Intelligent Text Processing (CICLing '07). 2007. pp. 623-633.
9. Шоломов Д.Л., Постников В.В., Марченко А.А., Усков А.В. Пост-обработка результатов OCR распознавания, использующая частично определенный синтаксис // Труды ИСА РАН. 2005. Т.16. С. 146-163.
10. Смирнов С.В. Методы автоматической постобработки результатов распознавания в задачах оцифровки архивных документов // Информационно-измерительные и управляющие системы. 2013. №9. С. 22-32.
11. Philips L. The Double Metaphone Search Algorithm // C/C++ Users J. 2000. vol. 18. no. 6. pp. 38-43.
12. Pollock J., Zamora A. Automatic Spelling Correction in Scientific and Scholarly Text // Commun. ACM. 1984. vol. 27. no. 4. pp. 358-368.
13. Левентейн В. Двоичные коды с исправлением выпадений, вставок и замещения символов // Доклады Академии Наук СССР. 1965. Т. 163. № 4. С. 845-848.
14. Reunaert M. Text Induced Spelling Correction // Proceedings of the 20th international conference on Computational Linguistics (COLING '04). 2004. pp. 834.
15. Автоматическая обработка текста. URL: [www.aot.ru](http://www.aot.ru) (дата обращения 10.05.2014).
16. Сокирко А.В. Морфологические модули на сайте [www.aot.ru](http://www.aot.ru) // Материалы конференции «Диалог-2004». 2004.
17. Reunaert M. Corpus-Induced Corpus Clean-up // Fifth International Conference on Language Resources and Evaluation (LREC '2006). 2006.
18. Damerau F.J. A technique for computer detection and correction of spelling errors // Commun. ACM. 1964. vol. 7. no. 3. pp. 171-176.
19. Смирнов С.В. Критерии оценки качества результатов оптического распознавания // Сборник материалов XVI Международной научно-практической конференции «Перспективы развития информационных технологий». Новосибирск. 2013. С. 33-38.

## References

1. Smirnov S.V. [Subsystem of mass image recognition of archival documents]. *Trudy SPIIRAN – SPIIRAN Proceedings*. 2012. vol. 3 (22). pp. 234-248. (In Russ.).
2. Kai N. Unsupervised Post-Correction of OCR Errors. Hannover: Leibniz University. 2010.
3. Kukich K. Techniques for automatically Correcting Words in Text. ACM computing survey Computational Linguistic. 1992. vol. 24. no. 4. pp. 377-439.
4. Mailburg M. Comparative Evaluation of Techniques for Word Recognition Improvement by Incorporation of Syntactic Information. 4th International Conference Document Analysis and Recognition (ICDAR '97). 1997. p. 784.
5. Beitzel S., Jensen E., Grossman D. A Survey of Retrieval Strategies for OCR Text Collections. Proc. of 2003 Symposium on Document Image Understanding Technology. 2003.
6. Chen D., Mao J., Mohiuddin K. An Efficient Algorithm for Matching a Lexicon with a Segmentation Graph. Fifth International Conference on Document Analysis and Recognition. 1999. pp. 543-546.



7. Mays E., Damerau F.J., Mercer R.L. Context Based Spelling Correction. *Inf. Process. Manage.* 1991. vol. 27. no. 5. pp. 517–522.
8. Fossati D., Barbara Di Eugenio. A Mixed Trigrams Approach for Context Sensitive Spell Checking. *Proceedings of the 8th International Conference on Computational Linguistics and Intelligent Text Processing (CICLing '07)*. 2007. pp. 623–633.
9. Sholomov D.L., Postnikov V.V., Marchenko A.A., Uskov A.V. [Post-processing of OCR recognition results using partially defined syntax]. *Trudy ISA RAN – ISA RAS Proceedings*. 2005. vol. 16. pp. 146–163. (In Russ.).
10. Smirnov S.V. [Methods of post-correction of OCR errors in problems of automatic processing of archival documents]. *Informatsionno-izmeritelnye i upravlyayushchie sistemy – Information-measuring and Control Systems*. 2013. vol. 9. pp. 22–32. (In Russ.).
11. Philips L. The Double Metaphone Search Algorithm. *C/C++ Users J*. 2000. vol. 18. no. 6. pp. 38–43.
12. Pollock J., Zamora A. Automatic Spelling Correction in Scientific and Scholarly Text. *Commun. ACM*. 1984. vol. 27. no.4. pp. 358–368.
13. Levenshtein V.I. [Binary Codes Capable of Correcting Deletions, Insertions, and Reversals]. *Doklady Akademij Nauk SSSR – Reports of the USSR Academy of Sciences*. 1965. vol. 163. no. 4. pp. 845–848. (In Russ.).
14. Reynaert M. Text Induced Spelling Correction. *Proceedings of the 20th international conference on Computational Linguistics (COLING '04)*. 2004. pp. 834
15. *Avtomatičeskaja obrabotka teksta* [Automatic text processing]. Available at: [www.aot.ru](http://www.aot.ru) (accessed 10.05.2014). (In Russ.).
16. Sokirko A.V. [Morphological modules on site [www.aot.ru](http://www.aot.ru)]. *Materialy konferencii «Dialog-2004»* [Proceedings of conference “Dialog-2004”]. 2004. (In Russ.).
17. Reynaert M. Corpus-Induced Corpus Clean-up. *Fifth International Conference on Language Resources and Evaluation (LREC '2006)*. 2006.
18. Damerau F.J. A technique for computer detection and correction of spelling errors. *Commun. ACM*. 1964. vol. 7. no. 3. pp. 171–176.
19. Smirnov S.V. [Criteria for evaluating the quality of results OCR]. *Sbornik materialov XVI Mezhdunarodnoj nauchno-praktičeskoj konferencii «Perspektivy razvitiya informacionnyh tehnologij»* [Proceedings of the 16th International scientific-practical conference “Prospects of the development of information technologies”]. Novosibirsk. 2013. pp. 33–38. (In Russ.).

**Смирнов Сергей Владимирович** — начальник сектора, Санкт-Петербургское государственное унитарное предприятие «Санкт-Петербургский информационно-аналитический центр». Область научных интересов: автоматическая обработка изображений документов и текстов. Число научных публикаций — 7. [serge.smir@gmail.com](mailto:serge.smir@gmail.com); Транспортный пер., д. 6а, г. Санкт-Петербург, 191040, РФ; п.т. +7(812)764-3957, факс +7(812)764-9548.

**Smirnov Sergey Vladimirovich** — head of sector, St. Petersburg State Unitary Enterprise "St. Petersburg Information and Analytical Centre". Research interests: automatic processing of document images and texts. The number of publications — 7. [serge.smir@gmail.com](mailto:serge.smir@gmail.com); 6a Transportny per., St. Petersburg, 191040, Russia; office phone +7(812)764-3957, fax +7(812)764-9548.

## РЕФЕРАТ

### **Смирнов С.В. Корректировка ошибок оптического распознавания на основе рейтинго-ранговой модели текста.**

В проектах по оцифровке документов культурного наследия основную массу составляют исторические документы. Результаты, получаемые на выходе систем распознавания необходимо подвергать последующей автоматической постобработке с целью коррекции допущенных ошибок.

Существующие методы в большей степени предназначены для обработки современных текстов и не подходят в чистом виде для обработки исторических текстов, содержащих большое количество специализированных терминов, имен собственных, географических наименований и т.п.

Предложенный в работе подход автоматической корректировки результатов массового оптического распознавания документов использует алгоритм нахождения минимального расстояния между словами (расстояние Левенштейна [13]) и алгоритм поиска схожих слов методом анаграмм [14].

Процесс корректировки результатов распознавания разделяется на три этапа: подготовка структур данных, генерация корректировок и формирование результата.

В ходе предварительного этапа подготовки структур данных производится сбор статистической информации по всему корпусу распознанных документов, формируется целый ряд словарей и хэш-таблиц, содержащих необходимые данные для этапа генерации корректировок.

Этап генерации корректировок является основным этапом обработки, на котором для каждого ошибочно распознанного слова формируются списки слов-кандидатов на замену, отсортированные по рейтингу.

Отбор слов-кандидатов для корректировки осуществляется по специальным глоссариям, построенным на основе частотных характеристик повторений слов и словосочетаний со всего корпуса распознанных материалов. Использование таких глоссариев, позволяет производить корректировку текстов различных предметных областей, содержащих узкоспециализированную терминологию, имена собственные, географические наименования и т.п.

Финальное ранжирование отобранных слов-кандидатов производится с учетом контекста и основывается на результатах статистического n-грамм анализа всего корпуса текста в нормальной форме. Реализация функции перевода слова в нормальную форму на основе морфологических предсказаний позволяет генерировать нормальные (базовые) формы даже для слов русского языка, отсутствующих в словаре.

При корректировке корпусов большого объема существенное значение имеет скорость выполнения обработки. В данной работе для увеличения скорости производится корректировка только слов с некорректным написанием, также не подвергаются корректировке слова с малым количеством символов. Данный подход не может обеспечить корректировку слов, присутствующих в словаре, но некорректно примененных в текущем контексте.

## SUMMARY

### *Smirnov S.V.* **OCR error correction based on rating-rank model of text.**

Historical documents are the most popular in projects on digitization of cultural heritage documents. Results obtained at the output of the recognition systems need to be subjected to the subsequent automatic post-processing for the correction of errors.

Existing methods mostly intended for processing and modern texts do not fit in pure form for the treatment of historically texts containing a large number of specialized terminology, proper names, geographical names, etc.

The proposed approach uses an algorithm for finding the minimum distance between words (Levenstein distance [13]) and the search algorithm of similar words using Anagram method [14].

The correction process of recognition results is divided into three stages: preparation of data structures, generation of corrections and result formation.

During the preliminary phase of the data structures collection of statistical information on all case recognized documents are formed, a number of dictionaries and hash tables containing the necessary data for the generation step adjustments are produced.

Generating step is a major milestone, which forms the word candidate lists for replacement of the errors, sorted by rating.

Selection of word candidates for corrections performed by special glossary based on the basis of the frequency characteristics of repetitions of words and phrases from around the body recognized materials. The use of such glossaries, allows adjustment of texts of various domains containing highly specialized terminology, proper names, place names, etc.

The final ranking of the selected word candidates is made taking into account the context and based on the results of the statistical n-gram analysis of the entire body of text in normal form. Implementation of word normalization is based on morphological predictions and can generate normal (base) form even for Russian words, which are absent in the dictionary.

Speed of processing is very important during the processing of large volume of data. To increase the velocity only words with incorrect spelling are corrected, also words with a small number of characters are not corrected. This approach cannot correct the words which are present in dictionary but have a wrong interpretation in the context.

А.А. МУСАЕВ

**АНАЛИЗ ИНЕРЦИОННОСТИ ХАОТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ  
ДЛЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СХЕМЫ БЕЗ СЕГМЕНТАЦИИ**

---

*Мусаев А.А.* Анализ инерционности хаотических процессов для вычислительной схемы без сегментации.

**Аннотация.** Представлены описание и результаты серии вычислительных экспериментов, посвященных анализу инерционности хаотических процессов. Материалы статьи являются продолжением исследований, приведенных в статье [1]. Существенным отличием от указанной работы является отказ от сегментации области изменения исследуемого процесса. Такой подход позволяет более гибко настраивать систему анализа инерционности хаотической динамики. Подтверждаются ранее полученные выводы о наличии инерционности сглаженной динамики. Возможность построения эффективной стратегии управления на основе полученных выводов требует дополнительных исследований, связанных с изучением динамических свойств обнаруженного тренда.

**Ключевые слова:** хаотические процессы, сегментация, инерционность, Forex.

*Musaev A.A.* Chaotic Processes Persistence Analysis for Computing Scheme without Segmentation.

**Abstract.** Descriptions and results of the computing experiments series devoted to the analysis of a lag effect of chaotic processes are submitted. Materials of article are continuation of the researches given in article [1]. Essential difference from the specified work is refusal of segmentation of studied process change area. Such approach allows to adjust more flexibly system of the analysis of a chaotic dynamics lag effect. Earlier received conclusions about existence of a smoothed dynamics lag effect are confirmed. Possibility of effective control strategy creation on the basis of the received conclusions demands the additional researches connected with studying of a trend dynamic properties.

**Keywords:** chaotic process, segmentation, persistence, Forex.

---

**1. Введение.** Проблема инерционности хаотических процессов является ключевой с точки зрения принципиальной возможности построения эффективного управления в соответствующих средах. Идеальный хаотический процесс не имеет и не может иметь инерционности, под которой понимается способность сохранять тенденцию развития в течение заданного интервала времени. Однако реальный хаос, как правило, содержит локальные тренды, существенно снижающие его энтропию. Возникает задача экспериментального подтверждения локальной инерционности на примере массивов ретроспективных наблюдений за реальными информационными процессами. Численный анализ данной проблемы представлен в предшествующем выпуске настоящего издания [1]. Спецификой указанной работы является применение технологии анализа инерционности на основе фиксированной сегментации области изменения хаотического процесса. Такой подход усложняет программу анализа, требуя фиксации начала анализа после

пересечения одного из уровней априори сформированного горизонтального сегмента. В то же время нет никакого основания для того, чтобы не использовать для начала анализа произвольный момент времени эволюции хаотического процесса. В связи с этим в настоящей статье используется вычислительная схема с произвольным временем начала процесса фиксации тренда.

Работа носит общий характер и относится к задачам оценки возможности построения эффективных управляющих стратегий в квазихаотических средах [2-10]. В частности, полученные в работе результаты анализа, могут являться экспериментальной платформой для формирования трендовых торговых стратегий на электронных рынках капитала. Игра на инерционности тренда означает открытие позиции в сторону обнаруженной тенденции. При этом проигрыш происходит на переломах тренда и при колебательном тренде с размахом, лежащим в диапазоне  $(-dC, dC)$ , где  $dC$  - уровень подтверждения инерционности, отсчитываемый от состояния процесса в момент обнаружения тенденции.

**2. Описание вычислительного эксперимента.** В качестве полигона хаотических данных для вычислительного эксперимента используются ряды наблюдений  $Y(t)$  за котировкой валютного инструмента EURUSD на пяти различных непересекающихся 100-дневных интервалах непрерывного наблюдения с дискретом времени  $\tau = 1$  мин., а также ее сглаженное значение  $Y_s(t)$ . Сглаживание, как и прежде, осуществляется экспоненциальным фильтром с коэффициентами передачи  $\alpha = 0.005, 0,01, 0.02$ .

Начало каждого локального эксперимента, в отличие от методики, используемой в [1], может осуществляться (фиксироваться) в любой момент времени  $Y(t_0)$ . После того, как процесс  $Y(t)$  преодолел в одном направлении порог фиксации инерционности  $Y_f = Y(t_0) + dL$  (или  $Y_f = Y(t_0) - dL$ ) начинается проверка факта подтверждения (или отрицания) его инерционности. Положительным событием (или событием, благоприятным гипотезе  $H_1$  о наличии инерционного тренда), будем называть достижение процессом  $Y(t)$  уровня подтверждения инерционности  $Y_c = Y_f + dC$  (для положительного тренда) или  $Y_c = Y_f - dC$  (для отрицательного тренда). На электронных торгах уровень  $dC$  соответствует уровню остановки выигрышной игры  $TP$  (*take profit*). При этом монотонности динамики от момента старта (открытие

позиции) до остановки (закрытия позиции), естественно, не требуется. Достаточно того, чтобы процесс достигнул уровня  $dC = TP$  раньше, чем он пересечет уровень фиксации проигрыша  $SP$  (stop loss), заданный в противоположном направлении.

Соответственно, отрицательным закрытием или событием, благоприятным альтернативной гипотезе  $H_0$  об отсутствии тренда, будем называть достижение процессом  $Y(t)$  уровня  $dC = SL$  раньше, чем он пересечет уровень  $dC = TP$ .

Схема эксперимента 1 базируется на собственной динамике процесса  $Y(t)$ . Во второй вычислительной схеме используется комбинированный подход, когда фиксация тренда осуществляется процессом  $Y_s(t)$ , а его подтверждение – процессом  $Y(t)$ . В третьей вычислительной схеме для фиксации и подтверждения тренда используется сглаженный процесс  $Y_s(t)$ .

**3. Эксперимент 1. Сравнение результатов инерционности для различных вычислительных схем.** В качестве первого эксперимента рассмотрим задачу оценки вероятности наличия инерционности тренда у исследуемого процесса для параметров  $dC = |TP| = |SL| = 100$  п. (пункт – единица измерения  $Y(t)$ ). Равенство  $|TP| = |SL|$  связано с симметричной постановкой исходной задачи. Выбор величины  $dL = 100$  пунктов является ориентировочным и обусловлен тем, что значение идентифицируемого тренда должно явно превалировать над случайным разбросом. Для приведенных примеров значение среднеквадратичного отклонения вариаций  $Y(t)$  даже относительно сглаженного процесса  $Y_s(t)$  лежит в диапазоне 15-25п.

Как видно из таблицы 1, наличие случайной компоненты в схемах 1 и 2 для фиксации начала и завершения локальных опытов не позволяет выявить наличие какого-либо значимого подтверждения тренда. В схемах 1 и 2 факт обнаружения тренда на участке  $dL$  совершенно не гарантирует его инерционной сохранности на последующем участке такой же длины. Применение сглаженной кривой для фиксации тренда в вычислительной схеме 3 подтверждает его наличие.

Выбор вычислительной схемы 3 для дальнейших исследований связан с тем, что она в большей степени отражает системную динамику, а следовательно и инерционные свойства исследуемого процесса.

Недостатком схем со сглаживанием является наличие задержки сглаженной кривой  $Y_s(t)$  относительно реального процесса  $Y(t)$ , что может существенно усложнить возможность построения эффективной

стратегии, основанной на использовании инерциальности динамики котировок.

Таблица 1. Частота положительных исходов с  $\alpha = 0.01$

Временной интервал, сутки	EURUSD			EURJPY		
	Схема 1	Схема 2	Схема 3	Схема 1	Схема 2	Схема 3
1-100	0.54	0.52	0.71	0.49	0.52	0.67
101-200	0.50	0.53	0.72	0.50	0.54	0.73
201-300	0.54	0.50	0.72	0.53	0.54	0.72
301-400	0.48	0.43	0.69	0.50	0.50	0.69
401-500	0.48	0.43	0.66	0.51	0.55	0.72

**4. Эксперимент 2. Анализ инерционности сглаженной составляющей хаотического процесса.** Рассмотрим вопрос об инерционности тренда на меньших участках фиксации. В частности, исследуем вышеприведенную задачу с вычислительной схемой 3, в которой открытие и закрытие открывается на основе сглаженной кривой с тремя уровнями коэффициента передачи:  $\alpha = 0.02, 0.01, 0.005$ .

В качестве примера будем рассматривать котировки тех же валютных инструментов, что и в предыдущем случае. Результаты моделирования приведены в таблице 2.

Таблица 2. Частота положительных исходов для вычислительной схемы 3

Временной интервал, сутки	EURUSD, $dL=75$			EURJPY, $dL=75$		
	$\alpha = 0.02$	0.01	0.005	0.02	0.01	0.005
1-100	0.69	0.61	0.71	0.57	0.62	0.68
101-200	0.72	0.76	0.75	0.72	0.74	0.81
201-300	0.66	0.66	0.65	0.70	0.73	0.78
301-400	0.55	0.57	0.60	0.67	0.70	0.79
401-500	0.58	0.59	0.63	0.68	0.71	0.79
Временной интервал, сутки	EURUSD, $dL=50$			EURJPY, $dL=50$		
	$\alpha = 0.02$	0.01	0.005	0.02	0.01	0.005
1-100	0.58	0.63	0.70	0.63	0.70	0.71
101-200	0.70	0.72	0.80	0.75	0.76	0.82
201-300	0.71	0.76	0.78	0.72	0.76	0.80
301-400	0.66	0.67	0.72	0.70	0.71	0.75
401-500	0.65	0.67	0.68	0.70	0.73	0.77

Из приведенных результатов видно, что увеличение коэффициента передачи сглаживающего фильтра приводит к росту инерционности системной составляющей процесса. Однако искусственность такого подхода может привести к некорректным выводам при формирова-

нии торговых стратегий в силу неизбежного отставания динамики сглаженной кривой  $Y_s(t)$ . В частности, явно выраженный перевес частоты положительных исходов (60-70%) совершенно не означает соответствующий перевес суммы выигрыша над суммой проигрыша.

**4. Эксперимент 3. Анализ эффективности торговых стратегий, основанных на гипотезе об инерционности тренда.** Предположим, что гипотеза  $H_1$  о наличии инерционности тренда верна. Рассмотрим для данного утверждения основные проблемы, возникающие при построении торговых стратегий, непосредственно использующих данное предположение. Общая постановка таких стратегий сводится к открытию позиции в сторону, соответствующую направлению выявленного тренда. Установление факта наличия тренда основано на событии перехода состояния котировки с уровня  $L_k$  на уровень  $L_k + dL$  (восходящий тренд) или на уровень  $L_k - dL$  (нисходящий тренд). Простейшая стратегия, основанная на трендовой динамике, сводится к открытию позиции «вверх» при установлении факта наличия положительного тренда, и открытию позиции «вниз» при установлении факта наличия отрицательного тренда. Очевидно, что такая стратегия является проигрышной при «переломах» тренда (рисунок 1). Такие потери, при установке разумных ограничений  $SL$ , не являются критичными, их легко отыграть.

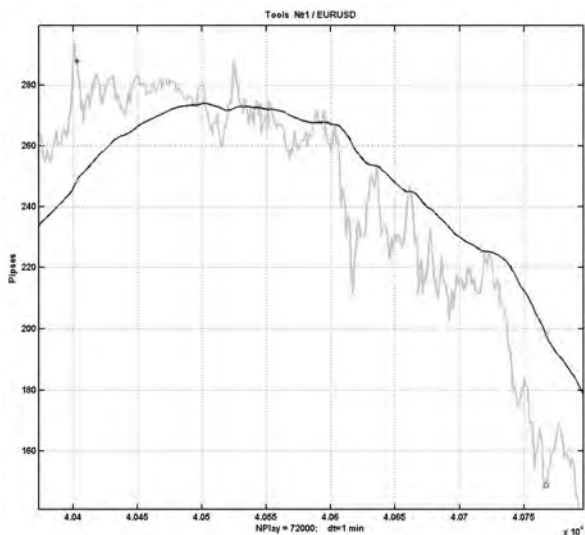


Рис. 1. Проигрыш на «переломе» тренда



Значительно более высокие потери возникают при боковом тренде с размахом системной (сглаженной) составляющей, больше величины  $dL$  (с тем, чтобы квазитренд был обнаружен и позиция открывалась), но меньше, чем  $2dL$ , чтобы позиция не могла закрываться выигрышно. Пример такого бокового тренда представлен на рисунке 2.

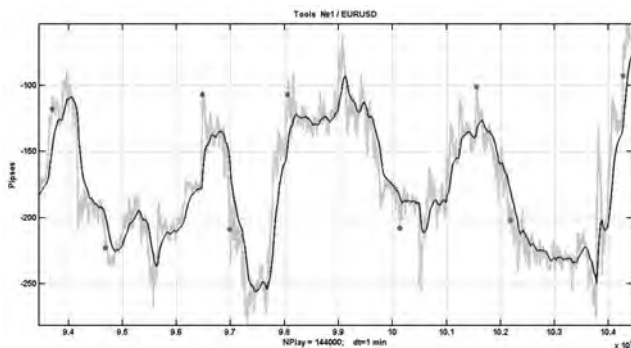


Рис. 2. Типичный участок проигрыша торговой стратегии, основанной на использовании трендов

Как видно из приведенного рисунка, в случае, когда закрытие позиции совмещено с фактом выявления тренда и одновременным открытием новой позиции в соответствующую сторону, наличие бокового тренда с указанным выше диапазоном размаха колебаний, приводит к последовательности из 8 проигрышей.

Интересно заметить, что мистические свойства хаоса приводят к регулярному возникновению боковых трендов с размахом, обеспечивающим наибольший проигрыш.

Следует указать, что сама технология открытия позиций также вносит негативный вклад в результативность трендовой стратегии. В частности, в случае использования первой вычислительной схемы усиление проигрыша связано с тем же эффектом разворота, увеличивающим средний размер проигрыша в среднем на половину диапазона изменения котировки в течение единицы времени дискретизации (в данном случае – за одну минуту). При использовании второй и третьей вычислительных схем это негативное явление существенно усиливается за счет отставания сглаженной динамики от динамики котировок. Кроме того, во всех случаях к проигрышу необходимо добавить величину спреда, умноженную на число открытий позиций, что особенно существенно при малых размерах  $dL$ .

**5. Исследование инерционности тренда для различных уровней подтверждения.** Основная цель перехода к бессегментной

схеме связана с ее гибкостью, позволяющей использовать различные, не равные друг другу параметры идентификации тренда  $dL$ , выигрышного  $TP$  и проигрышного  $SL$  уровней закрытия позиции. При этом сам факт подтверждения инерционности требует симметрии положительного и отрицательного исходов  $TP = SL$ . Однако при разработке и анализе торговых стратегий последнее равенство соблюдать совершенно не требуется.

Рассмотрим задачу анализа инерционности для различных сочетаний этих параметров на примере валютного инструмента EURUSD с использованием сглаженной кривой котировок с  $\alpha = 0.01$ . Для статистического анализа гипотезы об инерционности используем симметричную схему закрытия позиции  $TP = SL$ , хотя она и явно противоречит рекомендациям практикующих трейдеров [2].

Нетрудно видеть, что снижение уровня подтверждения инерционности  $TP(=SL)$  с 75п. до 25п. приводит к некоторому росту вероятности событий, подтверждающих гипотезу  $H_1$ .

Переход к более волатильному инструменту EURJPY существенного не изменяет полученных ранее оценок.

Снижение уровня фиксации тренда со 100п. до 75п., и далее до 50п., как это видно из данных, приведенных в таблицах 3-4, оказывает крайне незначительное влияние на оценку вероятности, подтверждающую гипотезу  $H_1$ .

Таблица 3. Частота положительных исходов для вычислительной схемы 3 и различных уровней подтверждения тренда

Временной интервал, сутки	EURUSD, $dL=100$			EURJPY, $dL=100$		
	$TP=75$	$TP=50$	$TP=25$	$TP=75$	$TP=50$	$TP=25$
1-100	0.63	0.67	0.74	0.64	0.79	0.75
101-200	0.75	0.75	0.90	0.75	0.79	0.84
201-300	0.72	0.73	0.79	0.66	0.65	0.84
301-400	0.62	0.63	0.76	0.55	0.68	0.81
401-500	0.60	0.61	0.72	0.59	0.63	0.83

Таблица 4. Частота положительных исходов для вычислительной схемы 3 и различных уровней фиксации тренда

Временной интервал, сутки	EURUSD, $dL=75$			EURUSD, $dL=50$		
	$TP=75$	$TP=50$	$TP=25$	$TP=75$	$TP=50$	$TP=25$
1-100	0.57	0.70	0.74	0.67	0.68	0.71
101-200	0.72	0.73	0.84	0.75	0.75	0.84
201-300	0.70	0.74	0.78	0.69	0.72	0.80
301-400	0.67	0.69	0.80	0.68	0.70	0.80
401-500	0.68	0.71	0.79	0.66	0.70	0.78

При этом заметно явное превышение частоты подтверждения тренда над уровнем 50%, соответствующем подтверждению гипотезы  $H_0$  об отсутствии системной составляющей. Тем не менее, данный результат остается крайне слабым с точки зрения теоретической платформы для построения торговой стратегии. Прямое использование инерционности зафиксированной тенденции неизбежно ведет к результирующему проигрышу.

Одной из причин негативного результата является загробленная методика фиксация тренда, требующая только перехода котировки  $L \rightarrow L + dL$  раньше, чем  $L \rightarrow L - dL$  (положительный тренд) или наоборот,  $L \rightarrow L - dL$  раньше, чем  $L \rightarrow L + dL$  (отрицательный тренд).

В то же время качество самого перехода никак не учитывалось. Этому вопросу будут посвящены исследования в следующей статье.

**6. Заключение.** Полученные результаты вычислительных экспериментов подтверждают гипотезу о наличии инерционности в динамике котировок валютных инструментов. Однако ее величина крайне незначительна и соизмерима по величине с среднеквадратическим отклонением отклонений котировок от сглаженной траектории с коэффициентом передачи, лежащим в пределах  $\alpha = [0.005 - 0.02]$ .

Построить выигрышную стратегию в условиях нестабильной инерционности системной составляющей, соизмеримой с разбросом случайной компоненты траектории котировок, практически невозможно. Однако для окончательного вывода необходимы дополнительные исследования, учитывающие качественные особенности выявленного тренда.

## Литература

1. *Мусаев А.А.* Статистический анализ инерционности хаотических процессов // Труды СПИИРАН, 2014. Вып. 2(33). С. 48-59.
2. *Lien K.* Day Trading the Currency Market: Technical and Fundamental Strategies to Profit from Market Swings // Wiley & Sons, Inc. 2005. 256 p.
3. *Peters E. E.* Chaos and order in the capital markets: a new view of cycles, prices, and market volatility (2nd ed.) // NY: John Wiley & Sons. 1996. 288 p.
4. *Kaltwasser P.R.* Uncertainty about fundamentals and herding behavior in the Forex market // Physica A: Statistical Mechanics and its Applications. 2010. vol. 389. no. 6. pp. 1215-1222.
5. *Чеботарев Ю.А.* Торговые роботы на Российском Фондовом рынке // Москва: Smart book. 2011. 159 с.
6. *Bosse T., Treur J., Jonker C.M.* Formal analysis of design process dynamics // AI EDAM. 2010. vol. 24. no. 3. pp. 397-423.
7. *Ананченко И.В., Мусаев А.А.* Математические и информационные технологии на рынке «Forex» // Saarbrücken: Lambert Academic Press. 2013. 80 с.

8. *Ананченко И.В., Мусаев А.А., Сушко А.* Для торговли на FOREX: разработка системы, индикатора, программы // Saarbrücken: Lambert Academic Press. 2014. 148с.
9. *Гринблат Д.* Из прошлого в будущее // *Forex magazine*. 2014. № 523/15. С. 22-24.
10. *Чекулаев М.* Торгуем в тренде // *Валютный спекулянт*. 2006. №2. URL: [http://www.spekulant.ru/archive/Torguem\\_v\\_trende.html](http://www.spekulant.ru/archive/Torguem_v_trende.html).

## References

1. Musaev A.A. [Statistical Analysis for Chaotic Processes Persistence]. *Trudy SPIIRAN – SPIIRAS Proceedings*. 2014. vol. 2(33). pp. 48-59. (In Russ.).
2. Lien K. *Day Trading the Currency Market: Technical and Fundamental Strategies to Profit from Market Swings*. NY: Wiley & Sons, Inc. 2005. 256 p.
3. Peters E. E. *Chaos and order in the capital markets: a new view of cycles, prices and market volatility* (2nd ed.). NY: John Wiley & Sons. 1996. 288 p.
4. Koltwasser P.R. *Uncertainty about fundamentals and herding behavior in the Forex market*. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*. 2010. vol. 389. no. 6. pp. 1215-1222.
5. Tchebotarjov Jr.A. *Torgovye roboty na Rossijscom fondovom rynke* [Trade robots at Russian stock market]. Moscow: Smart book. 2011.159 p. (In Russ.).
6. Bosse T., Treur J., Jonker C.M. Formal analysis of design process dynamics. *AI EDAM*. 2010. vol. 24. no. 3. pp. 397-423.
7. Anantchenko I.V., Musaev A.A. *Matematicheskie i informacionnye tehnologii na rynke Foreks* [Mathematical and Information Technologies at Forex Market]. Saarbrücken: Lambert Academic Press. 2013. 80 p. (In Russ.).
8. Anantchenko I.V., Musaev A.A. Sushko A. *Dlja trgovli na Foreks: razrabotka sistemy, indikatora, programmy* [For the Forex trading: system, indicator and program design]. Saarbrücken: Lambert Academic Press. 2014. 148 p. (In Russ.).
9. Greenblut D. [From past to future]. *Forex magazine*. 2014. vol. 523/15. pp. 22-24. (In Russ.).
10. Tsekulaev M. [Trading in trend]. *Valjutnyj spekuljant – Currency speculator*. 2006. vol. 2. Available at: [http://www.spekulant.ru/archive/Torguem\\_v\\_trende.html](http://www.spekulant.ru/archive/Torguem_v_trende.html). (In Russ.).

**Мусаев Александр Азерович** — д-р техн. наук, профессор, ведущий научный сотрудник лаборатории информационных технологий в системном анализе и моделировании Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации Российской академии наук (СПИИРАН), декан факультета информационных технологий и управления Санкт-Петербургского государственного университета, научный консультант ОАО Специализированная инженеринговая компания «Севзапмонтажавтоматика». Область научных интересов: анализ данных, управление и прогнозирование в сложных динамических системах, стохастические и хаотические системы. Число научных публикаций — 215. [amusae@technology.edu.ru](mailto:amusae@technology.edu.ru), [www.szma.com](http://www.szma.com); СПИИРАН, 14-я линия В.О., д. 39, г. Санкт-Петербург, 199178, РФ; р.т. +7(812) 316-3027, факс +7 (812)350-1113.

**Musaev Alexander Azerovich** — Ph.D., Dr. Sci., professor, leading researcher, Laboratory of IT in System Analysis and Modeling, St. Petersburg Institute for Informatics and Automation of Russian Academy of Sciences (SPIIRAS), dean of IT and control systems department, St. Petersburg State Institute of Technology, expert, public corporation Specialized Engineering Company "Sevzapmontageautomatica". Research interests: data analysis, complicated dynamic processes prognosis and control, stochastic chaos systems. The number of publications — 215. [amusae@technology.edu.ru](mailto:amusae@technology.edu.ru), [www.szma.com](http://www.szma.com); SPIIRAS, 39, 14-th Line V.O., St. Petersburg, 199178, Russia; office phone +7(812)316-3027, fax +7(812)350-1113.

## РЕФЕРАТ

*Мусаев А.А. Анализ инерционности хаотических процессов для вычислительной схемы без сегментации.*

Проблема инерционности реальных квазихаотических процессов является ключевой при решении задачи построения эффективного управления в соответствующих средах. Идеальный хаотический процесс не имеет и не может иметь инерционности, под которой понимается способность сохранять тенденцию развития в течение заданного интервала времени. Однако реальный хаос, как правило, содержит локальные тренды, существенно снижающие его энтропию. Возникает задача экспериментального подтверждения локальной инерционности на примере массивов ретроспективных наблюдений за реальными информационными процессами. Спецификой предшествующих исследований по данному вопросу является применение технологии анализа инерционности на основе фиксированной сегментации области изменения хаотического процесса. Такой подход усложняет программу анализа, требуя фиксации начала анализа после пересечения одного из уровней априори сформированного горизонтального сегмента. В то же время нет никакого основания для того, чтобы не использовать для начала анализа произвольный момент времени эволюции хаотического процесса. В связи с этим в настоящей статье используется вычислительная схема с произвольным временем начала процесса фиксации тренда.

Работа носит общий характер и относится к задачам оценки возможности построения эффективных управляющих стратегий в квазихаотических средах. В частности, полученный анализ в работе анализ может являться экспериментальной платформой для формирования трендовых торговых стратегий на электронных рынках капитала. Игра на инерционности тренда означает открытие позиции в сторону имеющейся тенденции. При этом проигрыш происходит на переломах тренда и при некоторых типах колебательного тренда.

Полученные результаты вычислительных экспериментов подтверждают гипотезу о наличии инерционности в динамике котировок валютных инструментов. Однако ее величина крайне незначительна и соизмерима по величине со среднеквадратическим отклонением отклонений котировок от сглаженной траектории.

Построить выигрышную стратегию в условиях нестабильной инерционности системной составляющей, соизмеримой с разбросом случайной компоненты траектории котировок, практически невозможно. Однако для окончательного вывода необходимы дополнительные исследования, учитывающие качественные особенности выявленного тренда. Соответствующие материалы предполагается представить в следующем выпуске «Трудов СПИИРАН».

## SUMMARY

### ***Musaev A.A. Chaotic Processes Persistence Analysis for Computing Scheme without Segmentation.***

The problem of a real quasichaotic processes persistence effect is key at the effective control creation in the corresponding environments. Ideal chaotic process has no and can't have a lag effect which is understood as ability to keep a development tendency during the set time interval. However the real chaos, as a rule, contains the local trends significantly reducing its entropy. There is a problem of local lag effect experimental confirmation on the example of retrospective observations of real information processes. Previous researches specifics on the matter is application of a lag effect analysis on the basis of the fixed segmentation of chaotic process change area. Such approach complicates the analysis program, demanding fixing of the beginning of the analysis after crossing of one of a priori created horizontal segment levels. At the same time there is possible to use any timepoint of evolution of chaotic process to start the analysis. In this regard in the present article the computing scheme with any time of the beginning of trend inertia fixing process is used.

Work has the general character and treats problems of possibility assessment of effective control strategy creation in quasichaotic environments. In particular, the received analysis can be an experimental platform for trade strategy formation in the electronic markets of the capital. Game on a trend persistence effect means position opening towards an available tendency. Thus loss happens on changes of a trend and at some types of an oscillatory trend.

The computing experiments results confirm a hypothesis about lag effect existence in dynamics of currency tools quotations. However its size is extremely insignificant and commensurable in size with a mean square deviation of rejections of quotations from a smoothed trajectory.

To construct advantageous strategy in the conditions of an unstable system component lag effect commensurable with dispersion casual components of a quotations trajectory, it is almost impossible. However the additional researches considering qualitative features of the revealed trend are necessary for a final conclusion. The corresponding materials are supposed to be presented in the following release of "SPIIRAS Proceedings".

М.С. ГРИГОРОВ  
**КЛАССИФИКАЦИЯ ЦИФРОВЫХ СИСТЕМ  
НЕРАЗРУШАЮЩЕГО РЕНТГЕНОВСКОГО КОНТРОЛЯ  
ИЗДЕЛИЙ МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ**

---

*Григоров М.С. Классификация цифровых систем неразрушающего рентгеновского контроля изделий микроэлектроники.*

**Аннотация.** Интенсивное развитие цифровых систем неразрушающего рентгеновского контроля открывает возможности по автоматизации этого процесса для разрабатываемых и производимых изделий микроэлектроники с неоднородной структурой. В работе предложена классификация цифровых систем неразрушающего рентгеновского контроля по следующим критериям: способ формирования рентгеновского изображения, тип детектора, способ считывания рентгеновского изображения с детектора. Проведен анализ цифровых систем неразрушающего рентгеновского контроля изделий микроэлектроники и определены системы, наиболее восприимчивые к автоматизации.

**Ключевые слова:** неразрушающий рентгеновский контроль, автоматизация, рентгеновское изображение, классификация.

*Grigorov M.S. Classification of digital systems of non-destructive x-ray control of microelectronic products.*

**Abstract.** An intensive progress of digital systems of non-destructive x-ray control opens the capabilities of automation of this process for the development and producible microelectronic products with nonhomogeneous structure. The classification of digital systems of non-destructive x-ray control on the following criteria: the way of x-ray image formation, the detector type, the method of x-ray image detector reading is offered in this paper. The digital systems of non-destructive x-ray control of microelectronic products are analyzed, and systems most susceptible to automation are defined.

**Keywords:** non-destructive x-ray control, automation, x-ray image, classification.

---

**1. Введение.** Современное состояние неразрушающего рентгеновского контроля (НРК) изделий микроэлектроники (ИМ) характеризуется интенсивным развитием цифровых систем (ЦС), которые предполагают получение радиационного изображения (РИ) объекта контроля (ОК) в виде цифрового сигнала. Массив данных, полученный из этого цифрового сигнала, может быть обработан с использованием различных алгоритмов и затем выведен для представления оператору контроля в виде полутонового изображения на экран графического дисплея [1–7].

Основными причинами, оказавшими влияние на развитие ЦС НРК ИМ, являются [6–10]:

– желание отказаться от процедуры химической обработки, применяемой в пленочной технологии и требующей дополнительных помещений и затрат;

– развитие компонентной базы электронной промышленности, позволяющей разрабатывать современные типы детекторов рентгеновского излучения;

– развитие вычислительных мощностей современных компьютеров, позволяющих реализовывать сложные алгоритмы обработки массивов данных радиационных изображений за минимальное время;

– предоставление широких возможностей по автоматизации процесса НРК ИМ при использовании ЦС и т.д.

Современные ИМ характеризуются сложной неоднородной структурой, содержащей элементы с различной толщиной и проникающей способностью (линейным коэффициентом ослабления), что предопределяет необходимость получения нескольких рентгеновских изображений с разными значениями интенсивности рентгеновского излучения для одного ОК, обеспечивающих требуемое качество изображения по выбранному критерию (например, пространственное разрешение) для каждого его элемента. Увеличение количества формируемых изображений, необходимость их анализа для выбора следующего режима просвечивания приводит к снижению оперативности НРК ИМ в целом [18].

Таким образом, актуальной задачей является анализ и классификация ЦС НРК ИМ с целью определения наиболее перспективного типа с точки зрения возможности автоматизации и, следовательно, повышения оперативности контроля при требуемом качестве РИ.

**2. Классификация цифровых систем неразрушающего рентгеновского контроля изделий микроэлектроники.** На основе анализа литературы [1–17] предложена следующая классификация ЦС НРК ИМ (рисунок 1).

В соответствии с ней по способу формирования РИ цифровые системы НРК ИМ разделены на две группы:

– полнокадровые системы, характеризующиеся получением проекции полного участка ОК на детектор за одну экспозицию;

– сканирующие, характеризующиеся построчным получением проекции ОК.

Важной характеристикой, влияющей на классификацию ЦС НРК ИМ по способу формирования РИ, является скорость получения РИ. В соответствии с ней рассматриваемые системы разделены на две основные группы:

– системы с запоминанием изображения. В литературе [6 – 10] встречается описание данных систем как систем "оцифровки



рентгеновских пленок" и "компьютерной рентгенографии" (зарубежное обозначение: CR – Computed Radiography);

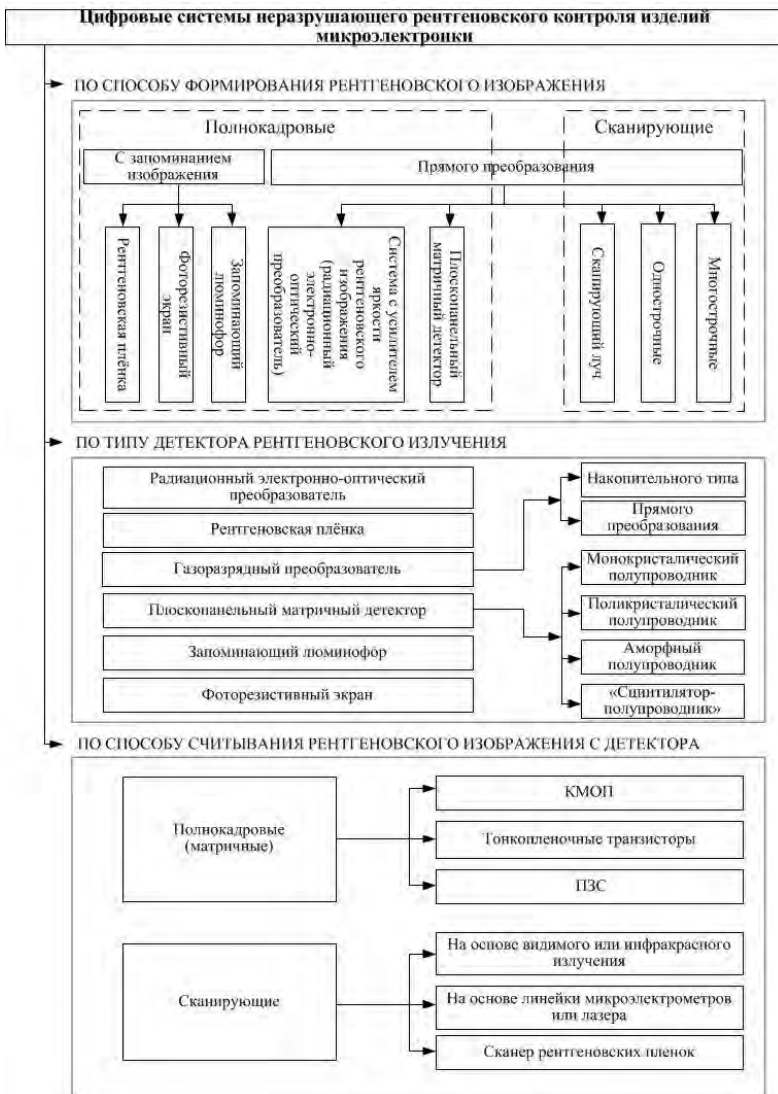


Рис. 1. Классификация ЦС НРК ИМ

– системы прямого преобразования рентгеновского излучения в РИ. В литературе [6 – 10] встречается описание данных систем как систем "цифровой рентгенографии". Зарубежное обозначение: DR (встречаются различные расшифровки: Digital Radiography – цифровая рентгенография или Direct Radiography – прямая рентгенография).

*К полнокадровым ЦС НРК ИМ с запоминанием изображения* относятся системы, основанные на использовании рентгеновской плёнки, фоторезистивных экранов, экранов (пластин) с нанесенным на них запоминающим люминофором. Используемые в данных системах детекторы являются, по сути, буфером хранения скрытого РИ, которое необходимо считать (перевести в цифровой сигнал) с использованием дополнительного оборудования.

*Технология с использованием рентгеновской плёнки* основана на химическом эффекте ионизации [11]. Результат детектирования определяется по разнице почернения различных участков пленки под воздействием рентгеновского излучения в зависимости от плотности и толщины ОК. До недавнего времени эта технология являлась основной при проведении рентгенологических исследований в различных областях применения. Однако существует ряд причин, вызвавших необходимость разработки других способов регистрации РИ [6–10]: низкая квантовая эффективность пленки; ограниченный динамический диапазон, препятствующий одновременной передаче ОК различной плотности, и затрудняющий выбор оптимальной экспозиции; растущие расходы на процесс фотохимической обработки рентгеновской пленки; трудность содержания пленочного архива.

Рентгеновская пленка как детектор имеет существенные отличия от других детекторов с запоминанием изображения в том, что она может быть использована только один раз и имеется возможность считать информацию в "аналоговом виде" непосредственно с пленки путем ее просвечивания источником света. Однако из-за развития систем и методов оцифровки экспонированной пленки системы на основе такого детектора, принято относить к цифровым системам [6–10].

*Фоторезистивные экраны* – это пластины с нанесенным на них слоем аморфного селена. Принцип детектирования основан на преобразовании рентгеновского излучения в электростатическое изображение (потенциальный рельеф), которое затем считывается специальным сканером с помощью микроэлектрометров или лазера. После считывания информация с фоторезистивного экрана стирается и экран можно использовать повторно [12].

Принцип детектирования с помощью экранов (пластин) с запоминаящим люминофором заключается в том, что в процессе рентгеновской экспозиции происходит "запоминание" люминофором скрытого изображения, которое затем считывается специальным сканером с помощью видимого или инфракрасного излучения. После считывания информация с экрана стирается путем засвечивания или нагрева и его можно использовать повторно [13].

К полнокадровым ЦС НРК ИМ с прямым преобразованием относятся системы, основанные на использовании плоскочелюстных матричных детекторов или усилителя яркости рентгеновского изображения.

Системы на базе усилителя яркости рентгеновского изображения основаны на преобразовании рентгеновского излучения в световое излучение в слое сцинтиллятора, передаче получаемого излучения через оптику переноса, преобразовании светового излучения в электрический сигнал ПЗС-матрицей со сцинтилляционным слоем (рисунок 2).

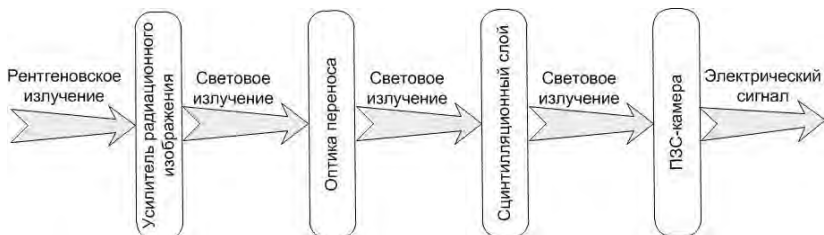


Рис. 2. Схема преобразований информации в системе с УРИ

Данные системы обладают некоторыми недостатками: в системе исходная информация искажается из-за большого количества преобразований (размытие в сцинтилляционном слое, дисторсия изображения в оптике переноса); сцинтилляторы, используемые как среда преобразования рентгеновского излучения, подвержены эффекту "выжигания", что приводит к постоянной деградации чувствительности; временная деградация оптики переноса под воздействием рентгеновского излучения [6–8, 14].

Системы на основе плоскочелюстных матричных детекторов можно разделить на системы, использующие детекторы с сцинтилляционным слоем и без него. Схемы преобразований информации в этих системах существенно отличаются друг от друга по количеству преобразований первичной информации (рисунок 3) [8–14].



Рис. 3. Схема преобразования информации в детекторах: а) со сцинтилляционным слоем; б) без сцинтилляционного слоя

В детекторах со сцинтилляционным слоем в качестве сцинтиллятора используются соединения цезия или гадолиния, в качестве преобразователя света в электрический заряд – матрица светодиодов на основе аморфного кремния. Детекторы на основе соединения цезия имеют преимущество перед детекторами на основе соединения гадолиния из-за монокристаллической структуры, по которой свет, образующийся в результате фотоэффекта, распространяется к фотодиодной матрице вдоль волокон, что приводит к существенному снижению рассеивания света, и как следствие к улучшению пространственного разрешения детектора [8].

В детекторах без использования сцинтилляционного слоя, то есть с прямым преобразованием рентгеновского излучения в электрический заряд самим полупроводником, используются монокристаллические, поликристаллические и аморфные полупроводники. В наиболее распространенных системах используются детекторы на основе аморфного селена и монокристаллического теллурида кадмия. Последний имеет ряд преимуществ по сравнению с другими типами детекторов, а именно: большую четкость изображения из-за отсутствия сцинтилляционного слоя и связанных с ним рассеивания и "эффекта выжигания"; высокий коэффициент экранирования рентгеновского излучения, что существенно снижает эффект временной деградации считывающей электроники; отсутствие "фантомных изображений" характерных для аморфного селена при высоких энергиях рентгеновского излучения (>180 кэВ) [8, 14].

Электрические сигналы, получаемые на выходе матричного детектора (рисунок 3), считываются электроникой с использованием различных технологий (ПЗС, КМОП, тонкопленочные транзисторы) [8–14].

*Сканирующие ЦС НРК ИМ* являются системами с прямым преобразованием и разделяются на:

- однострочные системы, характеризующиеся применением одномерных матричных детекторов (линеек);
- многострочные системы, характеризующиеся применением нескольких одномерных матричных детекторов (линеек);
- системы типа "сканирующий луч", характеризующиеся применением узконаправленного пучка рентгеновского излучения.

*Сканирующие системы, построенные с применением линеек детекторов*, основаны на просвечивании ОК веерным пучком рентгеновского излучения, который формируется при помощи щелевого коллиматора источника излучения, и одной или нескольких линеек детекторов (одномерных матричных детекторов) также коллимированных для снижения влияния рассеянного рентгеновского излучения. Система из источника и линейки детекторов перемещается одновременно вдоль ОК и в результате формируется итоговое полное РИ [6, 7, 10, 15].

Детекторы, применяемые в данных системах, можно разделить на следующие типы: полупроводниковые без сцинтилляционного слоя; полупроводниковые с использованием сцинтилляционного слоя; газоразрядные преобразователи. Принцип работы полупроводниковых детекторов тот же, который применяется в матричных детекторах.

Газоразрядные преобразователи (ГРП) разрабатываются на основе искровых камер, которые применяются для регистрации треков элементарных частиц в ядерной физике. ГРП подразделяются на две группы [16]:

- накопительные ГРП (регистрация отдельных квантов излучения с накоплением отдельных событий и последующим получением изображения);

- ГРП прямого преобразования (одновременная регистрация потока излучения и получение на преобразователе сразу всего изображения).

К накопительным ГРП относятся преобразователи с различными:

- конструкцией: двух- и трехэлектродные, с детектирующим пространством и сеткой, сплошные и проволочные, отпаянные и проточные;

- режимом работы: пропорциональные и непропорциональные;

- способом съема информации: оптический и электрический.

Принцип работы ГРП прямого преобразования состоит в формировании в газе под действием рентгеновского излучения

электронно-ионного изображения, усилении этого изображения посредством газового разряда и преобразовании ультрафиолетового излучения газового разряда в видимое излучение в люминофорном слое [16].

Сегодня наибольшее распространение получают ГРП в виде многопроволочных пропорциональных камер, сигнал с которых пропорционален энергии кванта излучения [16].

*Системы типа "сканирующий луч"* основаны на использовании "игольчатого" пучка излучения, формируемого щелевым коллиматором и модулятором (вращающийся диск с радиально-направленными щелями на краях) источника излучения, либо бомбардировкой анода рентгеновской трубки бегущим электронным лучом. Детектирование "луча" осуществляется "одноэлементным" комбинированным преобразователем с последующей оцифровкой и обработкой цифрового сигнала [7].

*Системы считывания*, применяемые в ЦС НРК ИМ, разделяются на две группы:

- матричные, применяемые в системах прямого преобразования рентгеновского излучения в РИ ("цифровая рентгенография");

- сканирующие, применяемые в системах с запоминанием изображения ("оцифровка рентгеновских пленок" и "компьютерная рентгенография").

*Матричные системы считывания* (в том числе одномерные) основаны на применении технологий с использованием [7–10]:

- тонкопленочных транзисторов (TFT – thin film transistors). Используются как для детекторов со сцинтилляционным слоем (сборка фотодиодов на активной TFT-матрице), так и без него (детекторный слой располагается прямо на матрицу);

- КМОП-элементов (CMOS – complementary metal-oxide semiconductor);

- ПЗС-элементов (CCD – charge-coupled device);

- газоразрядных преобразователей.

Применение конкретного типа технологии считывающей системы определяется особенностями применяемого детектора рентгеновского излучения.

*Сканирующие системы считывания*, применяемые в системах с запоминанием изображения, решают задачу считывания информации (скрытого изображения) с различного типа носителей. Типом носителя скрытого изображения определяется принцип считывания информации.

*Сканирующие системы оцифровки рентгеновской пленки* используют общий принцип получения изображения в цифровой форме: просвечивание пленки источником света и регистрация светового излучения, прошедшего через пленку, линейкой фотодатчиков, с последующим аналого-цифровым преобразованием сигналов. В таких системах различаются типы источника света: лазер, флуоресцентная лампа, светодиодная лампа [11, 17].

*Сканирующие системы считывания с экранов (пластин) с запоминающим люминофором* используют пучок видимого или инфракрасного излучения, испускаемый лазером, для освобождения накопленной в люминофоре энергии в виде вспышек света – фотостимулированной люминесценции, которые преобразуются фотоэлектронным умножителем в электрические сигналы, с последующим аналого-цифровым преобразованием сигналов [7–10, 13].

*Сканирующие системы считывания с фоторезистивных экранов* используют линейку микроэлектрометров для считывания потенциального рельефа, сформированного на экране в результате облучения, с последующим аналого-цифровым преобразованием сигналов [7, 12].

**3. Заключение.** К настоящему времени в области НРК ИМ цифровые системы почти полностью вытеснили традиционные экранно-пленочные радиографические системы. Это обусловлено тем, что современные ЦС НРК ИМ позволяют [1–14, 18]:

- получать изображения внутренней структуры ОК с требуемым разрешением и большим динамическим диапазоном;
- существенно ускорить процесс получения РИ для анализа;
- исключить процесс фотохимической обработки;
- использовать алгоритмы обработки и анализа РИ на предмет обнаружения дефектов и сравнения ОК с аналогами;
- увеличить информативность представления РИ за счет возможностей графических редакторов;
- облегчить процесс хранения архивов изображений и их транспортировки.

Развитие ЦС НРК ИМ сопровождается выявлением недостатков существующих и разработкой новых типов систем.

ЦС НРК ИМ с запоминанием изображения, пришедшие на смену традиционным экранно-пленочным системам имеют ряд очевидных недостатков [18] связанных с:

- большим количеством операций, необходимых для получения РИ, что приводит к увеличению времени проведения НРК. При проведении НРК ИМ с неоднородной структурой это время увеличивается в  $K$  раз (где  $K$  – количество экспозиций, необходимое

для получения РИ всех разнородных областей с требуемым качеством);

– появление артефактов на РИ при длительном использовании детекторов, обусловленное механическим воздействием при применении специальных сканирующих устройств;

– низкая восприимчивость к автоматизации процесса формирования РИ.

Наиболее активно сейчас развиваются ЦС НРК ИМ прямого преобразования на основе плоскопанельных и строчных матричных детекторов без использования сцинтилляционного слоя, о недостатках применения которого было сказано выше. Данные системы обладают рядом преимуществ, одним из которых является малое время формирования РИ, что позволяет оперативно реагировать на необходимость дополнительного просвечивания ОК, а получение РИ в сразу цифровом виде определяет высокую восприимчивость систем данных типов к автоматизации.

При этом сканирующие системы на основе строчных матричных детекторов наряду с общими преимуществами имеют ряд отличающих достоинств [7–10, 13]:

– отсечка рассеянного излучения, что повышает контрастность итогового РИ;

– бóльшая область контроля за одну экспозицию (проход сканирующей системы);

– бóлее низкая стоимость производства и обслуживания системы.

Выбор в пользу той или иной ЦС НРК ИМ прямого преобразования будет производиться в зависимости от условий проведения НРК и ограничений по стоимости используемой системы.

### **Литература**

1. *Гафт С.* Рентгеновский контроль – мощное средство для диагностики и локализации дефектов современных печатных узлов // Компоненты и технологии. 2004. № 7. С.182–183.
2. *Бернард Д.* Критерии выбора рентгеновской трубки // Технологии в электронной промышленности. 2010. № 4. С.38–43.
3. *Шмаков М.* Выбор системы рентгеновского контроля. Взгляд технолога // Технологии в электронной промышленности. 2006. № 4. С.60–68.
4. *Бернард Д., Брайнт К.* Использование последних технологических достижений для рентгеновского контроля электронных изделий // Технологии в электронной промышленности. 2012. № 2. С.16–21.
5. *Мазуров А.И.* Последние достижения в цифровой рентгенотехнике // Медицинская техника. 2010. № 5(263). С.10–14.
6. *Белова И.Б., Китаев В.М.* Цифровые технологии получения рентгеновского изображения: принцип формирования и типы (обзор литературы) // Медицинская визуализация. 2000. № 1. С.33–40.



7. *Лебедев М.Б., Сидуленко О.А., Удод В.А.* Анализ современного состояния и развития систем цифровой рентгенографии // Известия Томского политехнического университета. 2008. Т.312. № 2. С.47–55.
8. *Майоров А.А.* Цифровые технологии в радиационном контроле // В мире неразрушающего контроля. 2009. № 3(45). С.5–12.
9. *Багаев К.А.* Цифровая радиография, обзор технологий и зарубежных стандартов // Экспозиция. Нефть. Газ. 2012. № 7. С.11–13.
10. *Клюев В.В., Соснин Ф.Р.* Современные средства и методы цифровой радиационной дефектоскопии // В мире неразрушающего контроля. 2002. № 4(18). С.52–56.
11. Неразрушающий контроль: Справочник: В 8 т. / Под общ. ред. В.В. Клюева. Т. 1: В 2 кн. Кн. 1. Ф.Р. Соснин. Визуальный и измерительный контроль. Кн. 2. Ф.Р. Соснин. Радиационный контроль. – 2-е изд., испр. // М.: Машиностроение. 2008. 560 с.
12. *Борисов А.А.* и др. О двух технологиях построения цифровых приемников рентгеновских изображений // Медицинская техника. 2006. №5. С.7–10.
13. *Майоров А.А.* Компьютерная радиография с использованием флуоресцентных запоминающих пластин – что это такое? // В мире неразрушающего контроля. 2004. № 3. С.42–43.
14. *Литвинов А.* Высокое качество изображения. Последнее поколение детекторов рентгеновского излучения "SID-A50" // Технологии в электронной промышленности. 2011. № 6. С.44–47.
15. *Блинов Н.Н. (мл.)* и др. Исследование параметров сканирующих рентгеновских систем // Медицинская техника. 2004. №5. С.8–11.
16. *Алхимов Ю.В., Кулешов В.К.* Преобразователи рентгеновского излучения с газовым усилением: учебное пособие // Томск: Изд-во Томского политехнического университета. 2010. 284 с.
17. *Багаев К.А., Улудинцева А.И.* Системы оцифровки рентгеновских пленок при радиографическом контроле промышленных объектов // Экспозиция. Нефть. Газ. 2013. № 1(26). С.54–56.
18. *Григорьев М.С., Басов О.О.* Метод иерархической сегментации рентгеновских изображений изделий микроэлектроники // Современные инновации в науке и технике: Сборник научных трудов 4-ой Международной научно-практической конференции. В 4-х томах. Том 1. // Курск: Юго-Зап. гос. ун-т. 2014. С.303–305.

## References

1. Gaft S. [X-ray control is a powerful tool for the diagnosis and localization of defects modern printed circuit assemblies]. *Komponenti i tehnologii – Components and technologies*. 2004. vol. 7. pp. 182–183. (In Russ.).
2. Bernard D. [Criteria for the selection of x-ray tube]. *Tehnologii v jelektronnoy promishlennosti – Technology in the electronics industry*. 2010. vol. 4. pp. 38–43. (In Russ.).
3. Shmakov M. [The selection of x-ray inspection system. Look technologist]. *Tehnologii v jelektronnoy promishlennosti – Technology in the electronics industry*. 2006. vol. 4. pp. 60–68. (In Russ.).
4. Bernard D., Bryant K. [Use of latest technological achievements for x-ray control of electronic products]. *Tehnologii v jelektronnoy promishlennosti – Technology in the electronics industry*. 2012. vol. 2. pp. 16–21. (In Russ.).
5. Mazurov A.I. [Latest advances in digital rentgenotekhnika]. *Medicinskaya tehnika – Biomedical Engineering*. 2010. vol. 5(263). pp. 10–14. (In Russ.).
6. Belova I.B., Kitaev V.M. [Digital x-ray imaging: the principle of formation and types (literature review)]. *Medicinskaya vizualizaciya – Medical visualization*. 2000. vol. 1. pp. 33–40. (In Russ.).

7. Lebedev M.B., Sidorenko O.A., Udod V.A. [Analysis of the current state and development of digital radiography systems]. *Izvestiya Tomskogo Polytechnicheskogo Universiteta – Bulletin of the Tomsk Polytechnic University*. 2008. vol. 2. pp. 47–55. (In Russ.).
8. Mayorov A.A. [Digital technologies in the radiation control]. *V mire nerazrushayushogo kontrolya – In the world of non-destructive control*. 2009. vol. 3(45). pp. 5–12. (In Russ.).
9. Bagaev K.A. [Digital radiography, an overview of the technologies and international standards]. *Ekspozitsiya. Neft. Gaz – Exposition. Oil. Gas*. 2012. vol. 7. pp. 11–13. (In Russ.).
10. Klyuev V.V., Sosnin F.R. [Modern means and methods of digital radiation radiography]. *V mire nerazrushayushogo kontrolya – In the world of non-destructive control*. 2002. vol. 4(18). pp. 52–56. (In Russ.).
11. *Nerazrushayushiy kontrol: Spravochnik: v 8 t.* [Non-destructive control: Reference: 8 vol.]. Edited by V.V. Klyuev. T.1: V 2 kn. Kn. 1. F.R. Sosnin. *Vizualniy I izmeriteelnyy kontrol*. Kn. 2. F.R. Sosnin. *Radiacinniy kontrol*. Izd. 2. Ispr. M.: Mashinostroenie. 2008. 560 p. (In Russ.).
12. Borisov A.A. and others. [About the two technologies build a digital receivers x-ray images]. *Medicinskaya tehnika – Biomedical Engineering*. 2006. vol. 5. pp. 7–10. (In Russ.).
13. Mayorov A.A. [Computer radiography using fluorescent storage plates - what is it?]. *V mire nerazrushayushogo kontrolya – In the world of non-destructive control*. 2004. vol. 3. pp. 42–43. (In Russ.).
14. Litvinov A. [Image quality. The latest generation of detectors of x-ray radiation "SID-A50"]. *Tehnologii v jelektronnoy promishlennosti – Technology in the electronics industry*. 2011. vol. 6. pp. 44–47. (In Russ.).
15. Blinov N.N. (jr) et. al. [Research of parameters of scanning x-ray systems]. *Medicinskaya tehnika – Biomedical Engineering*. 2004. vol. 5. pp. 8–11. (In Russ.).
16. Alhimov J.V., Kuleshov V.K. *Preobrazovateli rentgenovskogo izlucheniya s gazovim usileniem: uchebnoe posobie* [Converters x-ray radiation with gas strengthening: the textbook]. Tomsk: Izdatelstvo Tomskogo Polytechnicheskogo Universiteta. 2010. 284 p. (In Russ.).
17. Bagaev K.A., Uludinceva A.I. [System digitizing x-ray films during the radiographic inspection of industrial objects]. *Ekspozitsiya. Neft. Gaz – Exposition. Oil. Gas*. 2013. vol. 1(26). pp. 54–56. (In Russ.).
18. Grigorov M.S., Basov O.O. [The method hierarchical segmentation of x-ray images of microelectronic products]. *Sovremennye innovacii v nauke I tehnike: Sbornik nauchnih trudov 4-oi Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferencii. V 4 tomah. Tom 1* [Modern innovations in science and technology]. Kursk: Yugo-Zap. Gos. Universitet. 2014. pp. 303–305. (In Russ.).

**Григоров Михаил Сергеевич** — научный сотрудник Академии ФСО России. Область научных интересов: обнаружение сигналов побочных электромагнитных излучений технических средств, проектирование систем контроля. Число научных публикаций — 40. Gms.orel@mail.ru; Академия ФСО России, ул. Приборостроительная, 35, г. Орел, 302034, РФ; р.т. +79202864033.

**Grigorov Mihail Sergeevich** — research engineer, Academy of Federal Agency of protection of Russian Federation. Research interests: detection of signals of compromising emanations of technical equipment, engineering of control systems. The number of publications — 40. Gms.orel@mail.ru; Academy of Federal Agency of protection of Russian Federation, Priborostroitelnaya Street, 35, Orel, 302034, Russia, office phone +79202864033.

## РЕФЕРАТ

### *Григоров М.С.* Классификация цифровых систем неразрушающего рентгеновского контроля изделий микроэлектроники.

В условиях устойчивого развития цифровых рентгеновских систем повышаются возможности проведения неразрушающего рентгеновского контроля изделий микроэлектроники. При этом для изделий микроэлектроники, которые обладают неоднородной структурой, возникает противоречие между необходимостью оперативно проводить контроль и получать рентгеновское изображение каждого элемента изделия с требуемым качеством.

По этой причине возникают задачи по автоматизации производимых операций неразрушающего рентгеновского контроля изделий микроэлектроники. Для определения возможностей по автоматизации, а, следовательно, и выбора системы, наиболее восприимчивой к автоматизации, в работе была проведена классификация существующих цифровых систем неразрушающего рентгеновского контроля изделий микроэлектроники.

Показано, что цифровые системы неразрушающего рентгеновского контроля изделий микроэлектроники с запоминанием изображения, которые заменили традиционные экранно-пленочные системы имеют недостатки, в том числе и низкую восприимчивость к автоматизации. Наибольшими возможностями по повышению оперативности контроля за счет автоматизации операций получения и обработки рентгеновского изображения изделий микроэлектроники с неоднородной структурой обладают цифровые системы неразрушающего рентгеновского контроля изделий микроэлектроники прямого преобразования на основе плоскопанельных и строчных матричных детекторов без использования сцинтилляционного слоя. При этом приоритетом будут обладать системы сканирующего типа на основе строчных матричных детекторов за счет отсечки рассеянного излучения, возможности увеличения области контроля за одну экспозицию, более низкой стоимости производства и обслуживания системы.

## SUMMARY

### **Grigorov M.S. Classification of digital systems of non-destructive x-ray control of microelectronic products.**

The capabilities of non-destructive x-ray control of microelectronic products are increased in the conditions of sustainable progress of digital x-ray systems. For microelectronic products with heterogeneous structure there is a contradiction between the need of controlling and getting of the x-ray image of each element of product with the required quality.

For this reason, there are tasks of automation of operations of non-destructive x-ray control of microelectronic products. In this paper the existing digital systems of non-destructive x-ray control of microelectronic products were classified to identify the capabilities of automation and system selection susceptible to automation.

It is shown that digital systems of non-destructive x-ray control of microelectronic products with the image saving, that have replaced traditional ekrano-film systems, have disadvantages including low susceptibility to automation. The digital systems of non-destructive x-ray control of microelectronic products of direct conversion based on a flat panel and linear array detectors without using of the scintillation layer have the greatest capabilities of increasing of the control efficiency at the expense of automation of operations of receiving and processing of x-ray images of microelectronic products with nonhomogeneous structure. While the scanning systems based on the linear array detectors due to the cutoff of the scattered radiation, the possibility of increasing of control area of one exposure, with lower cost of system production and service, will have the priority.

А.Ю. КОВАЛЕНКО  
**АНАЛИЗ СТРУКТУРНОЙ УСТОЙЧИВОСТИ  
РАЗНОРОДНОЙ СИСТЕМЫ КА**

---

*Коваленко А.Ю. Анализ структурной устойчивости разнородной системы КА.*

**Аннотация.** Произведен анализ структурной устойчивости системы КА, состоящей из разнотипных КА. Введено понятие временно-устойчивой структуры разнородной системы КА. Произведена декомпозиция задачи обеспечения временно устойчивой структуры на две подзадачи, а именно обеспечение устойчивости относительного положения плоскостей орбит КА и обеспечение устойчивого взаимного положения КА на орбитах за заданное время. Сформулированы критерии структурной устойчивости разнородной системы КА.

**Ключевые слова:** разнородная система КА, разнотипные КА, структурная устойчивость, баллистическое построение.

*Kovalenko A. Analysis of the structural stability of a hybrid system SC.*

**Abstract.** The analysis of the structural stability of the spacecraft, consisting of different types of spacecraft. Introduced the concept of time-stable structure of a hybrid system SC. Produced decomposition problem temporarily provide a stable structure into two subproblems, namely, sustaining the relative position of the planes of the orbits of spacecraft and sustainable mutual position of the spacecraft in orbit for a specified time. The criteria of the structural stability of a hybrid system SC.

**Keywords:** heterogeneous system SC, razntipnye SC, structural stability, ballistic software.

---

**1. Введение.** Анализ баллистического построения существующих систем КА показывает, что структуру системы определяют четыре основных параметра, которыми являются прямое восхождение восходящего узла ( $\Omega$ ), наклонение плоскости орбиты ( $i$ ), аргумент широты КА ( $U$ ) и аргумент широты перигея ( $\omega$ ). В однородных системах, в которых орбиты КА имеют одинаковую форму и размер, удержание значений данных параметров в заданном интервале обеспечивает сохранение структурной устойчивости системы во времени.

Системой КА называется совокупность КА, упорядоченных определенным образом в пространстве и выполняющих в тесном взаимодействии между собой конкретные задачи полета [1].

Под разнородной системой КА понимается совокупность разнотипных КА, упорядоченных определенным образом в пространстве и времени, которые согласованно выполняют собственные целевые задачи в целях осуществления всестороннего информационного обеспечения.

В разнородной системе, орбиты КА могут существенно отличаться друг от друга, причем отличия могут быть в пространственном расположении орбит, в геометрических характеристиках и в положении КА на орбите. Это приводит к различным периодическим и вековым уходам параметров орбит, определяющих баллистическое построение разнородной системы КА и, следовательно, отсутствию структурной устойчивости системы КА.

## 2. Критерии структурной устойчивости разнородной системы

**КА.** КА в разнородной системе могут находиться каждый в своей плоскости, иметь свой период обращения и быть не равномерно распределенными относительно плоскости экватора. В данной ситуации целесообразно ввести в рассмотрение понятие временно устойчивой структуры.

Под временно устойчивой структурой разнородной системы КА, понимается такое состояние баллистического построения системы, при котором в течение заданного интервала времени обеспечивается расхождение плоскостей орбит относительно друг друга – по прямому восхождению восходящего узла и по наклонению, а так же относительно положению КА – по аргументу широты КА и аргументу широты перигея на величины не более допустимых.

Для соседних КА ( $j$  и  $j-1$ ) в разнородной орбитальной группировке данное определение можно представить следующими соотношениями:

$$\begin{aligned} \Delta q_{j,j-1}(\Delta t_{\text{зад}}) &= q_j(\Delta t_{\text{зад}}) - q_{j-1}(\Delta t_{\text{зад}}), \\ [\Delta q^k_{j,j-1}(\Delta t_{\text{зад}})] &\leq [\Delta q^k_{\text{доп}}], \quad k = 1..4 \end{aligned} \tag{1}$$

$$q = \langle \Omega, U, \omega, i \rangle^T,$$

$$\Delta q = \langle \Delta \Omega, \Delta U, \Delta \omega, \Delta i \rangle^T,$$

где  $j$  – номер КА в ОГ;

$q_j(\Delta t_{\text{зад}})$  – вектор параметров орбиты  $j$ -го КА за временной интервал

$\Delta t_{\text{зад}}$ ;

$[\Delta q^k_{j,j-1}(\Delta t_{\text{зад}})]$  –  $k$ -й элемент вектора уходов параметров орбиты  $j$ -го КА относительно  $(j-1)$ -го КА за временной интервал  $\Delta t_{\text{зад}}$ ;

$[\Delta q^k_{\text{доп}}]$  –  $k$ -й элемент вектора предельно допустимых уходов параметров орбит КА относительно друг друга.

Исходя из данного условия, задача обеспечения временно устойчивой структуры разделяется на две подзадачи, а именно обеспечение устойчивости относительного положения плоскостей орбит КА и обеспечение устойчивого взаимного положения КА на орбитах заданное время  $\Delta t_{\text{зад}}$ .

Изменение взаимного положения КА в разнородной системе КА вызывается вековыми уходами параметров орбиты каждого КА, возникающими под действием возмущающих факторов. Величина воз-

мущений, действующих на КА, зависит от положения плоскости орбиты в пространстве, её размеров и формы.

Положение КА на момент создания разнородной орбитальной группировки (начальное положение) определяется выражением:

$$\Delta q_{(j,j-1)0} = q_{j0} - q_{(j-1)0}, \quad (2)$$

где  $q_{j0}$  и  $q_{(j-1)0}$  – значения параметров орбиты  $j$ -го КА и  $(j-1)$ -го КА на момент создания разнородной орбитальной группировки.

Значение вектора параметров орбиты для любого КА разнородной системы на момент окончания временного интервала  $t_{\text{зад}}$  можно представить следующим выражением:

$$q_j(t_{\text{зад}}) = q_{j0} + \Delta q_j(\Delta t_{\text{зад}}). \quad (3)$$

С учетом выражения (3) расхождение орбит относительно друг друга по соответствующим параметрам двух соседних КА на момент окончания временного интервала  $t_{\text{зад}}$  представляется следующим выражением:

$$\Delta q_{j,j-1}(t_{\text{зад}}) = q_{j0} - q_{(j-1)0} + (\Delta q_j(\Delta t_{\text{зад}}) - \Delta q_{j-1}(\Delta t_{\text{зад}})). \quad (4)$$

С учетом (2) и (4) расхождение орбит относительно друг друга по соответствующим параметрам двух соседних КА за временной интервал  $\Delta t_{\text{зад}}$  определяется как:

$$\Delta q_{j,j-1}(\Delta t_{\text{зад}}) = \Delta q_{j,j-1}(t_{\text{зад}}) - \Delta q_{(j,j-1)0} = \Delta q_j(\Delta t_{\text{зад}}) - \Delta q_{j-1}(\Delta t_{\text{зад}}). \quad (5)$$

Примем, что в  $\Delta t_{\text{зад}}$  укладывается целое число витков  $j$ -го КА и  $(j-1)$ -го КА. То есть:

$$t_{\text{зад}} = T_{\text{оск } j} N_j = T_{\text{оск } j-1} N_{j-1}, \quad (6)$$

где  $T_{\text{оск } j}$  – оскулирующий период  $j$ -го КА;  $N_j$  – количество витков  $j$ -го КА за время  $\Delta t_{\text{зад}}$ .

Обеспечение устойчивости относительного положения плоскостей орбит КА с высотой полета до 10 000 км (средняя операционная космическая зона) [2] основано на том, что под действием гравитаци-

онного поля Земли наклонение ( $i$ ) не имеет векового ухода, а прямое восхождение восходящего узла ( $\Omega$ ) имеет вековой уход ( $\Delta\Omega_{\text{1век}}$ ).

Для нормального гравитационного поля Земли вековой уход восходящего узла на одном витке [3] определяется следующим выражением:

$$\Delta\Omega_{\text{1век}} = \frac{3\pi\pi_2 \cos i}{\pi_0 p^2}, \quad (7)$$

где  $\pi_0 = 398600.44 \frac{\text{км}^3}{\text{с}^2}$  – постоянная поля притяжения;

$\pi_2 = -1.7555 \cdot 10^{10} \frac{\text{км}^5}{\text{с}^2}$  – постоянная поля притяжения с учетом полярного сжатия Земли;

$i$  – наклонение орбиты;

$p$  – фокальный параметр.

С учетом выражений (6) и (7) вековой уход восходящего узла для  $j$ -го КА за  $N_j$  витков и для  $(j-1)$ -го КА за  $N_{j-1}$  витков соответственно имеет вид:

$$\Delta\Omega_j(\Delta t_{\text{зад}}) = \Delta\Omega_{\text{1век } j} N_j = \Delta\Omega_{\text{1век } j} \frac{\Delta t_{\text{зад}}}{T_{\text{оск } j}} = \Delta t_{\text{зад}} \frac{\Delta\Omega_{\text{1век } j}}{T_{\text{оск } j}}, \quad (8)$$

$$\Delta\Omega_{j-1}(\Delta t_{\text{зад}}) = \Delta\Omega_{\text{1век } j-1} N_{j-1} = \Delta\Omega_{\text{1век } j-1} \frac{\Delta t_{\text{зад}}}{T_{\text{оск } j-1}} = \Delta t_{\text{зад}} \frac{\Delta\Omega_{\text{1век } j-1}}{T_{\text{оск } j-1}}. \quad (9)$$

Следовательно, выражение (5) для векового ухода восходящего узла с учетом (8) и (9) можно преобразовать к следующему виду:

$$\Delta\Omega_{j,j-1}(\Delta t_{\text{зад}}) = \Delta t_{\text{зад}} \left( \frac{\Delta\Omega_{\text{1век } j}}{T_{\text{оск } j}} - \frac{\Delta\Omega_{\text{1век } j-1}}{T_{\text{оск } j-1}} \right). \quad (10)$$

Критерием устойчивости относительного положения плоскостей орбит за временной интервал  $\Delta t_{\text{зад}}$  является выполнение условия (1), которое принимает следующий вид:

$$\Delta\Omega_{j,j-1}(\Delta t_{\text{зад}}) \leq \Delta\Omega_{\text{доп}}. \quad (11)$$

Анализ пространственной устойчивости взаимного положения плоскостей орбит показывает, что необходимым условием устойчивости является одинаковый знак наклонения орбит, в противном случае восходящие узлы орбит будут прецессировать в разные стороны.



Анализ возможного состава разнородной системы КА показывает, что орбиты КА могут иметь различные геометрические характеристики (большая полуось, относительный эксцентриситет). Соответственно в таком случае, взаимное положение всех КА может никогда и не повториться. Единственной возможностью устойчивости взаимного положения КА на орбитах является периодичность пространственного взаиморасположения КА системы, т.е. выполнение условия (6). Применение данного требования к движению КА в плоскости орбиты позволяет считать, что пространственное взаиморасположение КА будет повторяться в восходящих узлах (ВУ) орбиты через равные промежутки времени, соответствующие  $\Delta t_{\text{зад}}$ . Следовательно, исходя из выражения (5):

$$\Delta U_{j,j-1}(\Delta t_{\text{зад}}) = U_j(\Delta t_{\text{зад}}) - U_{j-1}(\Delta t_{\text{зад}}). \quad (12)$$

Для обеспечения устойчивого взаимного положения КА на орбитах необходимо выполнение условия (1) по аргументу широты КА ( $U$ ), т.е.:

$$\Delta U_{j,j-1}(\Delta t_{\text{зад}}) \leq \Delta U_{\text{доп}}. \quad (13)$$

Обеспечение устойчивого взаимного положения основано на том, что на движение КА в плоскости орбиты оказывает вековое возмущающее воздействие атмосфера (вековые уходы большой полуоси и относительного эксцентриситета) и гравитационное поле Земли (вековой уход аргумента широты перигея) [3].

Исходя из геометрических характеристик, околоземные орбиты можно разделить на несколько классов: круговые, около круговые и эллиптические [5]. Однако, при исследовании движения КА в нормальном гравитационном поле Земли следует рассматривать только около круговое и эллиптическое движение [5].

Положение КА на момент окончания временного интервала  $t_{\text{зад}}$  для около круговых орбит, т.е. орбит с малым значением относительного эксцентриситета, можно представить следующим выражением:

$$U_j(t_{\text{зад}}) = U_{j0} + \frac{2\pi}{T_{\text{оск } j}} t_{\text{зад}}. \quad (14)$$

Следовательно, выражение (12) с учетом (5) и (14) принимает вид:

$$\Delta U_{j,j-1}(\Delta t_{\text{зад}}) = \Delta t_{\text{зад}} \left( \frac{2\pi}{T_{\text{оск } j}} - \frac{2\pi}{T_{\text{оск } j-1}} \right). \quad (15)$$

В случае рассмотрения движения по эллиптическим орбитам, положение КА на момент окончания временного интервала  $t_{\text{зад}}$  определяется с учетом соотношений Гаусса и Кеплера [4]

$$\begin{cases} \frac{T_{\text{оск } j}}{2\pi} (E_j(t_{\text{зад}}) - e_j \sin E_j(t_{\text{зад}})) = \Delta t_{\text{зад}} - \tau_j; \\ \text{tg} \frac{\vartheta_j(t_{\text{зад}})}{2} = \sqrt{\frac{1+e_j}{1-e_j}} \text{tg} \frac{E_j(t_{\text{зад}})}{2}, \end{cases} \quad (16)$$

$$U_j(t_{\text{зад}}) = \vartheta_j(t_{\text{зад}}) - \omega_j(t_{\text{зад}}), \quad (17)$$

где  $\vartheta_j(t_{\text{зад}})$  – истинная аномалия  $j$ -го КА на момент окончания временного интервала  $t_{\text{зад}}$ ;

$E_j(t_{\text{зад}})$  – эксцентрическая аномалия  $j$ -го КА на момент окончания временного интервала  $t_{\text{зад}}$ ;

$\tau_j$  – время прохождения перигея орбиты  $j$ -м КА;

$e_j$  – относительный эксцентриситет орбиты  $j$ -го КА.

Как видно из выражения (17), при рассмотрении структурной устойчивости разнородной системы КА, в которой КА двигаются не только по около круговым орбитам, но по эллиптическим, необходимо рассматривать условие устойчивого взаимного расположения точек перигея таких орбит.

Расчет взаимного расположения точек перигея основан на понятии векового ухода аргумент широты перигея ( $\Delta\omega_{1\text{век}}$ ), определяемого выражением для нормального гравитационного поля Земли [3]:

$$\Delta\omega_{1\text{век}} = \frac{3}{2} \frac{\pi_2}{\pi_0} \frac{\pi}{p^2} (1 - 5 \cos^2 i) \quad (18)$$

С учетом выражений (6) и (7) вековой уход аргумента широты перигея для  $j$ -го КА за  $N_j$  витков и для  $j-1$  – КА за  $N_{j-1}$  витков имеет вид:

$$\Delta\omega_j(\Delta t_{\text{зад}}) = \Delta\omega_{1\text{век } j} N_j = \Delta\omega_{1\text{век } j} \frac{\Delta t_{\text{зад}}}{T_{\text{оск } j}} = \Delta t_{\text{зад}} \frac{\Delta\omega_{1\text{век } j}}{T_{\text{оск } j}}, \quad (19)$$

$$\Delta\omega_{j-1}(\Delta t_{\text{зад}}) = \Delta\omega_{\text{век } j-1} N_{j-1} = \Delta\omega_{\text{век } j-1} \frac{\Delta t_{\text{зад}}}{T_{\text{оск } j-1}} = \Delta t_{\text{зад}} \frac{\Delta\omega_{\text{век } j-1}}{T_{\text{оск } j-1}}. \quad (20)$$

Следовательно, выражение (5) для векового ухода аргумента широты перигея с учетом (19) и (20) можно преобразовать к следующему виду:

$$\Delta\omega_{j,j-1}(\Delta t_{\text{зад}}) = \Delta t_{\text{зад}} \left( \frac{\Delta\omega_{\text{век } j}}{T_{\text{оск } j}} - \frac{\Delta\omega_{\text{век } j-1}}{T_{\text{оск } j-1}} \right). \quad (21)$$

Критерием устойчивости относительного положения плоско-стей орбит за временной интервал  $\Delta t_{\text{зад}}$  является выполнение условия (1), которое принимает следующий вид:

$$\Delta\omega_{j,j-1}(\Delta t_{\text{зад}}) \leq \Delta\omega_{\text{доп}}. \quad (22)$$

При определении оскулирующего периода обращения ( $T_{\text{оск}}$ ) и вековых уходов восходящего узла и аргумента широты перигея ( $\Delta\Omega$ ,  $\Delta\omega$ ) для низких орбит (высота полета КА до 500 км [5]) необходимо учитывать вековые возмущения, вызванные действием атмосферы. На низких высотах атмосфера оказывает малое сопротивление движущемуся КА, но, поскольку сила сопротивления является постоянно действующей силой, то (несмотря на малость) она может значительно изменить элементы орбиты за достаточно большой интервал времени.

Если принять, что атмосфера представлена статической моделью, то вековые уходы большой полуоси и относительного эксцентриситета определяются следующими выражениями [3]:

$$\frac{da}{dt} = -S_{\delta} \frac{a^2}{\pi_0} \rho V^3; \quad (23)$$

$$\frac{de}{dt} = -S_{\sigma} p V (e + \cos\vartheta), \quad (24)$$

где  $S_{\delta}$  - баллистический коэффициент.

**3. Заключение.** Анализ сформулированных критериев устойчивости позволяет сделать вывод, что структурная устойчивость разнородной системы КА, включающей в себя разнотипные КА, возможна только на конечном временном интервале ( $t_{\text{зад}}$ ). Обеспечение устойчивого взаимного положения КА на орбитах, в силу различных гео-

метрических характеристик орбит, возможно только в восходящих узлах.

Таким образом, устойчивость структуры на заданном интервале времени обеспечивается устойчивостью относительного положения плоскостей орбит и взаимного положения КА на орбитах.

### Литература

1. Власов С.А., Кульвиц А.В., Кубасов И.Ю., Мосин Д.А. Баллистическое проектирование систем космических аппаратов: учебное пособие // СПб.: ВКА имени А.Ф. Можайского. 2007. 86 с.
2. Аверкиев Н.Ф., Васьков С.А., Салов В.В. Баллистическое построение систем космических аппаратов связи и пассивной радиолокации лунной поверхности // Приборостроение (Известия высших учебных заведений). СПб.: Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики. 2008. Т. 51. № 12 С. 66 – 73.
3. Баринов К.Н., Мамон П.А. Теория полета космических аппаратов // М.: МО СССР. 1974. 346 с.
4. Богачев С. А., Власов С. А., Кульвиц А.В. Методы исследования возмущенного движения КА: учебное пособие // СПб.: ВКА имени А.Ф. Можайского. 2012. 73 с.
5. Эльясберг П.Э. Введение в теорию полета искусственных спутников Земли. М.: Наука. 1965. 540 с.

### References

1. Vlasov S.A., Kul'vic A.V., Kubasov I.Ju., Mosin D.A. *Ballisticheskoe proektirovanie sistem kosmicheskikh apparatov: uchebnoe posobie* [Ballistic design of systems of spacecraft: a tutorial]. SPb.: VKA imeni A.F. Mozhajskogo. 2007. 86 p. (In Russ.).
2. Averkiev N.F., Vas'kov S.A., Salov V.V. [Ballistic construction of systems of spacecraft communication and passive radar lunar surface]. *Priboroostroenie (Izvestija vysshih uchebnykh zavedenij) – Proceedings of higher education institutions. Series "instrument making"*. SPb.: Sankt-Peterburgskij gosudarstvennyj universitet informacionnyh tehnologij, mehaniki i optiki. 2008. vol. 51. no. 12. pp. 66 – 73. (In Russ.).
3. Barinov K.N., Mamon P.A. *Teorija poleta kosmicheskikh apparatov* [Theory of flight of spacecrafts]. M.: MO SSSR. 1974. 346 p. (In Russ.).
4. Bogachev S. A., Vlasov S. A., Kul'vic A.V. *Metody issledovaniya vozmushhennogo dvizhenija KA: uchebnoe posobie* [Methods of study of the perturbed motion of spacecraft]. SPb.: VKA imeni A.F. Mozhajskogo. 2012. 73 p. (In Russ.).
5. Jel'jasberg P.Je. *Vvedenie v teoriju poleta iskusstvennykh sputnikov Zemli* [Introduction to the theory of flight of artificial earth satellites]. M.: Nauka. 1965. 540 p.(In Russ.).

**Коваленко Алексей Юрьевич** — к-т техн. наук, старший преподаватель кафедры навигационно-баллистического обеспечения применения космических средств и теории полета летательных аппаратов Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского. Область научных интересов: экспериментальная баллистика, теория полета космических аппаратов, математическое моделирование. Число научных публикаций — 24, al\_nex\_239@mail.ru; ВКА имени А.Ф.Можайского, Ждановская ул. 13, г. Санкт-Петербург, 197082, РФ.

**Kovalenko Alexey Jur'evich** — Ph.D., senior lecturer in navigation and ballistic support the use of space assets and the theory of flight aircraft Military Space Academy named after AF Mozhajskogo. Research interests: experimental ballistics, theory of flight spacecraft, mathematical modeling. The number of scientific publications — 24, al\_nex\_239@mail.ru; GCA name AF Mozhaysky, Zhdanovskaya str. 13, St. Petersburg, 197198, Russia.

## РЕФЕРАТ

### ***Коваленко А.Ю. Анализ структурной устойчивости разнородной системы КА.***

В данной статье рассматривается вопрос анализа структурной устойчивости разнородной системы, состоящей из разнотипных КА. Под разнородной системой КА понимается совокупность разнотипных КА, упорядоченных определенным образом в пространстве и времени, которые согласованно выполняют собственные целевые задачи в целях осуществления всестороннего информационного обеспечения.

В разнородной системе, орбиты КА могут существенно отличаться друг от друга, причем отличия могут быть в пространственном расположении орбит, в геометрических характеристиках и положении КА на орбите. Это приводит к различным периодическим и вековым уходам параметров орбит, определяющих баллистическое построение разнородной системы КА и, следовательно, отсутствию структурной устойчивости системы КА. Исходя из сказанного, вводится понятие временно устойчивой структуры на временном интервале.

Предложен подход к обеспечению структурной устойчивости разнородной системы КА, основанный на декомпозиции задачи на две подзадачи, а именно обеспечение устойчивости относительного положения плоскостей орбит КА и обеспечение устойчивого взаимного положения КА на орбитах за заданное время.

Сформулированы критерии устойчивости относительного положения плоскостей орбит КА и устойчивого взаимного положения КА на орбитах на временном интервале.

## SUMMARY

### ***Kovalenko A. Analysis of the structural stability of a hybrid system of spacecraft.***

This article discusses the analysis of the structural stability of a hybrid system consisting of different types of spacecraft. Under heterogeneous system means a collection of different types of spacecraft, ranked in a certain way in space and time, which consistently perform own targets for the implementation of a comprehensive information security. In a heterogeneous system, the spacecraft orbit can differ significantly from each other, and the differences may be in the spatial arrangement of orbits, geometric characteristics and position the spacecraft in orbit.

This results in different periodic and secular drift orbit parameters determining ballistic construction of a hybrid system of spacecraft, and therefore lack the structural stability of spacecraft. Based on the foregoing, the concept of temporarily stable structure in the time interval. An approach to ensure the structural stability of a hybrid system spacecraft based on decomposition of the problem into two sub problems, namely to ensure stability of the relative position of the planes of the orbits of spacecraft and sustainable mutual position of spacecraft in orbit for a specified time. The criteria of stability of the relative position of the planes of the orbits spacecraft and sustainable mutual position of spacecraft in orbit on a time interval.

## КОНЦЕПЦИЯ ОЦЕНКИ УРОВНЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ СЕРВИС-ПРОВАЙДЕРОВ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОБЪЕКТОВ

---

*Лившиц И.И.* Концепция оценки уровня информационной безопасности сервис-провайдеров информационных систем для промышленных объектов.

**Аннотация.** В настоящее время для информационных систем (ИС) наблюдается значительное количество критичных угроз, что обусловлено появлением новых векторов атак, а также недостатками при управлении рисками. Соответственно, представляет определенный интерес изучение проблемы оценки компетенции ИБ при сопровождении ИС на уровне сервис-провайдеров. В предлагаемой работе предложена формулировка «Парадокса ИБ», которые позволяет учесть наиболее значимые (критичные) угрозы ИБ и предложить подход, основанный на использовании современных риск-ориентированных стандартов, прежде всего международных стандартах ISO. Предложенная концепция оценки уровня ИБ сервис-провайдеров ИС для промышленных объектов состоит из 2-х базовых принципов и нескольких расширений, которые позволяют учесть конкретные требования по ИБ с учетом специфики функционирования ИС и предоставляют возможность оценки (качественно или количественно) в рамках плановых проверок (аудитов).

**Ключевые слова:** информационная система (ИС), информационная безопасность (ИБ), стандарт, сервис, система менеджмента информационной безопасности (СМИБ), статистика, корреляция.

*Livshits I.I.*, **The concept of assessing the IT service providers information security level for industrial facilities**

**Abstract.** The information systems (IS) observed a significant amount of critical threats that caused the emergence of new attack vectors, as well as deficiencies in risk management. Respectively, is of particular interest to study the problem of information security competence assessment accompanying the IP level service providers.

In this issue proposes the "IT-Security Paradox" wording, which allows to consider the most important (critical) IT-Security threats and propose an approach based on the modern risk-based standards implementation, especially international standards ISO. The proposed concept of assessing the level of IT service providers information security for industrial facilities consists of 2 basic principles and a few extensions that allow to take into account the specific requirements for the IT-security specific functioning of IS and provide an opportunity to assess (qualitatively or quantitatively) as part of routine inspections (audits).

**Keywords:** information system (system), IT-security, standard, service, IT-security management system (ISMS), statistics, correlation.

---

**1. Введение.** Ряд современных публикаций обращен к вопросу применимости различных систем менеджмента для поддержки принятия решений высшего руководства, и, как логичное следствие – обеспечение роста бизнеса данной организации [8–9]. В частности, достаточное внимание уделено вопросам обеспечения безопасности, надежности и доступности бизнес-процессов, что, очевидно, невозможно обеспечить без реализации комплекса мероприятий в

отношении информационных систем (ИС). Более того, проблема обеспечения комплексной безопасности промышленных объектов непосредственным образом зависит от уровня безопасности, в том числе, информационной безопасности (ИБ), в отношении действующих ИС. Под термином «*информационная система*» предлагается понимать термин «*система (system)*» как комбинация взаимодействующих элементов, организованных для достижения одной или нескольких поставленных целей (п. 4.17 стандарта ГОСТ Р ИСО/МЭК 15288-2005).

В настоящее время, объективно, для ИС достаточно стабильно проявляется значительное количество значимых (критичных) угроз, что обусловлено появлением новых векторов атак («*таргетированные атаки*»), а также недостаточной проработкой и управлением рисками в отношении ранее известных угроз и уязвимостей. Соответственно, представляет определенный интерес изучение проблемы безопасности ИС не только на фазе эксплуатации уже у конечного потребителя (на промышленном объекте), но и обращение внимания к «культуре производства» поставщиков (сервис-провайдеров) ИС, на их компетенции – методическое обеспечение, наличие и уровень внедрения стандартов и методик (применимых для целей создания и обеспечения уровня ИБ при сопровождении ИС).

**2. Общая постановка задачи.** Как отмечалось выше, процесс оценки ИС, уже применяемых на промышленных объектах, достаточно хорошо специфицирован, кроме того, в дополнение к мерам ИБ, предпринимаемых на объектах, рекомендуется выполнение комплекса специальных мер (сертификация, аттестация и пр.), находящихся в компетенции уполномоченных государственных органов (например, ФСТЭК или ФСБ). Как правило, ряд известных ИС имеют официальные сертификаты, размещенные на публичных сайтах разработчиков и/или системных интеграторов.

Но остается открытым вопрос о существующих мерах контроля ИБ, о достаточности таких мер, об оценке их эффективности и достаточности на всем жизненном цикле ИС – с момента создания, испытания, ввода в действие, эксплуатации, сопровождения и вывода из эксплуатации. Известно, что термин «*жизненный цикл системы*» («*system life cycle*») определяется как развитие рассматриваемой ИС во времени, начиная от замысла и заканчивая списанием. (п. 4.20 стандарта ГОСТ Р ИСО/МЭК 15288-2005). Соответственно, определенное «*формальное соответствие*» конкретным требованиям определенного «*регулятора*» (ФСТЭК и/или

ФСБ) может быть проверено и результаты его – официально опубликованы. Но вопросы «культуры производства», приверженности определенным методикам, применение набора «лучших практик» и стандартов ИБ – на стороне поставщика ИС (сервис-провайдера) – являются, объективно, не менее важными и оценка их на основании общей методики представляется своевременной и практически востребованной.

В качестве примера, подтверждающего важность качества работы «сервисной» компоненты при сопровождении важной (критичной) ИС со стороны сервис-провайдера, рассмотрим пример одного опроса Spews «*Что вызывает ваше раздражение при контакте с сервисной службой?*». Опрос касался только конечных пользователей, при этом из общего перечня выделены только вопросы, касающиеся темы данной публикации и наиболее ярко отражающие поставленную проблему (допускалось отвечать на несколько вариантов сразу):

- длительное время ожидания – 74 %;
- много переключений между сотрудниками для решения – 42 %;
- недостаточная компетенция оператора при ответе – 38 %;
- низкий уровень ответственности оператора для решения – 27 %;
- отключения оператора для консультаций – 13 %.

Другим достаточно ярким примером является инцидент прерывания обслуживания международных платежных систем (МПС) в марте 2014 г. – Visa и MasterCard прекратили обслуживание ряда российских банков. Логичной реакцией на этот инцидент стала законодательная инициатива в форме ФЗ-112 о создании Национальной системы платежных карт и обеспечении бесперебойности работы МПС с целью поддержания бесперебойности денежных переводов и гарантии их безопасности [6]. Для целей данной публикации важно, что в [6] определены ключевые требования, в том числе и по «триаде ИБ» – (конфиденциальности, целостности и доступности). Дополнительно должен быть принят во внимание комплекс угроз касательно возможности приостановления технической поддержки со стороны крупнейших зарубежных ИТ-поставщиков (Oracle, HP и IBM). На уровне Банка России эта угроза получила подтверждение (например, возможность отзыва лицензий на ПО), как отметил заместитель начальника главного управления



безопасности и защиты информации ЦБ Артем Сычев [7]. По данным ряда экспертов, доля зарубежного ПО в российских банках высока – в Сбербанке она составляет примерно 50%, в ВТБ – до 40%, в Промсвязьбанке около 30% [7]. Таким образом, реальные примеры текущей деятельности ряда крупнейших организаций только подчеркивают особое внимание, которое требуется уделять «качеству работы» и компетенциям сервис-провайдеров.

Предпринятое исследование ставит следующую задачу – рассмотреть на основе опубликованных рейтингов крупнейших сервис-провайдеров и известных стандартов ИБ, возможные оценки качества предоставляемых услуг, оценить уровень приверженности международных стандартов и «лучших практик» ИБ и сформировать концепцию оценки уровня ИБ сервис-провайдеров ИС для промышленных объектов.

**3. Анализ исходных данных.** В качестве исходных данных рассмотрены обзоры CNews Analytics [1–5], в которых приведены общие данные о рейтингах и результатах деятельности ИТ-компаний в России, а также публичные данные о применяемых в процессе основной деятельности стандартах, методиках и «лучших практиках». Из общего массива данных (рейтинг «Крупнейшие ИТ-компании России 2013» включал данные 100 ИТ-компаний [1]), были отобраны только ключевые сервис-провайдеры, т.е. те компании, в поле «Сфера деятельности» которых указано точно «ИТ-услуги» – таких компаний 51 (таким образом, выбыли из анализа те компании, которые имели специализацию по дистрибуции, разработке ПО и интеграции).

Как показало исследование CNews [4], опрошенные провайдеры опираются в своей деятельности на методики ИТIL/ITSM, COBIT, MOF, активно используются стандарты ISO 20000, 27001, 9000 и также различные ГОСТ – серии 34, серии 19 и пр. Дополнительно был изучен рейтинг («Подходы к стандартизации ИТ-сервиса в России 2014» [5]), которые включал данные всего по 9 крупнейшим сервис-провайдерам в России («Ай-теко», «АйТи», «Астерос», «Аутсорсинг 24», «Гелиос ИТ», Мауког, «Оптим», «Техносерв» и «ЮНИТ-Оргтехника»). Примечание – ряд организаций, традиционно предоставлявших данные для рейтинга CNews100, отказались участвовать в анализе 2013 г., что, вероятно, подразумевает отрицательные результаты деятельности. Это предположение подтверждается фактами участия в более ранних рейтингах (например, для компании «Аутсорсинг 24» и «Optima»).

Соответственно, итоги сопоставления сервис-провайдеров, включенных в рейтинги [1 – 4] за 2013 г., представлены в таблице 1.

Таблица 1. Рейтинги сервис-провайдеров 2013 г., обработка

Место 2013	Место 2012	Компания	Город	Выручка 2013	Выручка 2012	Рост
3	4	Техносерв	Москва	40.161.571	43.117.193	-6,9 %
10	12	Ай-Теко	Москва	22.662.179	21.495.000	5 %
15	13	Астерос	Москва	19.731.474	19.156.771	3 %
26	25	Мауког	Москва	9.275.729	8.014.110	15,7%
28	28	АйТи	Москва	7.700.000	7.050.000	9,2 %
67	-	Юнит	Екатеринбург	1.534.306	1.461.244	5 %

Соответственно, итоги сопоставления сервис-провайдеров, включенных в рейтинги [2 – 4] за 2012 г., представлены в таблице 2.

Таблица 2. Рейтинги сервис-провайдеров 2012 г., обработка

Место 2012	Место 2011	Компания	Город	Выручка 2012	Выручка 2011	Рост
4	5	Техносерв	Москва	43.117.192	40.334.137	6,9 %
12	15	Ай-Теко	Москва	21.495.000	16.900.000	27,2 %
13	14	Астерос	Москва	19.156.770	17.258.352	11%
25	-	Мауког	Москва	8.014.113	4.273.571	87,5 %
28	30	АйТи	Москва	7.050.000	6.180.000	14,1 %
82	77	Аутсорсинг 24	Москва	1.019.961	914.731	11,5 %

Соответственно, итоги сопоставления сервис-провайдеров, включенных в рейтинги [3, 4] за 2011 г., представлены в таблице 3.

Таблица 3. Рейтинги сервис-провайдеров 2011 г., обработка

Место 2011	Место 2010	Компания	Город	Выручка 2012	Выручка 2011	Рост
5	6	Техносерв	Москва	39.277.591	33.517.571	17,2 %
14	18	Астерос	Москва	17.258.352	11.179.840	54,4 %
15	17	Ай-Теко	Москва	16.900.000	12.510.000	35 %
21	19	Optima	Москва	12.041.966	11.093.876	8,5 %
30	31	АйТи	Москва	6.180.000	4.692.560	31,7 %
77	83	Аутсорсинг 24	Москва	914.732	732.740	24,8%

Далее рассмотрим кратко финансовые итоги за тот же сравнительный период – 2012 и 2013 гг. для ИТ-компаний (совокупно) [1]. Отмечается, что выручка составила 918 млрд. руб. против 919 млрд. руб. годом ранее, но при анализе динамики выручки «первой десятки» рейтинга CNews100 фиксируется снижение (с 55,3% до 51%) против остальных компаний рейтинга, соответственно, отмечается увеличение с 44,7% до 49%.

Итоги сопоставления сервис-провайдеров, включенных в оба рейтинга [1, 5], в части, касающейся заявленных имеющихся компетенций (соответствия требованиям стандартов, применения методик, использования ГОСТов и пр.) представлены в таблице 4.

Таблица 4. Компетенции сервис-провайдеров, обработка

Компания	Заявленные компетенции (стандарты и методики)						Баллы
	ITIL v3	Cobit	9001	20000	27001	ГОСТ	
Техносерв	да		да	да			3
Ай-Теко	да		да	да	да		4
Астерос	да		да			да	3
Мауког	да		да	да			3
АйТи	да	да	да	да			4
Юнит	да		да	да	да		4
Аутсорсинг 24	да		да	да	да	да	5
Optima	да		да				2

Итоговая оценка «Баллы» определялась по правилу наличия какой-либо компетенции у определенной организации, и, в этом случае, начислялся 1 балл. Примечание – по данным обзора [5] все указанные компетенции были заявлены как внедренные (применимые, разработанные или активно используемые) с 2011 г., таким образом, дальнейшее исследование зависимостей вполне обоснованно может опираться на сопоставление данных за последние 3 года – с 2011 по 2013 гг.

**4. Исследование зависимостей.** Соответственно, в таблице 5 представлены сводные данные по оценке зависимостей сервис-провайдеров за последние 3 года (2011 – 2013 гг.) и заявленные компетенции (предоставлены оценки в баллах).

Важно обратить внимание, что в сводной таблице предпринята попытка «выравнивания» сервис-провайдеров, вошедших в рейтинг [5], но, по ряду причин, не вошедших в рейтинги (во все или частично) – [1, 2, 3]. Соответственно, предложено определять место

компаний, не вошедших в официальный рейтинг «первой сотни», как рейтинг «101», и рост выручки определять как «0». Таким образом, все компании, включенные в рейтинг [5] сервис-провайдеров, имеют сопоставимые баллы, места в рейтинге и оценки роста выручки, что позволяет выполнять оценки корреляции.

Таблица 5. Сводная оценка сервис-провайдеров, обработка

Компания	Баллы	Рост выручки			Место в рейтинге		
		2013	2012	2011	2013	2012	2011
Техносерв	3	-6,90%	6,90%	17,20%	3	4	5
Ай-Теко	4	5,00%	5,00%	35,00%	10	12	15
Астерос	3	3,00%	3,00%	54,40%	15	13	13
Мауког	3	15,70%	15,7%	0,00%	26	25	14
АйТи	4	9,20%	9,2 %	31,70%	28	28	30
Юнит	4	5,00%	5,00%	0,00%	67	101	101
Аутсорсинг 24	5	0,00%	0,00%	24,80%	101	82	77
Optima	2	0,00%	0,00%	8,50%	101	101	21

Результаты исследований сводных данных по оценке сервис-провайдеров за последние 3 года (2011 – 2013 гг.) и заявленных компетенций предоставлены на рисунке 1. Анализ полученных результатов исследований будет представлен далее по тексту.

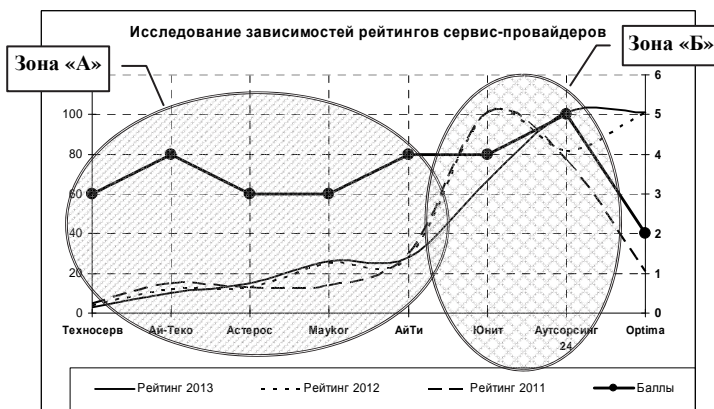


Рис. 1. Исследование зависимостей рейтингов сервис-провайдеров

В соответствии с поставленной проблемой в данной публикации – «как можно оценить уровень ИБ сервис-провайдеров»

при выполнении сопровождения ИС промышленных объектов на основе собственных компетенций?», представляется интересным задать ряд вопросов для изучения возможных зависимостей между имеющимися собственными компетенциями сервис-провайдером (из первой «сотни» в рейтинге России) и их позицией (в т.ч. в динамике – по росту выручки, по изменению места в рейтинге). Таких вопросов предполагается задать три:

– *Оценка корреляции "Рост выручки и влияние компетенций"*.

– *Оценка корреляции "Место в рейтинге и влияние компетенций"*.

– *Оценка корреляции "Рост выручки и изменение рейтинга"*.

При дальнейших исследованиях возможных зависимостей исходных обработанных данных (таблица 1 – таблица 4) будет применен математический аппарат, изложенный ранее в работе [10], там же можно ознакомиться с рядом примеров вычислений по аналогичному направлению (исследование корреляционных зависимостей стандартизации ISO). Ответы на поставленные вопросы возможно получить с помощью применения корреляционных функций, результаты представлены в таблице 6.

Таблица 6. Результаты оценки корреляции

Исследование оценки корреляции	2013	2012	2011
«Рост выручки и влияние компетенций»	0,0848	0,0033	0,1799
«Место в рейтинге и влияние компетенций»	0,1172	0,0779	0,6220
«Рост выручки и изменение рейтинга»	0,1352	0,6239	0,4439

Результаты исследований корреляции оценок рейтингов сервис-провайдеров за последние 3 года (2011 – 2013 гг.) и заявленных компетенций предоставлены на рисунке 2. Анализ полученных результатов исследований будет представлен далее по тексту.

**5. Анализ результатов исследований.** Анализ результатов исследований зависимостей рейтингов сервис-провайдеров (представлена сводная оценка сервис-провайдеров – таблица 5 и результаты исследований зависимостей рейтингов сервис-провайдеров – рисунок 1) приводят к следующему важному заключению:

– *Фактор только наличия большого количества собственных компетенций (свыше 4-х баллов) не приводит автоматически к высокому месту в рейтингах (2011 – 2013 гг.) и не влияет явным образом на рост выручки («Зона Б» - компании «Юнит», «Аутсорсинг*

24»), но наличие минимального «порогового значения» собственных компетенций (не менее 3-х баллов) приводит к высокому месту во всех рейтингах (2011-2013 гг.) и влияет явным образом на рост выручки («Зона А» - компании «Техносерв», «Астерос», «Ай-Тек», «АйТи», «Мауко»).



Рис. 2. Исследование корреляций компетенций сервис-провайдеров

Анализ результатов исследований корреляций компетенций сервис-провайдеров (представлены результаты оценок корреляции сервис-провайдеров – таблица 6 и результаты исследований корреляции компетенций сервис-провайдеров – рисунок 2) приводят к следующим важным заключениям:

– Оценка корреляции "Рост выручки и влияние компетенций" – слабая во всем диапазоне исследований (по шкале Чеддока, менее 0,3), что свидетельствует о минимальной роли набора собственных компетенций (стандартов, методик, «лучших практик») при оценке влияния на увеличение выручки всех компаний, вошедших в рейтинг;

– Оценка корреляции "Место в рейтинге и влияние компетенций" – подвержена значительному изменению: от заметной в 2011 г. (по шкале Чеддока, выше 0,5), до слабой (по шкале Чеддока, менее 0,3) в 2012 и 2013 гг. Вероятно, эта корреляция является ложной, т.к. компетенции сервис-провайдеры к 2011 г. уже обладали,

но на рост выручки и место в рейтинге этот фактор имеет слабое влияние, что также подтверждается для «Зоны А» на рисунке 1.

– Оценка корреляции "Рост выручки и изменение рейтинга" – подтверждена значительному изменению: от умеренной в 2011 г. (по шкале Чеддока свыше 0,3 и менее 0,5), до заметной в 2012 г. (по шкале Чеддока, свыше 0,5) и до слабой в 2013 (по шкале Чеддока, менее 0,3). Эта корреляция дает достаточные основания предполагать, что основное влияние на рост выручки с течением времени оказывают разные факторы, особенно в условиях нулевого роста всего ИТ-рынка.

Общая тенденция – с учетом данных таблиц 5 и 6 может быть кратко сформулирована так: на основе имеющейся статистики за 2011 – 2013 гг. явная и стабильная во времени корреляционная зависимость между собственными компетенциями сервис-провайдеров в области ИБ и достижениями коммерческих результатов в росте выручки или в рейтингах не прослеживается. Весьма вероятно, отсутствие корреляции может быть связано с другими причинами и носит, объективно, скрытый и системный характер.

**6. Парадокс ИБ.** С учетом фактов, отражающих возрастание угроз ИБ и использования уязвимостей современных ИС, серьезных сбоев критичных ИС и их компонент (как было отмечено выше), а также требований, содержащихся в применяемых стандартах и доступных методиках, возможно предложить формулировку «Парадокса ИБ»: на современном этапе развития ИС наиболее значимые (критичные) угрозы жизненного цикла ИС являются прямым следствием доминирования зарубежных компонент в программном и аппаратном обеспечении ИС, и, в то же время, механизм эффективного противодействия данным угрозам содержится в доступных международных стандартах, прежде всего, в современных риск-ориентированных стандартах ISO.

Ранее были рассмотрены примеры проявления данного парадокса – на проекте НПС, еще раз отметим, что системы Visa и/или MasterCard имеют всю критичную базовую техническую инфраструктуру и процессинг вне зоны разумного контроля в РФ, т.е., объективно, в любой момент возможны прерывания доступности и ощутимые финансовые издержки кредитным организациям РФ. В более широком аспекте – на фазе сопровождения и эксплуатации любых ИС в РФ роль сервис-провайдера (даже при наличии максимального количества компетенций ИБ) не может полностью парировать все риски ИБ, т.к. значительная часть ПО является иностранной (по данным экспертов [7] доля ПО иностранной разработки составляет до 50 %). А этот риск очень серьезный, т.к. ряд

зарубежных производителей ПО (например, Microsoft, Oracle, Symantec и Hewlett-Packard), были готовы присоединиться к техническим санкциям в отношении ряда российских банков в апреле 2014 г. [7, 11].

В этой ситуации роль сервис-провайдера в аспекте гарантированного обеспечения требуемого уровня ИБ для ИС, принятых на сопровождение, должна объективно измениться – что логично приведет к повышению объема доходов и, следовательно, рыночной доли по сравнению с конкурентами. На данный момент, как показало проведенное исследование за 3 года, наблюдается стабильное крайне низкая корреляция между имеющимися компетенциями сервис-провайдеров и ростом их выручки, соответственно, есть потенциал развития в новой области сопровождения критичных ИС с дополнительными функциями обеспечения ИБ.

В качестве нормативной и методической поддержки можно рекомендовать тот же перечень стандартов, которые, как заявлено, применяются сервис-провайдерами – это ряд международных стандартов (например, ISO серии 9001, 20000 и 27001), которые приняты в РФ в качестве национальных ГОСТ Р, соответственно, могут и должны (наряду с внутренними мерами защиты, системами сертификации средств защиты по требованиям ФСТЭК и/или ФСБ), применяться для результативного обеспечения требуемого уровня ИБ и парирования негативного воздействия в рамках «Парадокса ИБ» на критичные ИС. Однако имеется объективный фактор, значительно усиливающий «*Парадокс ИБ*» – многие организации, прежде всего государственные, не спешат с «принятием на вооружение» и не практикуют широкое применение новых стандартов ISO, хотя бы и в виде «локализованных» ГОСТ Р ИСО, предпочитая опираться на систему руководящих документов ФСТЭК, ряд которых утвержден еще в 1992 г.

**7. Пример решения «Парадокса ИБ».** В качестве примера одного из вариантов практического решения «Парадокса ИБ» рассмотрим основные международные стандарты в области ИБ – ISO/IEC 27001:2013 (в РФ принят ГОСТ Р ИСО/МЭК 27001-2006) и ISO/IEC 20000:1-2011 (в РФ принят ГОСТ Р ИСО/МЭК 20000:1-2011) и покажем, какие меры и средства ИБ необходимо применять для обеспечения должного уровня ИБ для действующих ИС (таблица 7). Соответственно, требования рассмотрены только по пунктам стандартов, без анализа применения конкретных и соответствующих мер (средств) обеспечения ИБ, т.к. модель рисков ИБ не формализована.



Таблица 7. Применение стандартов ISO для обеспечения ИБ в ИС

Компонент ИБ	Требования стандартов		Пример
	ISO/IEC 27001: 2013	ISO/IEC 20000: 1-2011	
Определение контекста	4.1	-	Перечень зарубежных поставщиков компонент критичных ИС. Дополнительно – перечень аналогов (производства «доверенных» стран)
Планирование поддержки и развития ИС	-	4.5.2	План создания, внедрения и поддержки ИС (с учетом законодательства, ограничений по привлечению третьих лиц, аутсорсинга в ИБ)
Потребности заинтересованных сторон	4.2	4.1.1 d)	Перечень требований поставщиков компонент критичных ИС в части ИБ. Дополнительно – перечень аналогов (производства «доверенных» стран)
Политика ИБ	5.2 c)	4.1.2 b)	Декларирование обязательств поставщиков компонент критичных ИС в части ИБ
Оценка рисков ИБ	6.1.2	6.6.2 d)	Реестр рисков (идентификация, анализ, оценка, сравнение с критериями) в части компонент ИС
Обработка рисков ИБ	6.1.3	6.6.3	Решение о приемлемом варианте обработки рисков (меры обеспечения ИБ, формирование плана, согласование с владельцем риска) в части компонент ИС
Компетенция	7.2. a)	4.4.2 a)	Определение необходимой компетенции персонала в части, касающейся ИБ и ИС
Коммуникация	7.4	4.1.3 b)	Процесс коммуникации в рамках обеспечения ИБ для компонент ИС
Операционное планирование и контроль	8.1	4.2	План контроля процессов аутсорсинга в части касающейся ИБ и ИС
Внутренний аудит ИБ	9.2 f)	4.5.4.2 b)	Процесс информирования высшего руководства в части касающейся ИБ и ИС. Дополнительно – привлечение внешних аудиторов в рамках аудитов 2-й стороной.
Анализ со стороны руководства	9.3 d)	4.5.4.3 c)	Обеспечение обратной связи от поставщиков компонент критичных ИС
Управление несоответствиями	10.1 b)	4.5.4.2	Предпринятые действия для устранения причин выявленных несоответствий ИБ. Дополнительно – привлечение внешних аудиторов в рамках аудитов 2-й стороной и/или экспертов (ФСБ и/или ФСТЭК)

На основании данных [4, 5] можно констатировать, что крупнейшие сервисные провайдеры прекрасно отдают себе отчет в важности применения нормативных требований в части ИБ – как на уровне ГОСТ, так и на уровне соответствия современных риск-ориентированных стандартов ISO. К сожалению, такой подход приносит свои «плюсы» только фрагментарно – в отношении уже созданных (закупленных) и развернутых «в продуктиве» реальных ИС; но совершенно не обеспечивается контроль всех стадий ЖЦ для ИС (например, обеспечение ИБ в стадии сопровождения), соответственно, в критических ситуациях пользователи ИС могут оказаться в уязвимом положении и вынуждены постоянно обновлять «патчи» безопасности и внедрять дорогостоящие эшелонированные системы ИБ.

**8. Концепция оценки уровня ИБ сервис-провайдеров.** На основании приведенных выше фактов актуальных угроз, краткого анализа нормативно-технических документов, оценки влияния компетенций ИБ сервис-провайдеров и предложенного «*Парадокса ИБ*», представляется возможным сформировать концепцию оценки уровня ИБ сервис-провайдеров ИС для промышленных объектов. Концепция состоит из 2-х базовых принципов и нескольких расширений (которые могут отражать конкретные требования по специализации при обслуживании государственных, отраслевых и иных заказчиков).

1. Базовый минимальный принцип – сервис-провайдер должен реализовать в своей деятельности систему управления, основанную на международных стандартах (или аналогичных ГОСТ Р), минимально достаточных для построения СМИБ и обеспечения требуемого комплекса мер и средств ИБ, адекватно выявленному, оцененному и ранжированному риску ИБ. Этот принцип может быть оценен (качественно или количественно) в рамках плановых аудитов СМИБ.

2. Базовый достаточный принцип – сервис-провайдер должен реализовать в своей системе управления комплекс международных стандартов (или аналогичных ГОСТ Р), достаточных для оказания услуг на согласованном уровне качества, с учетом определенных рисков ИБ и с учетом дополнительных требований заинтересованных сторон. Рекомендуется создание интегрированной системы менеджмента, в рамках аудитов которой реализация этого принципа может быть оценена (качественно или количественно).

3. Расширенный принцип «Государственного регулирования» – сервис-провайдер должен реализовать в своей системе управления комплекс требований, установленных регуляторами (ФСБ, ФСТЭК,

МО, СВР, МЧС и пр.), с учетом специфики ИБ при функционировании ИС, требований к их доступности и надежности, требований к аттестации и пр. Этот принцип может быть оценен (качественно или количественно) в рамках плановых проверок лицензиатов (аттестаций) со стороны регуляторов.

4. Расширенный принцип «Отраслевого регулирования» – сервис-провайдер должен реализовать в своей системе управления комплекс требований, установленных в отрасли (ЦБ, ГОСТ РВ 0015-002-2012, ISAGO и пр.), с учетом специфики ИБ при функционировании ИС, требований к их доступности и надежности, требований к периодичности проверок («аудиты второй стороной» и пр. Этот принцип может быть оценен (качественно или количественно) в рамках плановых проверок лицензиатов со стороны независимых аудиторов.

5. Расширенный принцип «Лучших практик» – сервис-провайдер должен реализовать в своей системе управления комплекс «лучших практик», принятых в отрасли (ITIL, Cobit, SOX, Basel, COSO и пр.), с учетом специфики функционирования ИС, требований к их доступности и надежности, требований к периодичности проверок и пр. Этот принцип может быть оценен (качественно или количественно) в рамках плановых проверок на добровольной основе со стороны независимых аудиторов.

К представленной концепции можно дать хороший пример. Применение лучших международных стандартов в области ИБ (ISO серии 27001, 20000, 15408 и пр.), принятых в РФ в качестве национальных ГОСТ Р, оказало влияние на систему требований в государственном оборонном заказе. В новом ГОСТ РВ 0015-002-2012 в разделе 4.3 содержатся требования к ИБ и дана прямая ссылка на «целевой» стандарт ГОСТ Р ИСО/МЭК 27001-2006. Соответственно, наблюдается логичное и обоснованное направление по включению требований по ИБ там, где это наиболее важно и критично – в области государственного оборонного заказа, т.к. требования ГОСТ РВ 0015-002-2012 там обязательны. Представляется рациональным принятие таких же требований для иных критичных отраслей экономики РФ – отрасли связи, энергетики, транспорта, добычи (транспортировки) углеводородного сырья и пр. Приоритет обязательного применения национальных стандартов в области ИБ может также определяться «Парадоксом ИБ» – т.е. теми угрозами, проявление которых может привести к наибольшему негативным последствиям (ущербу) на промышленных объектах.

Внесение изменений в практику экспертизы уровня защищенности, оценки соответствия и аудита в области ИБ для существующих ИС должно обязательно базироваться на действующих руководящих документах ФСТЭК и/или ФСБ. Соответственно, изменения должны касаться, помимо риск-ориентированного подхода (содержащегося в новых стандартах ISO), также и углубленного анализа моделей ЖЦ ИС, в том числе оценки уровня достаточности и контроля средств (мер) обеспечения ИБ, заложенных на стадии проектирования, создания, тестирования – т.е. до приемки ИС в «продуктив» и активной эксплуатации. В том же направлении необходимо требовать периодической оценки защищенности ИС – в рамках обязательной аттестации в соответствии с действующими руководящими документами ФСТЭК и/или ФСБ.

Предлагается распространить практику «инструментального» аудита ИБ (по аналогии с требованиями PCI DSS) на критичные ИС и сформировать национальные правила для оценки текущего состояния уровня защищенности ИБ на периодической основе. Определенно, выполнение таких аудитов (тестов) должно быть лицензируемым видом деятельности в РФ и выполняться под надзором соответствующих специальных служб – ФСТЭК и/или ФСБ.

#### **9. Выводы:**

1. Опубликованная статистика за 2011-2013 гг. не позволяет сделать вывод о наличии явной и что особенно важно – стабильной во времени зависимости между собственными компетенциями в области ИБ у сервис-провайдеров и достижениями коммерческих результатов в росте выручки или в рейтингах. Фактор наличия определенного количества собственных компетенций не приводит автоматически к высокому месту в рейтингах. Весьма вероятно, отсутствие корреляции может быть связано с другими причинами и носит, объективно, скрытый и системный характер.

2. Предложенная формулировка «*Парадокса ИБ*» на современном этапе развития ИС позволяет учесть наиболее значимые (критичные) угрозы ИБ и предложить подход, основанный на широком использовании современных риск-ориентированных стандартов, прежде всего международных стандартах ISO.

3. Предложенная концепция оценки уровня ИБ сервис-провайдеров ИС для промышленных объектов состоит из 2-х базовых принципов и нескольких расширений, которые позволяют учесть конкретные требования по специализации при обслуживании государственных, отраслевых и иных заказчиков с учетом специфики ИБ при функционировании ИС, и предоставляют возможность

оценки (качественно или количественно) в рамках плановых проверок (аудитов).

### Литература

1. Крупнейшие ИТ-компании России 2013. URL: <http://www.cnews.ru/reviews/new/2013/> (дата обращения 07.07.2014).
2. Крупнейшие ИТ-компании России 2012. URL: [http://www.cnews.ru/reviews/new/rynok\\_it\\_itogi\\_2012/review\\_table/1d5d1838fd010e16936649555e52b4dd1655219b/](http://www.cnews.ru/reviews/new/rynok_it_itogi_2012/review_table/1d5d1838fd010e16936649555e52b4dd1655219b/) (дата обращения: 07.07.2014).
3. Крупнейшие ИТ-компании России 2011. URL: <http://www.cnews.ru/reviews/free/2011/rating/rating1.shtml/> (дата обращения: 07.07.2014).
4. Стандарты ИТ-сервисов в России: готовность провайдеров. URL: [http://www.cnews.ru/reviews/new/2013/articles/standarty\\_itservisov\\_v\\_rossii\\_gotovnost\\_provajderov/](http://www.cnews.ru/reviews/new/2013/articles/standarty_itservisov_v_rossii_gotovnost_provajderov/) (дата обращения: 07.07.2014).
5. Подходы к стандартизации ИТ-сервиса в России 2014. URL: <http://www.cnews.ru/reviews/free/table/table1.htm> (дата обращения 07.07.2014).
6. Федеральный закон от 05.05.2014 № 112-ФЗ «О внесении изменений в Федеральный закон «О национальной платежной системе» и отдельные законодательные акты Российской Федерации».
7. «Oracle и Microsoft могут прекратить поддержку попавших под санкции банков». URL: [www.rbc.ru](http://www.rbc.ru) (дата обращения: 07.07.2014).
8. Лившиц И. Применение моделей СМИБ для оценки защищенности интегрированных систем менеджмента // Труды СПИИРАН. 2013. Вып. 8(31). С. 147–163.
9. Лившиц И. Подходы к решению проблемы учета потерь в интегрированных системах менеджмента // Информатизация и Связь. 2013. Вып. 1. С. 55–60.
10. Лившиц И.И., Молдовян А.А., Танатарова А.Т. Исследование зависимости сертификации по международным стандартам ISO от типов организации для ведущих отраслей промышленности // Труды СПИИРАН. 2014. Вып. 3(34). С. 160–178.
11. Лившиц И. Методическое обеспечение процесса оценки банковских продуктов в соответствии с требованиями современных стандартов ISO // Деньги и Кредит. 2014. Вып. 6. С. 75–77.

### References

1. Krupnejshie IT-kompanii Rossii 2013 [Biggest Russian IT-company 2013]. Available at: <http://www.cnews.ru/reviews/new/2013/> (accessed 07.07.2014). (In Russ.).
2. Krupnejshie IT-kompanii Rossii 2012 [Biggest Russian IT-company 2012]. Available at: [http://www.cnews.ru/reviews/new/rynok\\_it\\_itogi\\_2012/review\\_table/1d5d1838fd010e16936649555e52b4dd1655219b/](http://www.cnews.ru/reviews/new/rynok_it_itogi_2012/review_table/1d5d1838fd010e16936649555e52b4dd1655219b/) (accessed 07.07.2014). (In Russ.).
3. Krupnejshie IT-kompanii Rossii 2011 [Biggest Russian IT-company 2011]. Available at: <http://www.cnews.ru/reviews/free/2011/rating/rating1.shtml/> (accessed 07.07.2014). (In Russ.).
4. Standarty IT-servisov v Rossii: gotovnost' provajderov [IT-services standards in Russia: ready on providers]. Available at: [http://www.cnews.ru/reviews/new/2013/articles/standarty\\_itservisov\\_v\\_rossii\\_gotovnost\\_provajderov/](http://www.cnews.ru/reviews/new/2013/articles/standarty_itservisov_v_rossii_gotovnost_provajderov/) (accessed 07.07.2014). (In Russ.).

5. Podhody k standartizacii IT-servisa v Rossii [IT-service approach for standardization in Russia]. Available at: <http://www.cnews.ru/reviews/free/table/table1.htm> (accessed 07.07.2014). (In Russ.).
6. Federal Law of 05.05.2014 № 112-FZ "On Amending the Federal Law "On the National Payment System" and Certain Legislative Acts of the Russian Federation." (In Russ.).
7. «Oracle i Microsoft mogut precratit' podderzku bankov» [«Oracle and Microsoft may discontinue support for banks which fell under sanctions»]. Available at: [www.rbc.ru](http://www.rbc.ru) (accessed 07.07.2014). (In Russ.).
8. Livshits I. [Application of models of the ISMS to assess the security of Integrated Systems of Management]. *Trudy SPIIRAN – SPIIRAS Proceedings*. 2013. vol. 8(31). pp. 147–163 (In Russ.).
9. Livshits I. [Approaches to solving the problem of accounting of losses in integrated systems of management]. *Informatisatia i Svyaz – Informatization and Communication*. 2013. vol. 1. pp 55–60 (In Russ.).
10. Livshits I., Moldovyan A., Tanatarova A. [Analysis of certification dependency of international standards ISO for leading industries]. *Trudy SPIIRAN – SPIIRAS Proceedings*. 2014. vol. 3(34), pp. 160–178 (In Russ.).
11. Livshits I. [Methodical provision of the evaluation process of banking products in accordance to requirements of modern standards ISO]. *Den'gi i Kredit – Money and Credit*. 2014. vol. 6. pp. 75–77.

**Лившиц Илья Иосифович** — к-т техн. наук, эксперт-аудитор ИТСК. Область научных интересов: системный анализ, защита информации, риск-менеджмент. Число научных публикаций — 30. [Livshitz\\_il@Hotbox.ru](mailto:Livshitz_il@Hotbox.ru); Санкт-Петербург, Богатырский пр., д. 61, к.1, кв. 17 тел.: +7 812 934-48-46.

**Livshitz Ilya Iosifovich** — Ph.D, lead auditor, ITSC. Research interests: system analyses, IT-security, risk-management. The number of publications — 30. [Livshitz\\_il@Hotbox.ru](mailto:Livshitz_il@Hotbox.ru); 197082, Russia, St.Petersburg, Bogatirsky str. 61-1-17; phone: +7 812 934-48-46.

## РЕФЕРАТ

### **Лившиц И.И., Концепция оценки уровня информационной безопасности сервис-провайдеров информационных систем для промышленных объектов.**

В настоящее время, объективно, для ИС достаточно стабильно проявляется значительное количество значимых (критичных) угроз, что обусловлено появлением новых векторов атак («*таргетированные атаки*»), а также недостаточной проработкой и управлением рисками в отношении ранее известных угроз и уязвимостей. Соответственно, представляет определенный интерес изучение проблемы безопасности ИС не только на фазе эксплуатации уже у конечного потребителя (на промышленном объекте), но и обращение внимания к «культуре производства» поставщиков (сервис-провайдеров) ИС, на их компетенции – методическое обеспечение, наличие и уровень внедрения стандартов и методик (применимых для целей создания и обеспечения уровня ИБ при сопровождении ИС).

В публикации рассмотрены актуальные риски в процессе жизненного цикла создания ИС и показано влияние современных угроз на уровень ИБ. На основании приведенных фактов, анализа нормативно-технических документов (ГОСТ, ГОСТ Р, стандартов ISO), анализа рисков – предложена формулировка «Парадокса ИБ» на современном этапе развития ИС – все наиболее значимые (критичные) угрозы для ИС являются прямым следствием доминирования зарубежных компонент в программном и аппаратном обеспечении, и в то же время, механизм эффективного противодействия данным угрозам содержится в доступных международных стандартах, прежде всего, в современных риск-ориентированных стандартах ISO.

В качестве парирования негативного эффекта «Парадокса ИБ» предложены перспективные направления обеспечения ИБ для ИС, среди которых – повсеместное применение лучших международных стандартов в области ИБ; внесение изменений в практику оценки компетенций ИБ сервис-провайдеров, оценки соответствия и аудита ИБ для существующих ИС на базе действующих руководящих документов ФСТЭК и/или ФСБ; распространение практики «инструментального» аудита ИБ. На основании приведенных фактов актуальных угроз, краткого анализа нормативно-технических документов, оценки влияния компетенций ИБ сервис-провайдеров и предложенного «Парадокса ИБ», представлена концепция оценки уровня ИБ сервис-провайдеров ИС для промышленных объектов. Концепция состоит из 2-х базовых принципов и нескольких расширений (которые могут отражать конкретные требования по специализации при обслуживании государственных, отраслевых и иных заказчиков).

## SUMMARY

### ***Livshits I.I., The concept of assessing the IT service providers information security level for industrial facilities.***

Currently, objectively, fairly IS stable is considerable number of significant (critical) threats due to the emergence of new attack vectors ("*Targeted Attack*"), as well as insufficient study and risk management in relation to the previously known threats and vulnerabilities. Respectively, is of particular interest to research the IT-Security problem not only in the phase of operation for the end user (at the facility), but also paying attention to the "culture of production" providers (service providers) IT-Security on their competence - methodological support, availability and level of implementation of standards and procedures (applicable for the purposes of establishing and maintaining the IT-Security level of accompanying IS).

The publication considered relevant risks during the life cycle of IP creation and the influence of modern threats to the level of information security. On the basis of these facts, analysis of regulatory and technical documents (GOST, GOST R ISO standards), risk analysis - proposed wording "IT-Security Paradox" at the present stage of development of IP - all important (critical) threat to IT-Security are the direct result of foreign domination component both in hardware and software, and at the same time, the mechanism effectively counter these risks is contained in the available international standards, especially in today's risk-based ISO standards.

As parry negative impact of "IT-Security Paradox" offered promising areas of information security for IT-Security, among them - the widespread use of the best international standards in the field of information security; changes in the practice of competency assessment IS service providers, conformity assessment and audit information security for existing IT-Security based on existing guidelines FSTEC and / or FBS; spread practice of "instrumental" IT-Security audit.

Based on the facts relevant threats, a brief analysis of normative and technical documents assessing the impact of IT-Security competencies of service providers and the proposed "IT-Security Paradox", introduces the concept of assessing the level of information security service IS providers for industrial facilities. The concept consists of 2 basic principles and a few extensions (which may reflect the specific requirements of specialization in servicing government, industry and other customers).



А.С. Гейда, З.Ф.Исмаилова, И.В.Клитный, И.В. Лысенко  
**ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ ОПЕРАЦИОННЫХ И ОБМЕННЫХ  
СВОЙСТВ СИСТЕМ**

---

*Гейда А.С., Исмаилова З.Ф., Клитный И.В., Лысенко И.В. Задачи исследования операционных и обменных свойств систем.*

**Аннотация.** В статье на примере задач, возникающих при исследовании свойств продукции военного назначения, выпускающейся на предприятиях оборонно-промышленного комплекса, описаны задачи исследования операционных и обменных свойств сложных технических систем. Операционные свойства систем характеризуют результаты (эффекты) функционирования систем (к операционным свойствам, в частности, отнесены эффективность функционирования системы для достижения заданной цели, потенциал системы), а обменные свойства характеризуют обмен результатами функционирования (к таким свойствам отнесены конкурентоспособность изделия, конкурентоспособность предприятия). Показано, что обменные свойства систем целесообразно изучать, используя концепцию и методологию оценивания операционных свойств систем. Введены показатели оценивания операционных свойств и на их основе введены показатели обменных свойств систем, допускающие свое прогнозное оценивание на математических моделях, что дает возможность решать спектр актуальных задач исследования операционных и обменных свойств систем. На примере одной из решаемого класса задач выполнена постановка задач исследования операционных и обменных свойств систем.

**Ключевые слова:** операционные свойства, обменные свойства, потенциал системы, эффективность, эффекты, оценивание, цели, целеполагание, планирование, свойства, анализ и синтез, показатели, методы, методика, автоматизация, модель, автоматизированное моделирование, модель задачи, информационные технологии, требования.

*Geida A.S., Ismailova Z.F., Klitnyy I.V., Lysenko I.V. Operational and exchange properties of systems research problems.*

**Abstract.** In article, on the example of the tasks arising at research of products properties, created at the enterprises of a military-industrial complex, problems of operational and exchange properties of complex technical systems research are investigated. Operational properties of systems characterize results (effects) of activity with use of systems (operational properties, in particular, are efficiency of system functioning for achievement of the given objective, system potential, system capabilities). Exchange properties characterize properties of exchange of results of activity (exchange properties, in particular, are competitiveness of a product, competitiveness of the enterprise). As shown, it is expedient to study exchange properties of systems using the concept and methodology of estimation of operational properties of systems. Indicators for operational properties estimation proposed and on their basis indicators for exchange properties of the systems suggested. Indicators suggested in such a way that their estimation suppose usage of mathematical models. This gives the chance to solve a range of research problems of operational and exchange properties of systems. On the example of one research problem statement of research problems of operational and exchange properties of systems provided.

**Keywords:** operational properties, exchange properties, system potential, system capabilities, efficiency, effects, estimation, planning, properties, the analysis and synthesis, indicators, methods, automation, model, automated modeling, research problem model, requirements.

---

**1. Введение.** Практика свидетельствует [4, 6-11, 13-18], что имеется спектр нерешенных задач, в которых важно научно обоснованно, с опорой на математические модели и методы прогнозирования, исследовать операционные и обменные свойства изделий и предпри-

ятий ОПК в зависимости от характеристик планируемых действий с изделиями и предприятиями. К обменным свойствам относятся, в частности, конкурентоспособность (предприятий, продукции). Так, например, при планировании модернизации предприятий возникает необходимость спланировать модернизационные мероприятия так, чтобы обеспечить наилучшую конкурентоспособность предприятия и выпускаемых изделий, затратив ресурсы и время не более выделенных [4]. Оценивание обменных свойств (и конкурентоспособности в указанной практической задаче) целесообразно выполнить, связав показатели обменных свойств систем с тем, какие результаты при функционировании дадут обмениваемые объекты, поскольку цель обмена состоит в последующем получении необходимых результатов функционирования, то есть, в улучшении операционных свойств систем после обмена. В настоящее время разработаны [5-7, 9] основы методологии исследования операционных свойств систем.

Полученные результаты позволяют:

1. Вскрыть зависимость между результатами (эффектами) функционирования систем и предпринимаемыми людьми действиями, как рекуррентную числовую зависимость.

2. Вскрыть зависимость между действиями в среде, актуализируемыми целями субъектов, использующих систему и требованиями использующих систему людей к эффектам в разное время и в разных условиях.

3. Определить показатели операционных свойств, определенные как меры соответствия прогнозируемых (в результате планируемых действий с системой) эффектов и требований к ним (со стороны среды).

4. Спрогнозировать значения характеристик операционных свойств в зависимости от предпринимаемых действий, что позволяет решать задачи прогнозирования и планирования по показателям указанных свойств.

В отличие от имеющихся аналогов, например, методологий исследования систем П.Чекланда, Г.Щедровицкого, системной инженерии [1, 25, 28] разработанная методология исследования во многих случаях позволяет не только описать особенности деятельности, но и позволяет сделать такое описание аналитически, с использованием формальных числовых моделей и рассчитываемых с их помощью показателей операционных свойств. Это, в частности, позволяет научно обоснованно, на основе математических моделей взаимодействий, спрогнозировать будущие результаты деятельности с системой, будущие требования к ним и их соответствие друг другу численно, и за

счет этого – решать задачи исследования деятельности с системой на основе решения формальных математических задач, в том числе, с использованием информационных технологий. Аналитическое прогнозирование результатов деятельности и их соответствия прогнозируемым требованиям к этим результатам позволяет перейти к оцениванию базовых обменных свойств при использовании систем на основе использования прагматических принципов экономики по Л. Мизесу [4], но с опорой не на эвристики, а на математические модели. Поэтому целесообразно связать показатели операционных свойств, таких, как эффективность (производства, эксплуатации), приспособленность к функционированию в условиях изменений целей (конверсивность), потенциал (продукции, предприятия), риск и показатели обменных свойств систем, что и должно позволить на практике решать спектр актуальных задач, связанных с планированием и прогнозированием по показателям обменных свойств.

В настоящее время возможности такого, научно обоснованного, с использованием числовых прогнозных математических моделей и методов, современных информационных технологий, решения задач совершенствования операционных и обменных свойств ограничены, поскольку для оценивания обменных свойств используются, как правило, статистические, эконометрические, экспертные методы оценивания, имитационное моделирование. Такие методы могут не позволить вскрывать механизм получения результатов, поскольку оценивают результаты непосредственным измерением, апостериори, а не на основе прогнозного исследования того, как и за счет чего эти результаты получают при реализации элементарных действий. В результате, указанные методы не позволяют с достаточной степенью обоснованности предсказать, пользуясь имеющимися данными об элементарных действиях то, какие результаты будут получены в будущем. Не позволяют они в должной мере вскрыть и механизмы порождения комплексных результатов из результатов действий, поскольку, как правило, этот механизм остается не раскрытым. Такими, требуемыми особенностями, обладают модели, построенные для оценивания операционных свойств систем и процессов их функционирования [2, 6, 20].

**2. Концепция исследования операционных и обменных свойств систем.** Особенности [4] обмена такими изделиями, как продукция военного назначения (ПВН), позволяют сделать вывод о том, что обменные свойства, изучаемые при решении практических задач, связанных с обменом ПВН целесообразно изучать, опираясь не на традиционные экономические представления об обмене на рынке, обладающем большой емкостью, стационарном, с известными правилами

доступа к рынку, рынку, где взаимодействуют многие субъекты с различными целями, а на представления о нестационарных, динамических обменных связях между незначительным числом сложных технических систем [11] (СТС), целенаправленно функционирующих для реализации обмена.

Под *сложной технической системой* будем понимать, как это принято в теории СТС [6], совокупность элементов и связей между ними, функционирующую для достижения заданной цели. Сложные технические системы обмениваются со средой при функционировании.

*Целенаправленность обмена* проявляется в том, что участники обмена стремятся, за счет обмена, достигать цели, стоящие перед ними, лучшим образом – то есть, достигать свои цели, которые не могли быть достигнуты ранее или достигать достигавшиеся ранее цели лучше (с меньшими затратами, быстрее, с меньшей рискованностью), то есть – с лучшими операционными свойствами. В связи с этим возникает необходимость разработки методологических основ решения задач *исследования обменных свойств на основе изучения операционных свойств* систем и процессов их функционирования. Для этого вскроем особенности указанных свойств пользуясь понятиями (концептами) связи, соответствия, приспособленности, обменная связь и затем и их концептуальными моделями в виде (рекуррентных) отношений [4]. За счет использования этих концептов и концептуальных моделей становится возможным использовать для оценивания обменных свойств понятий об операционных свойствах систем, исследуемых, в частности, в теории систем, теории потенциала и теории эффективности целенаправленных процессов [2, 6, 9, 17]. В процессе функционирования предприятия вступают в целенаправленно реализуемые отношения с другими действующими субъектами (далее – отношения). Если отношения с какими-либо из таких субъектов могут быть реализованы при функционировании, то такие субъекты называют (потенциальными) *участниками обмена*. Покупатели, изготовители изделий, поставщики ресурсов, комплектующих, инвесторы, персонал – примеры участников обмена. Эти участники реализуют комплекс обменных связей, описываемый с использованием отношений (например, в виде помеченных схем), называемый комплексом *отношений обмена*. Отношение обмена – комплексное отношение, может включать более двух сторон – элементов, может включать несколько отношений, быть рекуррентным и может быть альтернативным, образовывать несколько альтернатив отношений [4].

В связи с реализацией этого отношения на практике возникают *задачи исследования обменных свойств* СТС – свойств СТС, возник-

кающих при реализации комплекса обменных связей. Обменные связи возникают на границах СТС, участвующих в обменных связях – на границе СТС покупателя, изготовителя, изделий. *Операционные свойства* СТС – свойства, характеризующие результаты деятельности с ними [1]. Операционные свойства так же, как и обменные свойства, проявляются на границе СТС и среды. При этом, изменение операционных свойств СТС и есть то, ради чего обмен с СТС реализуется – для изменения результатов будущей деятельности с СТС, участвующими в обмене. По величине изменения показателей операционных свойств и следует судить о результативности обмена, поскольку такое изменение и есть целевой результат обмена. Изменение операционных свойств требует ресурсов и времени сначала для обмена, а затем, возможно, для конверсии СТС для достижения новой цели после реализации обмена (приспособления СТС для использования обмениваемого объекта к достижению целей). Характеристики показателей операционных свойств СТС, получаемые в результате обмена и затрачиваемые на такой обмен ресурсы и должны служить *основой для определения показателей обменных свойств СТС*. При этом, операционные свойства СТС *изучаются конструктивно*, то есть – на основе построения математических моделей [1-4, 6], позволяющих вскрывать зависимость проявлений операционных свойств СТС (описываемых показателями этих свойств) от изменений характеристик связей элементов внутри СТС и между элементами СТС и ее средой.

Для *конструктивного определения показателей обменных свойств* СТС на основе их операционных свойств необходимо определить концепты и принципы, использующиеся в задачах исследования обменных свойств СТС (таких, как конкурентоспособность) и их связи с концептами, используемыми при исследовании операционных свойств СТС (таких, как потенциал СТС, эффективность функционирования СТС), а также связи с концептами и принципами, использующимися при решении (математических) задач анализа и синтеза СТС и процессов их функционирования по показателям обменных и операционных свойств. Эти концепты, принципы и связи были подробно описаны в [4]. Рассмотрим основные из них.

*Цель (функционирования СТС)* – желаемое состояние в будущем, характеристики желаемого результата действия. При исследовании обмена с СТС необходимо учитывать *изменчивость целей*. При изменении целей функционирования СТС, в том числе, в результате обмена с СТС, участники обмена реализуют свою конверсию из старого (начального для достижения цели) состояния, в новое состояние, которое должно быть лучше приспособлено к достижению новых це-

лей. Такой переход назовем конверсией СТС. От латинского *conversio* [4] — в значении перевод промышленных предприятий с производства одной продукции на производство качественно новой продукции. Отсюда: конверсивность — приспособленность к конверсии.

*Конкуренция* при обмене с СТС – соперничество альтернативных поставщиков и потребителей за реализацию более совершенных (в операционном смысле) отношений обмена.

*Конкурентная связь* – связь между СТС – объектами конкуренции и их альтернативами по поводу использования той или иной СТС другой СТС (выгодоприобретателем). Борьба за реализацию конкурентной связи носит характер конкурентного соревнования. Выгодоприобретатель стремится осуществить отношения обмена с выгодой, то есть так, чтобы улучшить будущие результаты своей деятельности. Выигрыш проявляется в операционном виде, как результаты будущей деятельности, которые не могли бы быть получены без обмена. *Отношением конкуренции* будем называть расширенное отношение [6, 5] между объектами конкуренции (приобретателями, покупателями, поставщиками, изделиями, предприятиями) в том случае, когда имеется несколько альтернативных предложений.

*Конкурентоспособность* (объекта исследований) – свойство объекта исследований, характеризующее его приспособленность к достижению целей в условиях наличия конкурентных отношений с этим объектом, по отношению к другим альтернативам обмена.

*Эффективность обмена* – свойство обмена, характеризующее приспособленность обмена давать требуемый результат. Например, приспособленность обмена к переводу объекта обмена в состав СТС с заданными результатами обмена за требуемое время и с заданными затратами ресурсов других видов. *Эффективность функционирования СТС* в результате обмена – приспособленность СТС достигать заданную новую цель в результате обмена, конверсии и последующего использования объекта обмена в процессе функционирования.

Конверсивность СТС и эффективность [2, 18, 20] функционирования СТС для достижения каждой из (возможных) целей в своей совокупности и позволяют судить о том, приспособлена ли СТС к тому, чтобы с ее помощью достигать (возможные) цели.

Это свойство – *потенциал системы*, свойство, характеризующее приспособленность системы к достижению целей при функционировании [11]. Операционное свойство объекта исследования – свойство, характеризующее результаты деятельности, получаемые при использовании объекта исследований. Эффективность функционирования

СТС – комплексное операционное свойство функционирования СТС.  
Потенциал СТС – комплексное операционное свойство СТС.

Для оценивания обменных свойств систем на основе их операционных свойств используются два основных принципа исследований – *принцип рациональности* и *принцип оценивания предпочтительности*. Как следует из их описания в [4], о предпочтительности обмена с СТС следует судить по дополнительной (по отношению к сравниваемой второй альтернативе) возможности достижения цели СТС, то есть по приращению показателя эффективности функционирования СТС. Она, в свою очередь, определяется дополнительным потенциалом СТС, полученным в результате обмена (по результативности обмена), по оперативности и ресурсоемкости этого обмена. Предполагается, что участники обмена выбирают ту альтернативу обмена, что дает лучшую эффективность обмена. Соответственно, на основе эффективности обмена становится возможным определить предпочтительность обмена. Такое понимание предпочтительности обмена согласуется с экономическими представлениями об обмене в праксеологии: «Менее желательное состояние (деятельности) обменивается на более желательное» [4].

*Предпочтительность обмена* между двумя альтернативами обмена с СТС – свойство обмена, характеризующее эффективность обмена с СТС при использовании одной альтернативы по отношению к эффективности обмена СТС при использовании другой альтернативы. Она характеризует бинарное отношение между альтернативами.

*Показатели предпочтительности обмена* между несколькими альтернативами позволяют определить показатель конкурентоспособности обмена с СТС, как показатель, характеризующий множество возможных отношений обмена между разными альтернативами и задаются на множестве возможных предпочтительностей обмена между парой альтернатив. Характеристики свойств, связанных с исследованием обмена при функционировании систем (конкурентоспособность, предпочтительность, эффективность обмена и т.п.) будем называть *характеристиками обменных свойств систем*.

В примере [4] были рассмотрены обменные свойства СТС – изделий ПВН, выпускаемых СТС – предприятиями. Эти предприятия, в свою очередь, вступают в отношения обмена не только с потребителями ПВН, но и с инвесторами, поставщиками ресурсов и полуфабрикатов для предприятий, поставщиками персонала. Свойства, связанные с исследованием функционирования предприятий – субъектов обмена ПВН (конкурентоспособность предприятий, предпочтительность предприятий для инвестирования, поставки ресурсов и полуфабрика-

тов, предпочтительность для персонала, эффективность обмена для инвесторов, поставщиков, персонала, потенциал обмена предприятий) будем называть обменными свойствами предприятий (выпускающих ПВН). Соответственно, решаемые при исследовании этих свойств предприятий ОПК задачи – пример задач исследования обменных свойств СТС, задачи исследования обменных свойств предприятий.

**3. Показатели оценивания операционных и обменных свойств.** Обозначим:  $G_j - j$ -я цель использования заданной СТС из заданного множества  $G$  возможных целей использования этой системы;  $\tilde{A}_{j,s}$  – событие, состоящее в прекращении достижения цели  $G_s \in G$  и актуализации цели  $G_j \in G$ ;  $\sim$  – символ случайности (события, величины, отношения);

$p_{j,s} \stackrel{\Delta}{=} Poss(\tilde{A}_{j,s})$  – мера возможности актуализации  $\tilde{A}_{j,s}$ , где " $\Delta$ " – символ «равенство по определению»;  $\tilde{Y}'_{j,k}$  – величина (характеристика) прогнозируемого  $k$ -го результата функционирования СТС для достижения цели  $G_j \in G$ ,  $\tilde{Y}'_j \equiv \{\tilde{Y}'_{j,k}; k = \overline{1, K}\}$ ;

$\tilde{Y}''_{s,j,k}$  – величина (характеристика) прогнозируемого  $k$ -го результата конверсии СТС для перехода от достижения цели  $G_s \in G$  к достижению цели  $G_j \in G$ ,  $\tilde{Y}''_j \equiv \{\tilde{Y}''_{s,j,k}; k = \overline{1, K}\}$ ;

$\tilde{Y}^{\circ}_{s,j,k}$  – величина (характеристика) требуемого (директивного)  $k$ -го результата функционирования СТС для достижения цели  $G_j \in G$ ,  $\tilde{Y}^{\circ}_j \equiv \{\tilde{Y}^{\circ}_{j,k}; k = \overline{1, K}\}$  с учетом требований конверсии;

$\tilde{Y}_{s,j,k} = f(\tilde{Y}'_{j,k}, \tilde{Y}''_{s,j,k})$  – величина (характеристика)  $k$ -го результата конверсии для перехода от достижения цели  $G_s \in G$  к достижению цели  $G_j \in G$  и последующего функционирования СТС, например,  $\tilde{Y}_{s,j,k} = \tilde{Y}'_{j,k} + \tilde{Y}''_{s,j,k}$ , если одноименные эффекты конверсии и (целевого) функционирования аддитивны;

$\tilde{R}_{s,j,k}(\tilde{Y}_{s,j,k}, \tilde{Y}^{\circ}_{s,j,k}) \equiv \{(\tilde{Y}_{s,j,k,z}, \tilde{Y}^{\circ}_{s,j,k,z}), z = \overline{1, Z}; \mu_{\tilde{R}_{s,j,k}}(Y_{s,j,k}, Y^{\circ}_{s,j,k})\}$  – случайное отношение между  $k$ -м результатом конверсии и последующего функционирования и требованиями к нему, то есть – множество  $k.z$  – х пар величин (характеристик) прогнозируемых и требуемых результатов функционирования, таких, что они могут находиться в



требуемом отношении  $\tilde{R}_{s,j,k}(\tilde{Y}_{s,j,k}, \tilde{Y}_{s,j,k}^{\circ})$  друг с другом и мера  $\mu_{\tilde{R}_{s,j,k}}(Y_{s,j,k}, Y_{s,j,k}^{\circ})$  возможности случайного события, состоящего в том, что отношение  $\tilde{R}_{s,j,k}(\tilde{Y}_{s,j,k}, \tilde{Y}_{s,j,k}^{\circ})$  будет выполнено;

$$\tilde{R}_{s,j}(\tilde{Y}_{s,j}, \tilde{Y}_{s,j}^{\circ}) \equiv \bigcup_{k=1, \bar{K}} \tilde{R}_{s,j,k}(\tilde{Y}_{s,j,k}, \tilde{Y}_{s,j,k}^{\circ}) - \text{комплексное случайное } k -$$

мерное отношение между результатами конверсии для перехода от достижения цели  $G_s \in G$  к  $G_j \in G$  и последующего функционирования для достижению цели  $G_j \in G$  и требованиями к ним при условии актуализации цели  $G_j \in G$  после  $G_s \in G$ ;

$\tilde{A}_{\tilde{R}_{s,j}}(\tilde{Y}_{s,j}, \tilde{Y}_{s,j}^{\circ})$  – случайное событие, состоящее в том, что случайное  $k$  – мерное отношение  $\tilde{R}_{s,j}$  будет реализовано на множестве пар  $(\tilde{Y}_{s,j}, \tilde{Y}_{s,j}^{\circ})$  (каждая из которых принадлежит отношению с  $\mu_{\tilde{R}_{s,j,k}}$ );

$Poss(\tilde{A}_{\tilde{R}_{s,j}}(\tilde{Y}_{s,j}, \tilde{Y}_{s,j}^{\circ}))$  – показатель эффективности и конверсивности достижения цели  $G_j$  при условии ее актуализации в результате прекращения достижения цели  $G_s \in G$ ;  $\tilde{Y}$  – вектор характеристик результатов конверсии и функционирования СТС;  $\tilde{Y}^{\circ}$  – вектор характеристик требований к результатам конверсии и функционирования СТС;

$$\tilde{R}(\tilde{Y}, \tilde{Y}^{\circ}) \equiv \bigcup_{\substack{j, s \in 1, \bar{J} \\ j \neq s}} \tilde{R}_{s,j}(\tilde{Y}_{s,j}, \tilde{Y}_{s,j}^{\circ}) - \text{случайное } s \cdot j - \text{ мерное отношение}$$

между результатами функционирования и требованиями к нему при всех возможных переходах от достижения цели  $G_s \in G$  к достижению цели  $G_j$ ;

$\tilde{A}_{\tilde{R}(\tilde{Y}, \tilde{Y}^{\circ})}$  – случайное событие, состоящее в том, что случайное  $k$  – мерное отношение  $\tilde{R}$  будет реализовано на множестве пар  $(\tilde{Y}, \tilde{Y}^{\circ})$  в условиях всех возможных переходов от достижения цели  $G_s \in G$  к достижению цели  $G_j$ ;

$\Psi(\tilde{Y}, \tilde{Y}^{\circ}) \equiv Poss(\tilde{A}_{\tilde{R}(\tilde{Y}, \tilde{Y}^{\circ})}(\tilde{Y}, \tilde{Y}^{\circ}))$  – общее выражение для показателя потенциала СТС в многомерном виде, мера возможности собы-

тия, состоящего в реализации требуемого отношения на всех возможных реализациях (случайного) отношения между эффектами.

Так, в частности, если цель одна, конверсия не реализуется, то мера возможности события, состоящего в реализации требуемого отношения на эффектах функционирования СТС для достижения заданной цели может быть записана, как:

$$P^{ou}(\tilde{Y}'(\pi), \tilde{Y}^{of}(G)) \equiv Poss(\tilde{R}'(\tilde{Y}'(\pi), \tilde{Y}^{of}(G))),$$

где  $\tilde{Y}'(\pi)$  – вектор эффектов процесса функционирования СТС в соответствии с планом  $\pi$  функционирования для достижения заданной цели  $G$  функционирования;

$\tilde{Y}^{of}(G)$  – вектор требований к эффектам процесса функционирования СТС в соответствии с заданной целью  $G$  функционирования СТС;

$\tilde{R}'$  – случайное отношение между  $\tilde{Y}'(\pi)$  и  $\tilde{Y}^{of}(G)$ ;

$P^{ou}(\tilde{Y}'(\pi), \tilde{Y}^{of}(G))$  – возможность случайного события, состоящего в том, что будет достигнута цель функционирования СТС ОПК.

Эта величина [18,20] используется в качестве показателя эффективности функционирования СТС для достижения заданной цели. Пусть, например, рассматривается случай, когда имеется 2 эффекта, оба они – числовые. Например,  $\tilde{Y}_1'(\pi)$  – «целевой» результат,  $\tilde{Y}_2'(\pi)$  – время  $\tilde{Y}'(\pi) \equiv \langle \tilde{Y}_1'(\pi), \tilde{Y}_2'(\pi) \rangle$ ; Пусть требования к результатам заданы в виде детерминированных чисел  $Y^{of}(G) \equiv \langle Y_1^{of}(G), Y_2^{of}(G) \rangle$ .

Тогда, вероятность достижения цели может быть, например, представлена, как:

$$P^{ou}(\tilde{Y}'(\pi), \tilde{Y}^{of}(G)) = Poss((\tilde{Y}_1'(\pi) \geq Y_1^{of}(G)) \cap (\tilde{Y}_2'(\pi) \leq Y_2^{of}(G))).$$

Этот частный случай проиллюстрирован в виде попадания случайного вектора в заданную область (см. рисунок 1). С использованием аналогичных обозначений и типа общего выражения определим показатель эффективности обмена  $E(O_e)$  объектом обмена  $O_e$ .

Обозначим:  $\tilde{Y}^o(O_e)$  – вектор характеристик затрат ресурсов и времени на обмен объектом обмена  $O_e$ ;  $\tilde{Y}^{o,o}(O_e)$  – вектор требований к характеристикам затрат ресурсов и времени на обмен объектами обмена  $O_e$ ;  $\tilde{Y}(O_e)$  – вектор характеристик результатов конверсии и

функционирования СТС в результате обмена объектом обмена  $O_e$ ;  $\tilde{Y}^o(O_e)$  – вектор характеристик требований к результатам конверсии и функционирования СТС в результате обмена объектом обмена  $O_e$ . Тогда:  $E(O_e) \equiv Poss(\tilde{A}_{\tilde{R}}(\tilde{Y}(O_e), \tilde{Y}^o(O_e)) \cap \tilde{A}_{\tilde{R}^o}(\tilde{Y}^o(O_e), \tilde{Y}^{o,o}(O_e)))$  – показатель эффективности обмена объектом обмена  $O_e$ .

В этом выражении  $\tilde{A}_{1,e} \equiv \tilde{R}(\tilde{Y}(O_e), \tilde{Y}^o(O_e))$  – событие, состоящее в том, что в результате обмена  $O_e$  будут получены такие (целевые) результаты, что конверсия СТС для использования  $O_e$  и последующее функционирование СТС с использованием  $O_e$  дадут требуемые результаты конверсии и использования во всех возможных случаях смежных целей функционирования.

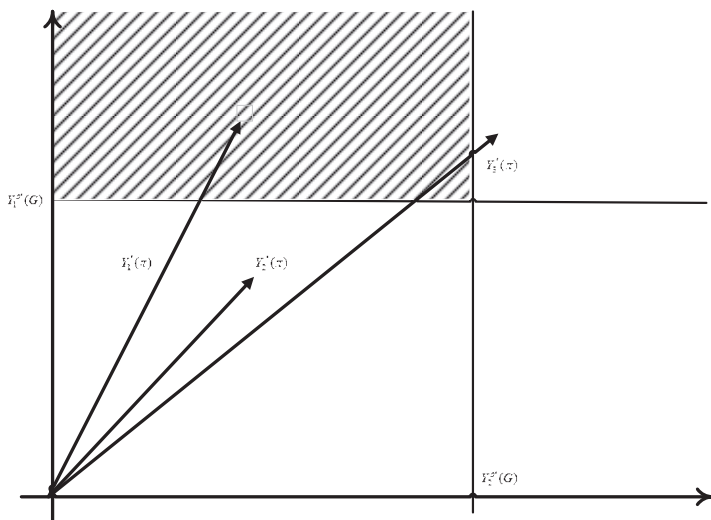


Рис. 1. Попадание случайного вектора  $\tilde{Y}'(\pi)$  в заданную область

Это событие – сложное, может быть раскрыто через ряд других событий, в частности – событий, состоящих в актуализации целей и событий, состоящих в получении требуемых результатов при достижении актуализированных целей. Каждое из таких событий, в свою очередь, тоже может раскрываться через события, имеющие вид, в частности, достижения цели (например, в случае числовых результатов –

вид попадания вектора в заданную область) и вид событий – смен целей, т.е. событий, состоящих в прекращении достижения одной цели и перехода к достижению другой цели. При наступлении такого рода событий осуществляется конверсия, а затем реализуется функционирование по новому плану функционирования.

$\tilde{A}_{2,e} \equiv \tilde{A}_{\tilde{R}^o}(\tilde{Y}^o(O_e), \tilde{Y}^{o,d}(O_e))$  – событие, состоящее в том, что объект обмена  $O_e$  будет введен в состав СТС за время и ресурсы других видов, характеристики которых описываются вектором  $\tilde{Y}^o(O_e)$  так, что не будут перерасходованы выделенные ресурсы и время, характеристики которых заданы вектором  $\tilde{Y}^{o,d}(O_e)$ . Возможность наступления события  $\tilde{A}_{1,e} \equiv \tilde{A}_{\tilde{R}}(\tilde{Y}(O_e), \tilde{Y}^d(O_e))$  целесообразно использовать в качестве показателя потенциала изделия.

$\varphi(O_e) \equiv Poss(\tilde{A}_{\tilde{R}}(\tilde{Y}(O_e), \tilde{Y}^d(O_e)))$  называют функцией потенциала  $O_e$  [11].

$W^C(O_e) \equiv Poss(\tilde{A}_{\tilde{R}^o}(\tilde{Y}^o(O_e), \tilde{Y}^{o,d}(O_e)))$  – ресурсоемкость и оперативность обмена.

Соответственно, если  $\tilde{A}_{1,e} \equiv \tilde{A}_{\tilde{R}}(\tilde{Y}(O_e), \tilde{Y}^d(O_e))$  не зависит от  $\tilde{A}_{2,e} \equiv \tilde{A}_{\tilde{R}^o}(\tilde{Y}^o(O_e), \tilde{Y}^{o,d}(O_e))$ , то показатель эффективности обмена  $E(O_e)$  может быть представлен, как  $E(O_e) = \varphi(O_e) \cdot W^C(O_e)$ .

Тем самым, нами получено выражение для показателя эффективности обмена в общей форме и для частного случая.

Пусть теперь имеется не один, а два объекта обмена –  $O_e, O_d$ .

Обозначим  $\Delta E(O_e, O_d) \equiv Poss(\tilde{A}_e / \tilde{A}_d) - Poss(\tilde{A}_d)$ , где:

$\tilde{A}_d$  – событие, состоящее в том, что не наступит событие  $\tilde{A}_d$ , т.е., что обмен объектом  $O_d$  не завершится с заданными результатами (описываемыми сложным событием, зависящим от возможностей актуализации целей), а также и за заданное время, с заданными затратами ресурсов.

Т.е.  $\tilde{A}_d = \tilde{A}_{\tilde{R}}(\tilde{Y}(O_d), \tilde{Y}^d(O_d)) \cap \tilde{A}_{\tilde{R}^o}(\tilde{Y}^o(O_d), \tilde{Y}^{o,d}(O_d))$ , т.е. событие, состоящее в том, что затраты ресурсов на обмен  $O_d$  не превзойдут ограничений на них и будут получены результаты в виде эффектов конверсии и функционирования с требуемыми характеристиками этих результатов.

$\tilde{A}_e / \bar{\tilde{A}}_d$  – событие, состоящее в том, что  $\tilde{A}_d$  не произошло, и при этом условии, произошло событие  $\tilde{A}_e$ , состоящее в том, что обмен объектом  $O_e$  завершится с заданными результатами (описываемыми сложным событием, зависящим от возможностей актуализации целей), а также и за заданное время, с заданными затратами ресурсов.

Т.е.  $\tilde{A}_e = \tilde{A}_R(\tilde{Y}(O_e), \tilde{Y}^d(O_e)) \cap \bar{\tilde{A}}_{R^o}(\tilde{Y}^o(O_e), \tilde{Y}^{o,d}(O_e))$ , т.е. что затраты ресурсов на обмен  $O_e$  не превзойдут и будет получены результаты в виде эффектов конверсии и функционирования с требуемыми характеристиками этих результатов.

В частном случае, если результаты обмен объектом  $O_e$  не зависят от результатов обмена объектом  $O_d$ , то

$\Delta E(O_e, O_d) \equiv E(O_e) - E(O_d)$  – показатель предпочтительности обмена с объектом  $O_e$  по сравнению с объектом  $O_d$ .

На практике альтернатив обмениваемых объектов не два, а более двух. Рассмотрим этот случай. Пусть имеется множество  $O^o \{O_g, g = \bar{1}, \bar{G}\}$  возможных альтернатив обмена.

Тогда  $O^*(O) \circ \text{Arg} \max_{g \in \bar{1}, \bar{G}} \{E(O_g)\}$  – наилучшая альтернатива конкурентного обмена на множестве  $O$  альтернатив обмена, т.е. такая альтернатива, которая обеспечивает наилучшее значение показателя эффективности обмена на множестве альтернатив обмена, отличных от исследуемой альтернативы  $O'$  (изделия, выпускаемого предприятием).

С использованием альтернативы  $O^*(O)$  и наилучшей из возможных величин эффективностей обмена  $E(O^*) \equiv \max_{g \in \bar{1}, \bar{G}} \{E(O_g)\}$  можно определить показатель конкурентоспособности выпускаемой альтернативы  $O'$  на множестве возможных альтернатив обмена:

$$K(O) \circ E(O') - E(O^*).$$

Введенный показатель конкурентоспособности – число, представляющее собой разницу в значениях показателей эффективности обмена для оцениваемой альтернативы  $O'$  обмена и наилучшего значения на множестве остальных альтернатив.

Если эта величина положительная, это означает, что оцениваемая альтернатива обмена лучше остальных на величину показателя

конкурентоспособности, а если отрицательная, то альтернатива не выдерживает конкуренции с другими альтернативами.

Обозначим этот вектор характеристик  $x_{jk} = \langle x_{i_{jk}}; i_{jk} = \overline{1, I_{jk}} \rangle$ .  $x_{jk} \in X$ , где  $X$  – множество допустимых значений характеристик. Для определения зависимости показателя конкурентоспособности предложена функция конкурентоспособности изделий  $K^u(x_j; O) = k^u(x_j)$ , сопоставляющая принимаемым решениям  $x_{jk} = \langle x_{i_{jk}}; i_{jk} = \overline{1, I_{jk}} \rangle$  значения  $K^u$  конкурентоспособности на заданном рынке, описанном  $O$ . В зависимости от решаемой задачи вид вектора может меняться и, в результате, меняется и вид решаемой задачи совершенствования конкурентоспособности изделий. Вектор  $x_{jk} = \langle x_{i_{jk}}; i_{jk} = \overline{1, I_{jk}} \rangle$  может, например, представлять собой набор целых чисел  $x_{i_{jk}}$  – номеров технических решений для заданного  $k$  – го изделия. Они могут быть перенумерованы и тогда, при необходимости, описаны одним целым индексом, например,  $n$ .

В качестве функции конкурентоспособности предприятия предлагается использовать  $K^n(x_j; O^n) = k^n(x_j)$ , где  $O^n$  – заданный рынок инвестиций, ресурсов и персонала.

**4. Задача исследования операционных и обменных свойств систем.** С использованием введенных показателей свойств конкурентоспособности, предпочтительности обмена, эффективности обмена, потенциала систем, эффективности функционирования систем возможно решить ряд актуальных задач, связанных с исследованием операционных и обменных свойств предприятий и выпускаемых ими изделий [2, 21-27]. Одна из таких задач – задача исследования показателей конкурентоспособности изделий ПВН и предприятия ОПК при модернизации предприятия ОПК. Сформулируем постановку задачи исследования операционных и обменных свойств предприятий и выпускаемых ими изделий на примере этой частной задачи. Обозначим:

$G^u(x_j)$  – множество возможных изменений целей использования изделия  $O_e$ , описываемого  $x_j$ ;

$\tilde{Y}(x_j, G^u(x_j))$  – совокупность характеристик эффектов конверсии и последующего (целевого) функционирования системы/изделия при всевозможных изменениях  $G^u(x_j)$  цели функционирования;

$\tilde{Y}^o(x_j, G^u(x_j))$  – совокупность характеристик требований к эффектам конверсии и к последующему (целевому) функционированию системы/изделия при всевозможных изменениях  $G^u(x_j)$  цели функционирования и ассоциированных с ними мер возможностей (в частности, вероятностей) событий, состоящих в переходе от достижения одной цели к другой, новой цели;

$\tilde{Y}(x_j, G^n(x_j))$  – совокупность характеристик эффектов конверсии и последующего (целевого) функционирования предприятия ОПК при всевозможных изменениях  $G^n(x_j)$  цели функционирования;

$\tilde{Y}^o(x_j, G^n(x_j))$  – совокупность характеристик требований к эффектам конверсии и к последующему (целевому) функционированию предприятия ОПК при всевозможных изменениях  $G^n(x_j)$  цели функционирования и ассоциированных с ними мер возможностей событий, состоящих в переходе от достижения одной цели к достижению другой, новой цели.

$\tilde{R}$  – случайное отношение между прогнозируемыми характеристиками  $\tilde{Y}(x_j, G^u(x_j))$  эффектов и требуемыми  $\tilde{Y}^o(x_j, G^u(x_j))$  характеристиками эффектов. Тогда:

$W^C(O_e) \circ Poss(\tilde{R}^o(\tilde{Y}^o(x_j), \tilde{Y}^{o,\Delta}(x_j)))$  – ресурсоемкость и оперативность обмена, где

$\tilde{Y}^{ou}(x_j)$  – совокупность характеристик эффектов – затрат ресурсов и эффектов – затрат времени на обмен изделием, описываемым  $x_j$ ;

$\tilde{Y}^{ou,\Delta}(x_j)$  – совокупность требований к характеристикам эффектов – затрат ресурсов и требований к эффектам – затратам времени на обмен изделием, описываемым  $x_j$ ;

$\tilde{Y}^{on}(x_j)$  – совокупность характеристик эффектов – затрат ресурсов и эффектов – затрат времени на обмен с исследуемым предприятием;

$\tilde{Y}^{on.o}(x_j)$  – совокупность требований к характеристикам эффектов – затрат ресурсов и требований к эффектам – затратам времени на обмен с исследуемым предприятием;

$H_k^n(x_{jk})$  –  $k$  – е изделие, выпускаемое заданным предприятием

ОПК при условии принятия плана  $x_{jk}$ ;

$X_k = \{x_{jk}, j = \overline{1, J}\}$  – множество возможных планов модернизации;

$\Pi_p(H_k^n)$  – производитель и поставщик  $k$  – го изделия;

$M^И = \langle m_p^n; p = \overline{1, P} \rangle$  – программные мероприятия внедрения технологических, технических, организационных, финансовых решений, которые могут быть включены в план модернизации:

$$\pi_l^И = M_l, A \dot{I} M_l \times M_l, M_l = \langle m_l^И, l = \overline{1, L} \rangle;$$

$y_{km}$  – множество векторов решений, описывающих изделия  $O_{kmn}^g(y_{kmn}) \hat{I} O_{km}^g(y_{km})$ , где  $O_{km}^g$  –  $m$  – е изделие с параметрами  $O_{kmn}^g(y_{kmn})$  из множества  $G_k^g$  конкурентных изделию  $H_k^n(x_{jk})$  изделий  $g$  – х производителей, где  $g \in G$ , с различными возможными характеристиками  $O_{kmn}^g(y_{kmn})$ ,  $O^u = \{O_{km}^g, g = \overline{1, G}\}$ ;

$S_{m_l}(\pi_l^И) = \{S_{m_l}\}$ ;  $S_{m_l} : M_l = \langle m_l^И, l = \overline{1, L} \rangle$  – возможные способы реализации мероприятий  $M^И$  и прогнозируемые результаты процесса внедрения технических решений для каждого способа реализации каждого из ПМВ;

$P_{G^u}$  – меры возможности актуализации целей из  $G^u$ ;

$P_{G^n}$  – меры возможности актуализации целей из  $G^n$ ;

$\Theta(H_k^n(x_{jk}), G^u)$  – графики модернизируемой деятельности заказчика с использованием внедренных для использования на практике изделий ПМВ и графики реализации деятельности до такого внедрения;



$R_{G^u}$  – характеристики ограничений на ресурсы, которые могут быть израсходованы в соответствии с целями из  $G^u$  ;

$R_{G^n}$  – характеристики ограничений на ресурсы, которые могут быть израсходованы в соответствии с целями из  $G^n$  ;

$C(x_{jk})$  – оптимальная стоимость изделия при  $x_{jk}$  .

Принимаются следующие упрощающие допущения:

1. Цели обмена после его начала не могут меняться.
2. План представляет собой вектор  $x_{jk} = \langle x_{i_{jk}} ; i_{jk} = \overline{1, I_{jk}} \rangle$  целых чисел  $x_{i_{jk}}$  – номеров решений для заданного  $k$ -го изделия.

3. Потенциал изделий  $\varphi(x_j; O^u)$ , ресурсоемкость и оперативность  $W^C(x_j; O^u)$  обмена изделиями и эффективность обмена изделиями  $E(x_j; O^u)$  стохастически не зависят друг от друга, от планов выпуска поставщиком  $\Pi_p(H_k^n)$  других изделий  $H_l^n$ , поставщик и производитель выступают в одном лице  $\Pi_p(H_k^n)$ , рассматривается продажа изделий одного вида одному заданному потребителю ПВН.

4. Потенциал предприятия  $\varphi(x_j; O^n)$  ОПК, ресурсоемкость и оперативность  $W^C(x_j; O^n)$  обмена с предприятием ОПК и эффективность этого обмена  $E(x_j; O^n)$  стохастически не зависят друг от друга и от действий других предприятий ОПК на том же рынке инвестиционных и других ресурсов, полуфабрикатов и персонала.

5. Модели эффектов  $\tilde{Y}(x_j, G^u(x_j))$ ,  $\tilde{Y}(x_j, G^n(x_j))$ ,  $\tilde{Y}^{ou}(x_j)$ ,  $\tilde{Y}^{on}(x_j)$  и модели изменения требований  $\tilde{Y}^o(x_j, G^u(x_j))$ ,  $\tilde{Y}^{ou, \Delta}(x_j)$ ,  $\tilde{Y}^{on, \Delta}(x_j)$  к эффектам в зависимости от целей известны (в виде соответствующих зависимостей, получаемых с использованием моделей).

Тогда задача исследования показателей конкурентоспособности представляется следующим образом:

Пусть заданы:

$$M^H, S_m(\pi_l^H), G^u, G^n, H_k^n, \tilde{Y}(x_j, G^u(x_j)), \tilde{Y}(x_j, G^n(x_j)), \tilde{Y}^{ou}(x_j), \tilde{Y}^{on}(x_j), \tilde{Y}^o(x_j, G^u(x_j)), \tilde{Y}^{ou, \Delta}(x_j), \tilde{Y}^{on, \Delta}(x_j), X_k, P_{G^u}, \Theta(H_k^n(x_{jk}), G^u), R_{G^u}. \quad (1)$$

Требуется найти:

$$1. X_k^{n*} \subseteq X_k^n, C(x_{jk}): (x_{jk}^{n*} \in X_k^{n*}) \leftrightarrow x_{jk}^{n*}: K^u(x_j; O^u) \geq 0, \\ K^n(x_j; O^n) \geq 0; \quad (2)$$

$$2. x_{jk}^{opt} \in X_k^{n*}, C(x_{jk}): \\ \langle K^u(x_j; O^u), K^n(x_j; O^n) \rangle = \max_{x_j \in X} \{ \langle K^u(x_j; O^u), K^n(x_j; O^n) \rangle \}; \quad (3)$$

$$\text{где } K^u(x_j, C(x_{jk}); O^u) \geq 0, K^n(x_j, C(x_{jk}); O^n) \geq 0 \text{ и} \quad (4)$$

$$C^*(x_{jk}) = \text{Arg} \max_{\substack{C_v(x_{jk}) \in \mathbb{R} \\ v=1, V_c}} \{ \langle K^u(x_j, C_v(x_{jk}); O^u), K^n(x_j, C_v(x_{jk}); O^n) \rangle \} \quad (5)$$

Выражения (1)—(5) задают математическую модель задачи исследования конкурентоспособности изделий ПВН и предприятий ОПК при их модернизации. Для ее решения необходимо разработать ряд моделей (описанных при постановке задачи как заданные), разработать методы и информационные технологии расчета показателей конкурентоспособности, потенциала, эффективности обмена и эффективности функционирования. Они должны позволять, задаваясь исходными данными, получать выражения для расчета эффектов реализации различных процессов целевого функционирования изделия, предприятия ОПК, их конверсии при изменении целей как с использованием передаваемого изделия ПВН, так и без него, а также с использованием конкурирующих изделий. Для успешного решения представленной в качестве примера и других задач исследования операционных и обменных свойств систем предложено представить эти исследовательские задачи (вопросы, на которые следует найти ответы) в виде системы из элементов задачи и их связей, таких, что за счет использования элементов задачи и связей между ними задача может быть решена. Такую систему элементов решаемой задачи и связей между ними предложено называть *моделью задачи*. Процесс решения задачи связывается с оперированием элементами модели задачи и отношениями между ними – так, чтобы была получена требуемая модель – результат решения задачи. Оперирование моделями предлагается основывать на разрабатываемом математическом аппарате расширенных графов [4, 11]. *Автоматизация моделирования достигается* за счет использования уже разработанных элементов моделей задач и отношений между ними (разработанных моделей, методов, комплексов моделей, связей ме-

жду ними) для порождения необходимых новых частей моделей решаемой задачи.

**5. Заключение.** В статье рассмотрены операционные и обменные свойства систем, определены показатели таких свойств и, на основе рассмотрения примера одной из типовых задач, формализованы задачи, решаемые при исследовании операционных и обменных свойств систем. Обоснована концепция исследования обменных свойств систем на основе исследования их операционных свойств, реализуемых в результате обмена. Предложена унифицированная схема оценивания показателей операционных и обменных свойств систем, основанная на оценивании меры соответствия расширенных случайных графов, описаны некоторые частные случаи использования этой схемы оценивания показателей операционных и обменных свойств. С использованием полученных результатов выполнена постановка задач исследования операционных и обменных свойств систем. Полученные результаты позволяют перейти к разработке моделей и методов моделирования, позволяющих унифицировать элементы задач исследования операционных и обменных свойств систем, автоматизировать их решение с использованием современных информационных технологий.

### Литература

1. *Батоврин В.К.* Современное состояние международных стандартов системной и программной инженерии // Бизнес-информатика. 2009 г. №3(09). С. 3-10.
2. *Брезгин В.С., Буравлев А.И., Буренок В.М. и др.* Методология программно-целевого планирования развития системы вооружения на современном этапе // М.: Издательский дом «Граница». 2012.
3. *Иоффе А.Я., Марков В.И., Петухов Г.Б. и др.* Вероятностные методы в прикладной кибернетике: Уч. пособие / Под ред. Юсупова Р.М. // Л. 1976. 424 с.
4. *Гейда А. С., Лысенко И.В., Карачев А.А.* Методика оценивания конкурентоспособности продукции военного назначения и выпускающих ее предприятий на основе исследования операционных свойств систем // Оборонная техника. М.: ФГУП НТЦ «Информтехника».
5. *Гейда А. С.* Моделирование при исследовании технических систем: использование некоторых расширений теории графов //Труды СПИИРАН. 2011. № 17. С. 234–245.
6. *Гейда А. С.* Оценивание эффектов функционирования организационно-технических систем: концепция автоматизации // Труды СПИИРАН. 2009. №11. С. 63–80.
7. *Гейда А.С., Лысенко И.В.* Автоматизация решения задач исследования потенциала систем и эффективности их функционирования // Труды СПИИРАН. 2012. № 22. С.260–281.
8. *Гейда А. С., Лысенко И. В.* Алгоритм оценивания качества обслуживания технической системы // Известия ВУЗов. Серия приборостроение. СПб. 1992. №3–4. С. 3–8.
9. *Гейда А. С., Лысенко И. В.* Задачи исследования потенциала социально-экономических систем // Труды СПИИРАН. СПб. 2009. № 10. С. 63–84.
10. *Гейда А. С., Лысенко И. В., Седлов Е. В.* Методика планирования инновационной деятельности с учетом приоритетности создаваемых изделий // Информацион-

- ные технологии моделирования и управления. Воронеж: Издательство «Научная книга». 2011. № 7(72). С. 747–754.
11. *Гейда А. С., Лысенко И. В., Силла Е. П.* Задачи исследования качества и потенциала систем реализации целевых программ // Информационно-управляющие системы. СПб. 2011. № 4. С. 77–83.
  12. *Гейда А. С., Лысенко И. В.* Использование расширенных графов для автоматизации решения задач исследования потенциала систем и эффективности их функционирования // Современные проблемы прикладной информатики. Сб. науч. трудов научно-практической конференции по современным проблемам прикладной информатики. 23–25 мая 2012 г. СПб. 2012. С. 9–12.
  13. *Гейда А. С., Силла Е. П.* Проблема автоматизации решения задач исследования потенциала систем и эффективности их функционирования // Современные проблемы прикладной информатики. Сб. науч. трудов научно-практической конференции по современным проблемам прикладной информатики. 23–25 мая 2012 г. СПб. 2012. с. 68–72.
  14. *Гранкин Б. К., Козлов В. В., Лысенко И. В.* Принципы декомпозиции сложных объектов в проектных исследованиях // Мехатроника, автоматизация, управление. 2008. №6. С. 1–6.
  15. *Гранкин Б. К., Козлов В. В., Лысенко И. В.* Принципы моделирования, декомпозиции, агрегирования и координации в системных исследованиях технологических комплексов // Научный вестник Московского государственного технического университета гражданской авиации. 2010. №161. С. 124–130.
  16. *Лысенко И. В.* Нечеткая оптимизация: новый подход к постановке и решению задач // Труды СПИИРАН. 2004. Т. 1. Вып. 2. С. 90–118.
  17. *Лысенко И. В.* Анализ и синтез сложных технических систем. Часть 1. Анализ и синтез систем обеспечения готовности ракет-носителей и космических аппаратов к запуску (основы теории) // М.: Воениздат. 1995. 368 с.
  18. *Лысенко И. В.* Оценивание качества технологических процессов: использование аппроксимирующих вероятностных моделей // Труды СПИИРАН. 2006. №3. С.207–216.
  19. *Мизес Л.* Человеческая деятельность: Трактат по экономической теории / 2-е испр. изд. // Челябинск: Социум. 2005. 878 с.
  20. *Петухов Г. Б., Якунин В. И.* Методологические основы внешнего проектирования целенаправленных процессов и целеустремленных систем // М.: АСТ. 2006 г. 504 с.
  21. *Минько Э.В., Минько А.Э., Смирнов В.П.* Качество и конкурентоспособность продукции и процессов // СПб. ГУАП. 2005. 240 с.
  22. *Чистов Л. М.* Теория, методологические основы и алгоритм эффективного управления социально-экономическими системами // СПб: Астерион. 2004.
  23. *Ильичев А.В.* Основы анализа эффективности и рисков целевых программ: Истоки, формализация, реализация // М.: Научный мир. 2009. 303 с.
  24. *Кузин П.И.* Оценка конкурентоспособности предприятия оборонно-промышленного комплекса // Вооружение и экономика. 2012. №3.
  25. *Морозов Л.М., Петухов Г.Б., Сидоров В.Н.* Методологические основы теории эффективности / Ред. Юсупов Р.М. // Л.: ВИКИ им. А.Ф.Можайского. 1982. 236 с.
  26. *Райзберг Б.А., Лобко А.Г.* Программно-целевое планирование и управление // М. ИНФРА-М. 2002. 428 с.
  27. *Чернов М.И.* Военно-экономический потенциал государства и роль оборонно-промышленного комплекса в его обеспечении // Армия и Общество. М. 2008 №3.
  28. *Щедровицкий Г. П.* Избранные труды // М.: Шк. Культ. Полит. 1995. 800 с.
  29. *Joe Zhu.* Quantitative Models for Performance Evaluation and Benchmarking: Data Envelopment Analysis with Spreadsheets and DEA Excel Solver: International Series // Springer Verlag. 2002. 328 p.

30. Checkland P. *Systems Thinking, Systems Practice: Includes a 30-Year Retrospective* // Wiley&Sons. NY. USA. 1999.

## References

1. Batovrin V.K. [Current state of the international standards of system and program engineering]. *Buiseness-informatika – Business informatics*. 2009. №3 (09). pp. 3-10. (In Russ.).
2. Brezgin V.S., Buravlev A.I., Burenok V.M. *Metodologija programno-celevogo planirovaniya razvitiya sistemy vooruzheniya na sovremennom jetape* [Methodology of program and object planning of development of armaments systems at the present stage]. Moscow, «Granitsa». 2012. (In Russ.).
3. Ioffe A.Y., Markov V.I., Petuhov G.B. *Verojatnostnye metody v prikladnoj kibernetike: Uch. posobie* [Probabilistic methods in applied cybernetics. Edited by R.M. Yousoupov]. Leningrad. 1976. 424 p. (In Russ.).
4. Geyda A.S., Lysenko I.V., Karachev A.A. [Competitiveness of armaments and military enterprises estimation based on operational properties of systems research]. *Oboronnaya tehnika – Defense equipment*. Moscow. FGUP NTZ «Infortehnika». (In Russ.).
5. Geyda A.S. [Modeling for research of technical systems problems: usage of graph theory extensions]. *Trudy SPIIRAN – SPIIRAS proceedings*. 2011. vol. 17. pp. 234–245. (In Russ.).
6. Geyda A.S. [Estimation of techno-organizational systems functioning effects: concept of automation]. *Trudy SPIIRAN – SPIIRAS proceedings*. 2009. vol. 11. pp. 63–80.
7. Geyda A.S., Lysenko I.V. [Automation of the solution of research problems of systems potential, capabilities and efficiency of system functioning]. *Trudy SPIIRAN – SPIIRAS proceedings*. 2012. vol. 22. pp. 260–281. (In Russ.).
8. Geyda A.S., Lysenko I.V. [Algorithm of estimation of quality of service of technical system]. *Izvestiya VUZov. Priborostroyeniye – Proceedings of higher education institutions. Series “instrument making”*. 1992. vol. 3–4, pp. 3–8. (In Russ.).
9. Geyda A.S., Lysenko I.V. [Research problems of social-economic systems capabilities and potential]. *Trudy SPIIRAN – SPIIRAS proceedings*. 2009. vol. 10. pp. 63–84. (In Russ.).
10. Geyda A.S., Lysenko I.V., Sedlov E.V. [Technique of planning of innovative activity taking into account priority of the created products]. *Informacionnyye tehnologii modelirovaniya I upravleniya – Information technologies of modeling and management*. Voronezh: Nauchnaya Kniga. 2011. vol. 7(72). pp. 747-754. (In Russ.).
11. Geyda A.S., Lysenko I.V., Silla E.P. [Research problems of quality, capabilities and potential of systems of implementation of public programs]. *Informacionno-Upravlyayushiy sistemy – Management information systems*. 2011. vol. 4. pp. 77–83. (In Russ.).
12. Geyda A.S., Lysenko I.V. [Usage of graph theory extensions for automation of the solution of research problems of systems potential and capabilities and efficiency of systems functioning]. *Sovremennye problemy prikladnoj informatiki. Sb. nauch. trudov nauchno-prakticheskoy konferencii po sovremennym problemam prikladnoj informatiki* [Modern problems of applied informatics]. Saint-Petersburg. 2012. pp. 9–12. (In Russ.).
13. Geyda A.S., Silla E.P. [Problem of automation of the solution of research problems of systems capabilities, potential and efficiency of their functioning]. *Sovremennye problemy prikladnoj informatiki. Sb. nauch. trudov nauchno-prakticheskoy konferencii po sovremennym problemam prikladnoj informatiki* [Modern problems of applied informatics]. Saint-Petersburg. 2012. pp. 68–72. (In Russ.).
14. Grankin B.K., Kozlov V.V., Lysenko I.V. [The principles of decomposition of complex objects in design researches]. *Mehatronica, avtomatizaciyja, upravleniye – Mechatronics, automation, management*. Moscow. 2008. vol. 6. pp. 1–6. (In Russ.).
15. Grankin B.K., Kozlov V.V., Lysenko I.V. [Principles of modeling, decomposition, aggregation and coordination in system researches of technological systems]. *Nauchnyui vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo tehniceskogo universiteta*

- grazhdanskoj aviacii – Scientific bulletin of the Moscow state technical university of civil aviation*. Moscow. 2010. vol. 161. pp. 124–130. (In Russ.).
16. Lysenko I.V. [Fuzzy optimization: new approach to statement and solution of research problems]. *Trudy SPIIRAN – SPIIRAS proceedings*. 2004. vol. 2. pp. 90–118. (In Russ.).
  17. Lysenko I.V. *Analiz i sintez slozhnyh tehniceskikh sistem. Chast' 1. Analiz i sintez sistem obespechenija gotovnosti raket-nositel' i kosmicheskikh apparatov k zapusku (osnovy teorii)* [Analysis and synthesis of complex technical systems. Part 1. The analysis and synthesis of readiness ensuring systems of rocket carriers and spacecrafts to their launch (a theory basis)]. Moscow. Voenizdat. 1995. 368 p. (In Russ.).
  18. Lysenko I.V. [Estimation of quality of technological processes: usage of approximate probabilistic models]. *Trudy SPIIRAN – SPIIRAS proceedings*. 2006. vol. 3. pp. 207–216. (In Russ.).
  19. Mises L. *Chelovecheskaja dejatel'nost': Traktat po jekonomicheskoj teorii, 2-e ispr. izd* [Human action. A treatise on economics]. Chelyabinsk. Socium publishing. 2005. 878 p. (In Russ.).
  20. Petuhov G.B., Yakunin V.I. *Metodologicheskie osnovy vneshnego proektirovaniya celenapravlennyh processov i celeustremennyh sistem* [Methodological foundations of purposeful processes and purposeful systems design]. Moscow: ACT publishing. 2006. 504 p. (In Russ.).
  21. Minko E.V., Minko A.E., Smirnov V.P. *Kachestvo i konkurentosposobnost' produkcii i processov* [Quality and competitiveness of products and processes]. Saint-Petersburg. GUAP. 2005. 240 p. (In Russ.).
  22. Chistov L.M. *Teoriya, metodologicheskie osnovy i algoritm jeffektivnogo upravlenija social'no-jekonomicheskimi sistemami* [Theory, methodological foundation and algorithm of effective management of social and economic systems]. Saint-Petersburg: Asterion publishing. 2004. (In Russ.).
  23. Pilychev A.V. *Osnovy analiza jeffektivnosti i riskov celevykh programm: Istoki, formalizacija, realizacija* [Foundations of the analysis of efficiency and risks of public programs: Sources, formalization, realization]. Moscow. Nauchnyi mir. 2009. 303 p. (In Russ.).
  24. Kuzin P.I. [Assessment of competitiveness of the enterprise of defense industry complex]. *Vooruzhenie I economica – Armaments and economy*. vol. 3. 2012. (In Russ.).
  25. Morozov L.M., Petuhov G.B., Sidorov V.N. *Metodologicheskie osnovy teorii jeffektivnosti. Red. Jusupov R.M.* [Methodological foundations of the efficiency theory. Edited. By Yousouпов R.M.]. Leningrad. 1982. 236 p. (In Russ.).
  26. Raizberg B.A., Lobko A.G. *Programmno-celevoe planirovanie i upravlenie* [Program and object planning and management]. Moscow. Infra-M publishing. 2002. 428 p. (In Russ.).
  27. Chernov M.I. [Military-economic capabilities and potential of the state and role of defense industry complex in its delivery]. *Armiya I obshestvo – Army and society*. Moscow. vol. 3. 2008. (In Russ.).
  28. Shedrovitsky G.P. *Izbrannye trudy* [Chosen works]. Moscow. Shkola. Kultura. Politika. 1995. 800 p. (In Russ.).
  29. Joe Zhu. *Quantitative Models for Performance Evaluation and Benchmarking: Data Envelopment Analysis with Spreadsheets and DEA Excel Solver: International Series*. Springer Verlag. 2002. 328 p.
  30. Checkland P. *Systems Thinking, Systems Practice: Includes a 30-Year Retrospective*. Wiley&Sons. NY. USA. 1999.

**Гейда Александр Сергеевич** — к-т техн. наук, доцент, старший научный сотрудник лаборатории информационно-аналитических технологий в экономике Санкт-Петербургского института информатики и автоматизации РАН (СПИИРАН). Область научных интересов: анализ и синтез организационно-технических, социально-экономических систем, оценивание потенциала и эффективности их функционирования.

Число научных публикаций — 121. geida@iias.spb.su, СПИИРАН, 14-я линия В.О., д. 39, г. Санкт-Петербург, 199178, РФ; р.т. +7(812)328-3257, факс +7(812)328-4450.

**Geida Alexander Sergeevich** — Ph.D., associate professor, senior researcher, Laboratory for Information-Analytic Technologies for Economics, St. Petersburg Institute for Informatics and Automation of RAS (SPIIRAS). Research interests: analysis and synthesis of techno-organizational, socio-economical systems, their functioning efficiency estimation, estimation of techno-organizational, socio-economical systems capabilities under risk conditions. The number of publications — 121. geida@iias.spb.su; SPIIRAS, 39, 14-th Line V.O., St. Petersburg, 199178, Russia; office phone +7(812)328-3257, fax +7(812)328-4450.

**Исмаилова Зульфия Флюровна** — преподаватель ФГБОУ ВПО «ОмГУ им. Ф.М. Достоевского». Область научных интересов: автоматизированное моделирование в задачах анализа и синтеза сложных систем, теория графов, алгоритмы на графах. Число научных публикаций — 11. Plys2004@mail.ru, ОмГУ, проспект Мира, д. 55-А, г. Омск, 644077, РФ. р.т. +7(3812)46-66.

**Ismailova Zulphia Flurovna** — assistant professor of Omsk F. M. Dostoevsky State University. Research interests: automated modeling for solving complex systems analysis and design problems, graph theory, algorithms on graphs. The number of publications — 11. Plys2004@mail.ru, Omsk State University, prospect Mira, 55-A, Omsk, 644077, Russian federation; office phone +7(3812)46-66.

**Клитный Игорь Владимирович** — научный сотрудник главного управления глубоководных исследований МО РФ. Область научных интересов: моделирование сложных организационно-технических систем, исследование совершенства функционирования предприятий ОПК, исследование конкурентоспособности продукции военного назначения. Число научных публикаций — 7. Plys2004@mail.ru, 14-я линия В.О., д. 39, г. Санкт-Петербург, 199178, РФ; р.т. +7(812)328-3257, факс +7(812)328-4450.

**Klitnyu Igor Vladimirovich** — researcher, main headquarter of deep-water researches ministry of defense of Russian Federation. Research interests: modeling of complex organizational and technical systems, research of military industrial complex enterprises improvement, competitiveness of military products research. The number of publications — 7. Plys2004@mail.ru, SPIIRAS, 39, 14-th Line V.O., St. Petersburg, 199178, Russia; office phone +7(812)328-3257, fax +7(812)328-4450.

**Лысенко Игорь Васильевич** — д-р техн. наук, профессор, заведующий лабораторией информационно-аналитических технологий в экономике Федерального государственного бюджетного учреждения науки Санкт-Петербургского института информатики и автоматизации РАН (СПИИРАН). Область научных интересов: моделирование, информационно-аналитические технологии, экономический анализ функционирования организационно-технических систем, программно-целевое планирование и управление, разработка теории нечетких чисел и функций с приложениями. Число научных публикаций — 243. ily@iias.spb.su; СПИИРАН, 14-я линия В.О., д. 39, г. Санкт-Петербург, 199178, РФ; р.т. +7(812)328-3257, факс +7(812)328-4450.

**Lysenko Igor Vasilievich** — Ph.D., Dr. Sci., professor, head of Laboratory for Information-Analytic Technologies for Economics chief, St. Petersburg Institute for Informatics and Automation of RAS (SPIIRAS). Research interests: modeling, information-analytic technologies, economic analysis of techno-organizational systems functioning, fuzzy numbers theory and applications. The number of publications — 243. ily@iias.spb.su; SPIIRAS, 39, 14-th Line V.O., St. Petersburg, 199178, Russia; office phone +7(812)328-3257, fax +7(812)328-4450.

## РЕФЕРАТ

*Гейда А.С., Исмаилова З.Ф., Клитный И.В., Лысенко И.В.* **Задачи исследования операционных и обменных свойств систем.**

В статье на примере задач, возникающих при исследовании свойств продукции военного назначения, выпускающейся на предприятиях оборонно-промышленного комплекса, описаны задачи исследования операционных и обменных свойств сложных технических систем. Важнейшими особенностями таких задач является то, что исследуемые свойства следует оценивать в условиях отсутствия массовости выпуска и обмена изделий продукции военного назначения и отсутствия стационарности функционирования выпускающих их предприятий, а также то, что при исследовании необходимо использование прогнозных математических моделей. При этом, такое исследование возможно и целесообразно осуществить, опираясь на исследование продукции военного назначения и предприятий оборонно-промышленного комплекса, функционирование которых описывается, как функционирование сложных систем.

Операционные свойства систем характеризуют результаты (эффекты) функционирования систем (к операционным свойствам, в частности, отнесены эффективность функционирования системы для достижения заданной цели, потенциал системы), а обменные свойства характеризуют обмен результатами функционирования (к таким свойствам отнесены конкурентоспособность изделия, конкурентоспособность предприятия). Показано, что обменные свойства систем целесообразно изучать, используя концепцию и методологию оценивания операционных свойств систем.

Введены показатели оценивания операционных свойств и на их основе введены показатели обменных свойств систем, допускающие свое прогнозное оценивание на прогнозных математических моделях, что дает возможность решать спектр актуальных задач исследования операционных и обменных свойств систем. С использованием полученных результатов выполнена постановка задач исследования операционных и обменных свойств систем.



## SUMMARY

*Geida A.S., Ismailova Z.F., Klitnuy I.V., Lysenko I.V.* **Operational and exchange properties of systems research problems.**

In article, on the example of the tasks arising at research of products properties, created at the enterprises of a military-industrial complex, problems of operational and exchange properties of complex technical systems research are investigated.

The most important features of such research are: 1) Properties under research estimated in the conditions of absence of mass character of products exchange and lack of uniformity of functioning of the enterprises. 2) Necessity to use prognostic mathematical models. It is possible to carry out such research, relying on research of products and the defense industry enterprises, as complex systems.

Operational properties of systems characterize results (effects) of activity with use of systems (operational properties, in particular, are efficiency of system functioning for achievement of the given objective, system potential, system capabilities).

Exchange properties characterize properties of exchange of results of activity (exchange properties, in particular, are competitiveness of a product, competitiveness of the enterprise). As shown it is expedient to study exchange properties of systems, using the concept and methodology of estimation of operational properties of systems. Indicators for operational properties estimation proposed and on their basis indicators for exchange properties of the systems suggested.

Indicators suggested in such a way that their estimation suppose usage of mathematical models. This gives the chance to solve a range of research problems of operational and exchange properties of systems. On the example of one research problem statement of research problems of operational and exchange properties of systems provided.

И.А. ГРОМОВ

## ОЦЕНКА И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕНЕВОЙ ЭКОНОМИКИ НА СОСТОЯНИЕ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА

---

*Громов И.А. Оценка и прогнозирование влияния теневой экономики на состояние экономической безопасности Санкт-Петербурга.*

**Аннотация.** В статье представлены результаты прогнозирования состояния экономической безопасности Санкт-Петербурга. Проводится моделирование и прогнозирование социально-экономических показателей, характеризующих экономическую безопасность региона, в зависимости от ожидаемых изменений величины теневой экономики на прогнозном периоде.

**Ключевые слова:** теневая экономика, экономическая безопасность, оценка, прогнозирование.

*Gromov I.A. Evaluation and prediction of the influence of the shadow economy on economic security of St. Petersburg.*

**Abstract.** The article presents the results of forecasting of economic security for St. Petersburg. We carry out modeling and predicting of socio-economic indicators in the region's development depending on the expected changes in the value of the shadow economy over the forecast period.

**Keywords:** shadow economy, economic security, score, prediction.

---

**1. Введение.** Главная функция системы безопасности – противодействие угрозам – выражается в создании инструментов и механизмов, обеспечивающих защиту объектов и субъектов от потенциально возможных и реально существующих угроз. Оценка угроз экономической безопасности страны и регионов или хозяйственных систем более низкого уровня является одним из важнейших инструментов управления в системе обеспечения экономической безопасности.

Одной из наиболее существенных угроз экономической безопасности региона является развитие теневого сектора экономики. Теневая экономика является одним из проявлений общей криминализации общества и относится к внутренним угрозам экономической безопасности региона [1].

В рамках проводимого исследования предполагается оценить объем теневой экономики в Санкт-Петербурге, а также его влияние на показатели-индикаторы экономической безопасности региона.

Следует отметить, что в экономической литературе встречается различный перечень показателей-индикаторов экономической безопасности региона и установленных для них пороговых значений, выход за пределы которых вызывает угрозу экономической безопасности. В рамках статьи мы использовали показатели и соответствующие им

предельные значения, представленные в работах [2, 3]. Перечень выбранных для исследования показателей, а также установленные пороговые и фактические за 2013 год значения приведены в таблице 1.

Таблица 1. Сравнение фактических и пороговых значений индикаторов экономической безопасности Санкт-Петербурга в 2013 году

Индикатор	Единица измерения	Фактическое значение	Пороговое значение
Валовой региональный продукт	млн руб.	2 599 700	-
Индекс физического объема ВРП	в % к предыдущему году	103,5	70
Индекс-дефлятор ВРП	%	106,5	-
ВРП на душу населения	тыс. руб.	511,8	334,3
Уровень безработицы	%	1,50	7
Уровень зарегистрированной безработицы	%	0,30	7
Децильный коэффициент	раз	20,2	8
Доля населения с доходами ниже величины прожиточного минимума	%	8,3	8-10
Доля заработной платы в денежных доходах населения	%	49,4	60-65
Доля обрабатывающей промышленности в промышленном производстве	%	90,4	70
Норма накопления	%	14,1	25
Ожидаемая продолжительность жизни населения	лет	73,4	70
Количество преступлений на 100 тыс. населения	ед.	1 096	5 000
Среднемесячная заработная плата	руб.	36 848	18 000

Для 12-ти из 14-ти индикаторов установлены пороговые значения и, как видно, всего по трем из них текущие значения хуже пороговых (в таблице 1 выделены жирным). Найдем объем теневого сектора в экономике, при котором по большинству индикаторов, характеризующих экономическую безопасность Санкт-Петербурга, в 2013 году сложилась благоприятная ситуация.

Оценку объема теневой экономики в 2013 году получим расчетным путем ввиду отсутствия этого значения в официальной статистике.

Для оценки теневой составляющей экономики использован метод расхождений или балансовый метод. Данный подход измерения теневой экономики основан на сопоставлении взаимосвязанных показателей, с разных точек зрения, определяющих величину исследуемого индикатора. Несовпадение количественных характеристик соответствующих показателей позволяет выдвигать гипотезы о причинах расхождений и величине необходимой поправки [4].

В данной статье в качестве исследуемого индикатора используется обобщенный показатель экономической деятельности региона – валовой региональный продукт – рассчитанный двумя способами: производственным и распределительным.

Объем теневой экономики в рамках данной работы будет определяться величиной скрытой добавленной стоимости, которая является частью ВРП, рассчитываемого производственным методом.

Разница между значениями ВРП, полученными разными методами, послужит оценкой объема скрытой добавленной стоимости.

Доля скрытой добавленной стоимости в общем объеме ВРП рассчитывается следующим образом:

$$D_t^{СДС} = \frac{ВРП_t^{np} - ВРП_t^p}{ВРП_t^{np}} \cdot 100\%, \quad (1)$$

где  $D_t^{СДС}$  — доля скрытой добавленной стоимости в общем объеме ВРП в году  $t$  (%);

$ВРП_t^{np}$  — ВРП в году  $t$ , рассчитанный производственным методом (млн руб.);

$ВРП_t^p$  — ВРП в году  $t$ , рассчитанный распределительным методом (млн руб.).

Расчет ВРП в 2013 году (Значение ВРП в Санкт-Петербурге в 2013 году в официальной статистике отсутствует) производственным и распределительным методами осуществлен на средствах автоматизированного информационного комплекса «Прогноз СПб» (АИК «Прогноз СПб»), функционирующего в составе Интегрированной системы информационно-аналитического обеспечения исполнительных органов государственной власти Санкт-Петербурга (ИС ИАО) [5]. Согласно постановлению Правительства

Санкт-Петербурга от 24 апреля 2014 года N 279, ИС ИАО является государственной информационной системой Санкт-Петербурга. Оператором Системы является Санкт-Петербургское государственное унитарное предприятие "Санкт-Петербургский информационно-аналитический центр".

АИК «Прогноз СПб» предназначен для анализа и вариантного прогнозирования на средне- и долгосрочную перспективу социально-экономического развития Санкт-Петербурга на макроэкономическом уровне в целях информационно-аналитической поддержки процессов выработки принятия управленческих решений, а также для решения задач нормативно-целевого прогнозирования. Моделирующий комплекс позволяет решать задачи «Что будет, если...?» и «Что надо, чтобы...?».

В основу функционирования АИК «Прогноз СПб» заложена имитационная модель социально-экономической деятельности региона, отражающая процессы образования, перераспределения и использования материальных, финансовых и трудовых ресурсов Санкт-Петербурга в их причинно-следственной взаимосвязи [6]. Данная модель построена по принципу модели системной динамики Д. Форрестера [7].

Имитационная модель социально-экономической деятельности региона относится к классу моделей системной динамики, то есть моделей, воспроизводящих поведение исследуемой системы на основе информации о ее элементах и связях между ними. Построение имитационной модели социально-экономического развития Санкт-Петербурга базируется на концепции «баланс балансов», которую можно рассматривать как своеобразный закон сохранения энергии. Данная концепция обеспечивает полную сбалансированность получаемого прогноза по основным направлениям социально-экономического развития для любого временного интервала.

Результаты расчета объема ВРП различными методами, полученные с использованием моделирующего комплекса АИК «Прогноз СПб», представлены в таблице 2.

Таблица 2. Объем ВРП Санкт-Петербурга, рассчитанный производственным и распределительным методами

Метод расчета	ВРП в 2013 году, млн руб.
Производственный	2 599 700
Распределительный	2 076 436

Согласно формуле (1), доля скрытой добавленной стоимости в базовом 2013 году равна:

$$D_i^{сдс} = \frac{2599\,700 - 2\,076\,436}{2599\,700} \cdot 100\% = 20,13\%$$

Теперь получим прогнозные значения индикаторов, характеризующих экономическую безопасность Санкт-Петербурга, на период 2014-2018 годов в зависимости от ожидаемых изменений доли скрытой добавленной стоимости в эти годы.

Для формирования прогноза с применением имитационной модели необходимо на всем горизонте прогнозирования задать сценарные условия – набор экзогенных параметров, определяющих поведение субъектов и социально-экономическую ситуацию в регионе. Сценарий является неотъемлемой частью модели, добавляющей в модель экспертные знания о внешних событиях и поведении действующих лиц, которые трудно формализовать. Сценарий позволяет через отклик модели сопоставлять экспертные предположения специалистов различных предметных областей. В АИК «Прогноз СПб» обеспечивается возможность оперативной корректировки предполагаемых воздействий (сценариев).

В рамках действующей имитационной модели социально-экономического развития Санкт-Петербурга скрытая добавленная стоимость участвует в качестве сценарного параметра.

Для прогнозирования социально-экономической ситуации в Санкт-Петербурге в зависимости от изменения доли теневой экономики в 2014-2018 годах сформированы три сценария развития региона. Сценарии разработаны экспертами на основании ретроспективной динамики показателей и ожидаемой социально-экономической ситуации в городе и с учетом умеренно-оптимистичного варианта развития страны, разработанных Минэкономразвития РФ. Данный вариант предполагает активную политику, направленную на снижение негативных последствий, связанных с ростом геополитической напряженности, и создание условий для устойчивого долгосрочного роста. Разработанные сценарии дифференцируются только по характеру изменения доли скрытой добавленной стоимости в общем объеме валового регионального продукта.

*Пессимистичный вариант (вариант 1)* предполагает ежегодный рост доли скрытой добавленной стоимости на 4 процентных пункта.

В соответствии со *стабильным вариантом (вариант 2)*, в 2014-2018 годах доля скрытой добавленной стоимости предполагается равной значению базового 2013 года.

*Оптимистичный вариант (вариант 3)* предполагает ежегодное снижение доли теневого сектора экономики на 2 процентных пункта.

Сценарные условия изменения доли скрытой добавленной стоимости в 2014-2018 годах представлены в таблице 3.

Таблица 3. Сценарные условия изменения доли скрытой добавленной стоимости в 2014-2018 годы

<b>Вариант развития</b>	<b>2014</b>	<b>2015</b>	<b>2016</b>	<b>2017</b>	<b>2018</b>
Пессимистичный (вариант 1)	24%	28%	32%	36%	40%
Стабильный (вариант 2)	20,13%	20,13%	20,13%	20,13%	20,13%
Оптимистичный (вариант 3)	19%	17%	15%	13%	11%

Посредством «проигрывания» данных сценариев сформирован прогноз индикаторов экономической безопасности региона, проведено сравнение полученных значений с пороговыми и сделаны выводы о наличии или отсутствии угроз экономической безопасности Санкт-Петербурга.

Результаты прогнозирования основных показателей социально-экономического развития Санкт-Петербурга, связанных с экономической безопасностью, согласно пессимистичному, стабильному и оптимистичному вариантам сценарных условий представлены в таблицах 4, 5 и 6.

В ходе моделирования были выявлены закономерности, характеризующие изменение индикаторов экономической безопасности Санкт-Петербурга при изменении доли скрытой добавленной стоимости (первая строка в таблицах 4-6). С одной стороны, скрытая добавленная стоимость отрицательно влияет на взаимоотношения хозяйствующих субъектов, то есть при росте теневой экономики легальный сектор экономики, за счет которого осуществляется финансирование различных социальных программ, строительство стратегически важных и инфраструктурных объектов и т.д. уменьшается, поэтому рост теневой экономики крайне нежелателен. С другой стороны, теневая экономика выполняет и некую стабилизирующую функцию, так как оставляет в руках хозяйствующих субъектов дополнительный ресурс, который может быть направлен, при желании владельца этого ресурса, не только на личное обогащение, но и на развитие предприятия, покупку нового оборудования либо внедрение в производство новых высокопроизводительных технологий.

Таблица 4. Результаты прогнозирования согласно варианту 1 (пессимистичному)

Индикатор	Ед. изм.	Отчет	Оценка	Прогноз			
		2013	2014	2015	2016	2017	2018
Доля скрытой добавленной стоимости в ВРП	%	20,13	24	28	32	36	40
ВРП	млн руб.	2 599 700	2 834 788	3 135 817	3 423 057	3 690 003	3 987 589
Индекс физического объема ВРП	в % к предыдущему году	103,5	102,54	105,69	105,00	104,36	104,45
Индекс-дефлятор ВРП	%	106,50	106,34	104,67	103,96	103,30	103,46
ВРП на душу населения	тыс. руб.	511,8	547,0	593,9	636,4	673,0	713,4
Уровень безработицы	%	1,50	1,49	1,36	1,30	1,30	1,37
Уровень зарегистрированной безработицы	%	0,30	0,30	0,28	0,26	0,26	0,28
Децильный коэффициент	раз	20,2	19,9	20,9	23,0	23,7	23,4
Доля населения с доходами ниже величины прожиточного минимума	%	8,30	8,87	8,55	8,20	7,90	7,74
Доля заработной платы в денежных доходах населения	%	49,38	49,70	47,91	45,93	43,93	42,15
Доля обрабатывающей промышленности в промышленном производстве	%	90,43	90,43	90,44	89,88	89,56	89,22
Норма накопления	%	14,1	14,0	13,7	13,6	13,8	13,9
Ожидаемая продолжительность жизни	лет	73,43	74,03	74,03	74,03	74,19	74,19
Количество преступлений на 100 тыс. населения	ед.	1096	920	909	896	885	931
Среднемесячная заработная плата	руб.	36 848	38 392	41 538	44 850	48 216	51 901



Таблица 5. Результаты прогнозирования согласно варианту 2 (стабильному)

Индикатор	Ед. изм.	Отчет	Оценка	Прогноз			
		2013	2014	2015	2016	2017	2018
Доля скрытой добавленной стоимости в ВРП	%	20,13	20,13	20,13	20,13	20,13	20,13
ВРП	млн руб.	2 599 700	2 846 651	3 161 639	3 466 299	3 754 469	4 075 970
Индекс физического объема ВРП	в % к предыдущему году	103,5	102,96	106,10	105,45	104,85	104,93
Индекс-дефлятор ВРП	%	106,50	106,36	104,68	103,97	103,30	103,46
ВРП на душу населения	тыс. руб.	511,8	549,3	598,8	644,5	684,8	729,2
Уровень безработицы	%	1,50	1,48	1,34	1,26	1,22	1,25
Уровень зарегистрированной безработицы	%	0,30	0,30	0,27	0,25	0,25	0,25
Децильный коэффициент	раз	20,2	18,8	18,7	19,3	18,4	17,1
Доля населения с доходами ниже величины прожиточного минимума	%	8,30	8,87	8,55	8,05	7,45	7,05
Доля заработной платы в денежных доходах населения	%	49,38	51,80	51,91	51,84	51,79	51,77
Доля обрабатывающей промышленности в промышленном производстве	%	90,43	90,43	90,44	89,88	89,56	89,22
Норма накопления	%	14,1	13,9	13,6	13,5	13,5	13,6
Ожидаемая продолжительность жизни	лет	73,43	74,03	74,03	74,03	74,19	74,19
Количество преступлений на 100 тыс. населения	ед.	1096	920	909	891	869	903
Среднемесячная заработная плата	руб.	36 848	40 239	43 446	46 951	50 697	54 907

Таблица 6. Результаты прогнозирования согласно варианту 3 (оптимистичному)

Индикатор	Ед. изм.	Отчет	Оценка	Прогноз			
		2013	2014	2015	2016	2017	2018
Доля скрытой добавленной стоимости в ВРП	%	20,13	19	17	15	13	11
ВРП	млн руб.	2 599 700	2 850 114	3 171 996	3 484 847	3 782 421	4 114 863
Индекс физического объема ВРП	в % к предыдущему году	103,5	103,08	106,31	105,66	105,06	105,14
Индекс-дефлятор ВРП	%	106,50	106,36	104,69	103,98	103,31	103,47
ВРП на душу населения	тыс. руб.	511,8	550,0	600,8	647,9	689,9	736,2
Уровень безработицы	%	1,50	1,47	1,33	1,25	1,20	1,23
Уровень зарегистрированной безработицы	%	0,30	0,30	0,27	0,25	0,24	0,25
Децильный коэффициент	раз	20,2	18,5	17,9	17,9	16,5	14,9
Доля населения с доходами ниже величины прожиточного минимума	%	8,30	8,88	8,56	8,06	7,46	7,06
Доля заработной платы в денежных доходах населения	%	49,38	52,45	53,71	54,83	56,02	57,29
Доля обрабатывающей промышленности в промышленном производстве	%	90,43	90,43	90,44	89,88	89,56	89,22
Норма накопления	%	14,1	13,9	13,5	13,4	13,4	13,5
Ожидаемая продолжительность жизни	лет	73,43	74,03	74,03	74,03	74,19	74,19
Количество преступлений на 100 тыс. населения	ед.	1096	920	909	892	869	904
Среднемесячная заработная плата	руб.	36 848	40 777	43 972	47 465	51 188	55 442

Также теневая экономика создает дополнительные рабочие места, «серая» заработная плата позволяет нивелировать разницу в доходах населения, тем самым снимая социальную напряженность. Таким образом, наличие теневой экономики в некоторых допустимых пределах имеет право на существование [8].

Необходимо отметить, что как в России в целом, так и в Санкт-Петербурге в настоящее время доля теневой экономики значительно превышает аналогичную долю в странах с развитой экономикой [9], поэтому влияние, которое оказывает теневая экономика, скорее негативное, чем положительное.

Проанализируем полученные результаты оценки влияния теневой экономики на различные сферы экономической безопасности Санкт-Петербурга:

*а) Влияние теневой экономики на показатели, характеризующие социально-экономическое развитие Санкт-Петербурга.*

К показателям экономического развития, являющимся одновременно индикаторами экономической безопасности региона, относятся: ожидаемая продолжительность жизни; доля обрабатывающей промышленности в промышленном производстве; индекс физического объема ВРП; ВРП на душу населения; уровень безработицы; уровень зарегистрированной безработицы.

Согласно результатам моделирования, изменение доли скрытой добавленной стоимости окажет незначительное влияние на ожидаемую продолжительность жизни населения Санкт-Петербурга. При развитии по любому из трех вариантов сценария значение показателя составит 74 года в 2014-2016 годах и 74,2 года в 2017-2018 годах, то есть на всем прогнозном периоде будет превышать принятое нижнее пороговое значение, равное 70 годам.

Согласно допущениям прогнозной модели, предполагается сохранение структуры скрытой добавленной стоимости по разделам промышленного производства. В связи с этим прогнозируемая доля обрабатывающей промышленности в промышленном производстве Санкт-Петербурга согласно трем вариантам сценария составит более 89% в 2014-2018 годах и, таким образом, не опустится ниже установленного порогового значения (70%).

В соответствии с тремя вариантами сценария, на прогнозном периоде прогнозируется рост ВРП. Индекс физического объема ВРП, характеризующий темп роста ВРП в % к предыдущему году в основных ценах, будет превышать 100%. Таким образом, заложенное в сценарии изменение доли скрытой добавленной стоимости при сохранении других сценарных условий развития Санкт-Петербурга не приведет к выходу темпа изменения ВРП за пределы порогового значения, равного 70%.

Согласно результатам прогнозирования, при прочих равных сценарных условиях, изменение доли скрытой добавленной стоимости на 1 п.п. приводит к изменению показателя ВРП на душу населения приблизительно на 0,11% в противоположном направлении. Такой результат получается в соответствии с установленным сценарием, предполагающим рост производства по всем основным разделам на прогнозном периоде. При этом рост производства в денежном выражении (с учетом индексов производства и индексов-дефляторов производства по разделам) будет опережать ежегодное увеличение скрытой добавленной стоимости, заложенное в пессимистическом сценарии (увеличение на 4 п.п. в год).

Пороговое значение уровня безработицы составляет 10%, в период радикальных преобразований допустимым является рост показателя до 15-20%, однако такой уровень не должен держаться более 5 лет.

Согласно всем трем вариантам сценария, уровень безработицы в 2014-2018 годах не будет превышать 1,5%. Таким образом, даже в случае увеличения доли скрытой добавленной стоимости до 40% (пессимистический сценарий), уровень безработицы не будет критическим и не достигнет порогового значения. Так, согласно пессимистическому сценарию, уровень безработицы в 2014-2017 годах будет последовательно снижаться и составит в 2017 году 1,3%, в 2018 году прогнозируется незначительный рост показателя до 1,37%, что в то же время ниже уровня 2013 года на 0,13 п.п. Уровень зарегистрированной безработицы в 2018 году по данному сценарию прогнозируется на уровне 0,28%, что ниже уровня 2013 года на 0,2 п.п.

В целом необходимо отметить, что уровень безработицы в Санкт-Петербурге традиционно является достаточно низким. За период с 2003 по 2013 год в среднем уровень безработицы составлял 2,44%.

*б) Влияние теневой экономики на показатели, характеризующие степень расслоения населения по доходам.*

К показателям, характеризующим степень расслоения населения по доходам и являющимся индикаторами экономической безопасности Санкт-Петербурга, а также характеризующим в целом степень благосостояния жителей региона, относятся: децильный коэффициент; доля населения с доходами ниже величины прожиточного минимума; доля заработной платы в денежных доходах населения; среднемесячная заработная плата.

Децильный коэффициент, рассчитываемый как отношение доходов 10% наиболее и 10% наименее обеспеченного населения, при росте доли скрытой добавленной стоимости увеличивается, то есть расслоение населения по доходам растет. Это можно объяснить ростом сверхдоходов наиболее обеспеченной части населения, так как все большая часть производимой валовой добавленной стоимости остается в распоряжении хозяйствующих субъектов и эта скрываемая ВДС на-

правляется не на развитие производственных мощностей, а оседает в карманах владельцев предприятий.

Так, при увеличении доли скрытой добавленной стоимости в соответствии с пессимистичным вариантом до 40% в 2018 году (почти в 2 раза) децильный коэффициент, согласно проведенным расчетам, увеличится по сравнению с 2013 годом на 15,8%. В то же время снижение доли скрытой добавленной стоимости согласно оптимистичному варианту сценария до 11% в 2018 году (почти в 2 раза) приведет к снижению децильного коэффициента по сравнению с базовым годом на 26,2%. То есть для экономики с меньшей теневой составляющей изменение доли скрытой добавленной стоимости будет иметь больший эффект, чем для экономик с расширенным теневым сектором. Это можно объяснить стабилизирующей функцией теневой экономики.

Изменения доли скрытой добавленной стоимости не более чем на 10 п.п. (вверх или вниз) практически не сказываются на изменении доли населения с денежными доходами ниже величины прожиточного минимума. Более значительные отклонения уже существенно меняют данный индикатор. Это объясняется тем, что при изменении доли скрытой добавленной стоимости выше определенного предела, согласно используемой модели, социальная нагрузка на государство изменяется в том же направлении ввиду снижения доли официального сектора экономики и необходимости выполнения социальных обязательств с учетом ограниченных финансовых ресурсов.

Доля заработной платы в денежных доходах населения существенно меняется при изменении скрытой добавленной стоимости. Снижение доли скрытой добавленной стоимости приводит к росту доли заработной платы в доходах населения, и, наоборот, при росте доли скрытой добавленной стоимости доля заработной платы в доходах населения снижается, а доля других доходов, таких как доходы от предпринимательской деятельности, доходы от собственности и т. д. растет.

В динамике такого индикатора экономической безопасности как среднемесячная заработная плата наблюдается обратная зависимость от теневой экономики. С ростом доли скрытой добавленной стоимости среднемесячная заработная плата снижается, но незначительно. Так, в 2018 году заработная плата, рассчитанная по пессимистичному варианту сценария, отличается лишь на 6% от заработной платы, рассчитанной при стабильном варианте сценарных условий. Это связано с тем, что при расчете среднемесячной заработной платы большую часть занимает заработная плата работников бюджетной сферы, которая относительно статична в условиях действующих российских экономических реалий. Государство даже в кризисных ситуациях старается выполнять свои социальные обязательства в полном объеме. Возможно, на более длительном периоде ситуация будет несколько другой.

*в) Влияние теневой экономики на уровень преступности.*

Количество зарегистрированных преступлений на 100 тыс. человек как индикатор социальной напряженности также подвержен влиянию теневой экономики. Так, согласно решению, полученному с помощью комплексной имитационной модели, в 2018 году количество зарегистрированных преступлений на 100 тыс. населения составит 931 случай при доле скрытой добавленной стоимости 40% согласно пессимистичному варианту сценария. При сохранении доли скрытой добавленной стоимости на уровне 2013 года согласно стабильному варианту развития количество зарегистрированных преступлений составит 903 случая на 100 тыс. населения.

Однако, при отсутствии значительного изменения доли скрытой добавленной стоимости количество преступлений практически не отличается от того количества преступлений, которые были бы получены при стабильном сценарии.

*г) Влияние теневой экономики на развитие производства.*

Изменение значения такого индикатора экономической безопасности как норма накопления, согласно результатам прогнозирования, нельзя трактовать однозначно. Так, при незначительном изменении доли скрытой добавленной стоимости прогнозные значения нормы накопления практически не отличаются от полученных при оптимистичном варианте сценария. Однако при пессимистичном варианте развития значения нормы накопления несколько выше тех значений, которые, вероятно, будут иметь место при стабильном варианте сценария. Превышение не будет существенным, в пределах 3 п.п.

Подводя итоги данной статьи, отметим, что оценка и прогнозирование величины теневой экономики и ее влияния на экономическую безопасность хозяйственной системы выступают важным инструментом управления экономической безопасностью. Этот инструмент позволяет определять такой объем и структуру теневого сектора, который позволяет минимизировать все отрицательные угрожающие последствия теневой экономики, сохраняя при этом ее незначительные, но положительные функции, неизвестные в экономической науке.

### **Литературы**

1. *Литвиненко А.Н.* Механизм противодействия криминализации в системе обеспечения экономической безопасности страны // Экономические науки. 2010. №9(70). С.26-32.
2. *Глазьев С.Ю.* Основа обеспечения экономической безопасности страны альтернативный реформационный курс // Российский журнал. 1997. №1.
3. Экономическая безопасность: сущность, факторы, критерии: Материалы сайта econominfo.ru. URL: <http://econominfo.ru/view-article.php?id=143> (дата обращения: 13.07.2014).
4. *Рзаев И.М.* Методы оценки масштабов теневой экономики // Международная научно-теоретическая конференция «Правоохранительная деятельность органов внутренних дел России и зарубежных государств в контексте современных научных исследований». СПб. 2010.

5. Тарашина С.И. Информационное сопровождение стратегического планирования: прогнозирование, координация, мониторинг // Стратегическое планирование в регионах и городах России: выстраивая систему. Доклады участников XII Общероссийского форума лидеров стратегического планирования. Санкт-Петербург. 2013 г. СПб.: Леонтьевский центр. 2014. С. 56-61.
6. Цыбатов В.А. Моделирование экономического роста / Под ред. Г. Р. Хасаева // Самара: Изд-во Самар. гос. экон. ун-та. 2006. 360 с.
7. Forrester J.W. *World Dynamics* // Cambridge (Mass.). 1971.
8. Грачев А.В., Пузыревский Л.С., Бабкин А.В. Теневая экономика как инструмент обеспечения экономической безопасности хозяйствующих субъектов // Научно-технические ведомости СПбГТУ. 2011. №3.
9. Schneider F., Enste D. Shadow Economies: Size, Causes and Consequences // Journal of Economic Literature. Pittsburg. 2000. vol. 38. no. 1. pp.77-98.

## References

1. Litvinenko A. N. [A mechanism of countermeasure of criminalization in the system of ensuring the economic security of a country]. *Ekonomicheskie nauki – Economic Sciences*. 2010. no 9(70). pp. 26-32 (In Russ.)
2. Glazjev S. Yu. [The basis of economic security of a country is an alternative course of the reformation]. *Rossiiskii zhurnal – Russian Journal*. 1997. no 1. (In Russ.)
3. *Ekonomicheskaya bezopasnost': sushchnost', faktory, kriterii* [Economic security: entity, factors and criteria]. Available at: [www.econominfo.ru/view-article.php?id=143](http://www.econominfo.ru/view-article.php?id=143) (accessed: 13.07.2014). (In Russ.)
4. Rzaev I. M. [Methods of estimating the shadow economy]. *Mezhdunarodnaya nauchno-teoreticheskaya konferentsiya «Pravookhranitel'naya deyatel'nost' organov vnutrennikh del Rossii i zarubezhnykh gosudarstv v kontekste sovremennykh nauchnykh issledovaniy»* [International Scientific Conference "Law enforcement activities of internal affairs of Russia and foreign countries in the context of advanced scientific research"]. Spb: 2010. (In Russ.)
5. Tarashnina S. I. [Information maintenance of strategic planning: forecasting, coordination, monitoring]. *Strategicheskoe planirovanie v regionakh i gorodakh Rossii: vystraiivaya sistemu. Doklady uchastnikov XII Obshcherossiiskogo foruma liderov strategicheskogo planirovaniya* [Strategic planning in the regions and cities of Russia: building a system. Reports of participants XII All-Russia Forum of Strategic Planning Leaders]. SPb: Leontjevskii tsestr. 2014. pp. 56-61 (In Russ.)
6. Tsybatov V. A. *Modelirovanie ekonomicheskogo rosta* [Modeling of economic growth]. Samara: University Press of Samara State University of Economics. 2006. 360 p. (In Russ.)
7. Forrester, J. W. *World Dynamics*. Cambridge (Mass.). 1971.
8. Grachev A. V., Puzyrevskii L. S., Babkin A. V. [The shadow economy as an instrument of economic security of business entities]. *Nauchno-tekhnicheskie ведомosti SPbGTU – Scientific and technical statements of SPbSTU*. 2011. no 3 (In Russ.).
9. Schneider F., Enste D. Shadow Economies: Size, Causes and Consequences. *Journal of Economic Literature*. Pittsburg. 2000. vol. 38. no 1. pp. 77-98.

**Громов Иван Александрович** — соискатель кафедры экономической безопасности и управления экономическими процессами Санкт-Петербургского университета МВД России. Область научных интересов: экономическая безопасность. [lanfk@rambler.ru](mailto:lanfk@rambler.ru); ул.Летчика Пиллотов, д.1, Санкт-Петербург, 190121, РФ; р.т. +7(812)744–7068.

**Gromov Ivan Alexandrovich** — applicant Department of economic safety and economic management of the St. Petersburg University, Russian Interior Ministry. Research interests: economic security. [lanfk@rambler.ru](mailto:lanfk@rambler.ru); Pilyutova str., 1, St.-Petersburg, 190121, Russia; office phone +7(812)744–7068.

## РЕФЕРАТ

### **Громов И.А. Оценка и прогнозирование влияния теневой экономики на состояние экономической безопасности Санкт-Петербурга.**

В статье представлены результаты прогнозирования состояния экономической безопасности Санкт-Петербурга в среднесрочной перспективе в зависимости от состояния и динамики теневого сектора экономики региона.

Приводится перечень индикаторов экономической безопасности региона и установленные для них пороговые значения, выход за пределы которых вызывает угрозу экономической безопасности. На основе данных официальной статистики осуществляется оценка состояния экономической безопасности Санкт-Петербурга в 2013 году.

Балансовым методом проводится расчет величины теневой экономики Санкт-Петербурга в 2013 году. Величина теневой экономики определяется в данной работе долей скрытой добавленной стоимости в общем объеме валового регионального продукта Санкт-Петербурга.

С использованием комплексной имитационной модели социально-экономической деятельности региона осуществляется многовариантное прогнозирование изменения индикаторов экономической безопасности Санкт-Петербурга в 2014–2018 годах в зависимости от предполагаемых изменений величины теневой экономики города в этот период. Для формирования прогноза разрабатываются три варианта сценарных условий развития региона, отличающихся величиной теневой экономики Санкт-Петербурга на прогнозном периоде.

В статье анализируется ожидаемое в соответствии с каждым вариантом сценария влияние объема теневой экономики на динамику интегральных и частных индикаторов экономической безопасности региона.

Результаты работы показывают, что оценка и прогнозирование величины теневой экономики выступают важным инструментом управления экономической безопасностью региона. Выявление управленческих воздействий на величину теневой экономики, а через неё – на экономическую безопасность хозяйственной системы, позволит разрабатывать на научной основе планы по укреплению экономической безопасности региона.



## SUMMARY

### ***Gromov I.A. Evaluation and prediction of the influence of the shadow economy on economic security of St. Petersburg.***

In this paper we present the forecasting results of economic security for St. Petersburg in dependence on a state and further changes of the shadow sector of the regional economy in medium-term period.

A list of indicators for economic security of the region and the threshold values beyond which there is a threat of economic security are given. Based on official statistics we calculate some valuation of economic security of St. Petersburg in 2013.

Based on official statistics we estimate the value of economic security of St. Petersburg in 2013.

In order to calculate the value of the shadow economy of St. Petersburg in 2013, the balance method is used. The size of the shadow economy in this paper is defined as the share of the hidden added value in the total gross regional product of St. Petersburg.

Using a complex simulation model of socio-economic activity of the region we organize a multivariate forecasting and investigate the changes of the economic indicators for St. Petersburg in years 2014-2018 in accordance with the expected changes of the size of the shadow economy in this period.

To generate a forecast three variants of scenario for development of St. Petersburg economy that differ only in size of the shadow economy of the region within the forecast period are formed.

In the work we analyze the influence of the size of the shadow economy (according to each alternative scenario) on dynamics of integral and specific indicators of economic security of the region.

The obtained results show that forecasting of the value of the shadow economy is an important tool to control the regional economic security. Identification of administrative impacts on the shadow economy, and therefore on economic security of an economic system, allows to form plans for strengthening of the region economic security on a scientific basis.

В.И. ЕРМОЛАЕВ, Т.В. ЛЕВАШОВА, Н.Г. ШИЛОВ  
**СЕМАНТИЧЕСКАЯ ИНТЕГРАЦИЯ СЕРВИСОВ ДЛЯ  
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ  
В ГИБКИХ СЕТЯХ ПОСТАВОК**

---

*Ермолаев В.И., Левашова Т.В., Шилов Н.Г. Семантическая интеграция сервисов для интеллектуальной поддержки принятия решений в гибких сетях поставок.*

**Аннотация.** В работе рассмотрены проблемы семантической интеграции сервисов для обеспечения взаимодействия системы интеллектуальной поддержки принятия решений участников сетей поставок с ресурсами внешней среды.

**Ключевые слова:** интеграция сервисов, семантическая сервис-ориентированная архитектура, гибкие сети поставок, семантическое соответствие.

*Ermolaev V.I., Levashova T.V., Shilov N.G. Semantic service integration for intelligent decision support in flexible supply networks.*

**Abstract.** Problems of semantic service integration to enable interoperability between an intelligent decision support system of supply networks' participants and environmental resources are considered.

**Keywords:** service integration, semantic service-oriented architecture, flexible supply networks, semantic similarity.

---

**1. Введение.** Сети поставок являются одной из организационных форм кооперации на основе сообщества, формируемого автономными сторонами, называемыми участниками сети поставок, посредством их объединения для решения общей проблемы – выполнения заказа, т.е. удовлетворения спроса на определенные изделия (услуги). Целью кооперативного конфигурирования групп участников является максимизация их выгод (например, прибылей). Координация достигается за счет формирования сети обязательств участников сети поставок друг перед другом, при этом участники ведут переговоры и идут на компромиссы в духе кооперации с целью выполнения своих обязательств [1–3].

Таким образом, можно сформулировать следующее определение сети поставок. Сетью поставок называется временная организация, основанная географически распределенными партнерами по рынку, на время выполнения совместного заказа. Сеть поставок не является предприятием, физически объединяющим необходимые ресурсы в определенной географической точке для достижения своих бизнес целей, а является распределенной организацией, использующей удаленные ресурсы. Многопрофильные участники команды объединены на основе информационных технологий посредством компьютерных сетей, таких как Интернет.

Системы интеллектуальной поддержки принятия решений (СИППР) участников сетей поставок функционируют в окружении, состоящем из автономных (физических, информационных и вычислительных) ресурсов. На техническом уровне совместимость СИППР поддерживается сервис-ориентированными архитектурами (СОА), а на семантическом уровне – онтологиями. Предлагаемый в данной работе подход заключается в интеграции этих уровней в семантическую СОА.

В настоящее время задача создания семантической СОА является чрезвычайно актуальной. Это подтверждается такими фактами, как: 1) поддержка научных проектов по указанной тематике в рамках проектов Евросоюза по паутине знаний (Knowledge Web) и объявление конкурсов в рамках 7-й рамочной программы Европейской комиссии; 2) поддержка проектов по данной тематике ведущими ИТ компаниями и интеграторами ИТ решений (Microsoft, IBM, Google); 3) поддержка данной тематики в рамках инициатив семантической паутины (Semantic Web 3.0); 4) интерес ведущих зарубежных и российских компаний потребителей ИТ, таких как US Navy, Аэрофлот, Альфа-Банк, Ренессанс Кредит и др.; 5) увеличение количества научных международных конференций по семантическим СОА и др. Вместе с тем, теоретическое обоснование и формализация этой концепции находятся в начальном состоянии, а техническая реализация пока состоит из ряда иллюстративных примеров. Большинство текущих работ ориентированных как на синтаксическое (например, реестр Универсального Описания, Обнаружения и Интеграции UDDI), так и на семантическое описание сервисов, фокусируются на поиске сервиса с точным соответствием запросу, что не всегда возможно. Существует несколько предложений объединения синтаксических (регистрируемых в XML-реестре UDDI) и семантических свойств сервисов. С одной стороны, они основаны на улучшении существующих синтаксических техник обнаружения, а с другой – на семантическом расширении сервисных запросов. Такое расширение, в свою очередь, может быть достигнуто различными методами: генерированием сервисных описаний на естественном языке для специальных предметных областей с целью выбора наиболее подходящего сервиса в случае неопределенностей, генерированием запросов с использованием комбинаций синонимов параметров и т.д. Однако большинство этих подходов учитывают только прямое соответствие между входами–выходами–предусловиями–эффектами (IOPE) либо требуют развития семантических UDDI. В первом случае, значительно уменьшается множество потенциально

пригодных сервисов, а в последнем, приводит к семантическим расширениям запросов порядка нескольких миллионов.

Несмотря на то, что в последние годы задаче семантической совместимости и семантического взаимодействия сервисов был посвящен ряд российских и зарубежных проектов, многие существующие в этой области проблемы так и остаются нерешенными. Это стало особенно очевидным в последнее время, когда многие компании, активно использующие сервис-ориентированные архитектуры для построения и интеграции информационных систем предприятия осознали, что дальнейший прогресс в этой области невозможен без соответствующего развития семантической составляющей. Это требует разработки новых информационных технологий распределенных автономных систем, обеспечивающих принятие решений ресурсами «интеллектуальной среды» без вмешательства человека. Необходимы концептуальные модели семантической интеграции сервисов, которые позволили бы гарантировать семантическое взаимодействие сервисных интерфейсов. С другой стороны, необходимы новые технологии и архитектуры для реализации этих моделей и протоколов и их использования в рамках «интегрированной интеллектуальной среды» гибких сетей поставок. В данной работе представлены результаты исследований, направленных на разработку концептуальной модели семантической интеграции сервисов, которая позволяет а) гарантировать семантическое взаимодействие сервисных интерфейсов, в основе которого лежит формальная модель, позволяющая описать сервисы, б) идентифицировать сходства между сервисами, в) скомпоновать сложные сервисы.

**2. Спецификация требований к семантической СОА.** Интеграция сервисов возможна, если удовлетворяются следующие основные требования:

1. *Вклад*: сервисы должны кооперировать с целью достижения наилучшего результата работы всей сети, а не каждого сервиса в отдельности;

2. *Выполнение задачи*: основной целью кооперации сервисов является выполнение задачи, а не персональное извлечение прибыли;

3. *Доминирование*: во всех процессах переговоров присутствует отдельный сервис, управляющий процессом переговоров и принимающий окончательное решение;

4. *Доверие*: поскольку сервисы работают в рамках одной сети, они могут доверять друг другу и не должны проверять информацию, полученную от других сервисов, если это дополнительно не указано в сценарии;

5. *Общая терминология*: поскольку сервисы работают в рамках единой сети, они используют общий словарь и общую терминологию (общую онтологию) для "общения" (нет необходимости переводить сообщения сервисов, возможность "непонимания" сервисами друг друга отсутствует).

**3. Интеграция сервисов.** Задача интеграции сервисов связана с объединением функциональных возможностей различных сервисов для получения новой функциональности, которая недостижима при автономном использовании сервисов. Получение новой функциональности является отличительной особенностью интеграции сервисов. На основании анализа исследований, посвященных интеграции сервисов, выделено несколько процессов интеграции, приводящих к различным результатам (таблица).

Таблица. Способы и результаты интеграции сервисов

№№	Процесс интеграции сервисов	Результат интеграции
1.	Вовлечение нескольких сервисов в решение задачи, приводящее к образованию нового сложного сервиса	Новый сложный сервис, решающий задачу
2.	Интеллектуальная семантическая интеграция нескольких разнородных сервисов в новый сложный сервис, который может быть использован в качестве основы для решения задач и принятия решений	Новая сложная задача, которая может быть решена той же самой сетью сервисов, составляющей сложный сервис
3.	Логический вывод новых знаний и информации на основании знаний и информации, скрытых в интегрируемых сервисах	Новые (дополнительные) знания о сети поставок, приводящие к ее новой (дополнительной) функциональности
4.	Комбинирование различных автономных сервисов различными способами в различных сценариях, приводящее к обнаружению новых отношений между различными сервисами	Новые отношения между сервисами, приводящие к новой (дополнительной) функциональности сети поставок
5.	Переконфигурирование сети сервисов, образующей сложный сервис, для достижения новой конфигурации с новыми возможностями или компетенциями	Новые возможности и/или компетенции сети сервисов

Для интеграции разнородных сервисов необходимо обеспечить их семантическую совместимость. В настоящее время для обеспечения семантической совместимости широко используются онтологии, которые формально описывают знания проблемной области. Онтологии включают в себя словарь понятий, используемых в конкретной про-

блемной области, и множество логических выражений, ограничивающих интерпретацию данных понятий.

В предлагаемом здесь подходе (рисунок 1) онтологическая модель используется для устранения семантической разнородности сервисов.

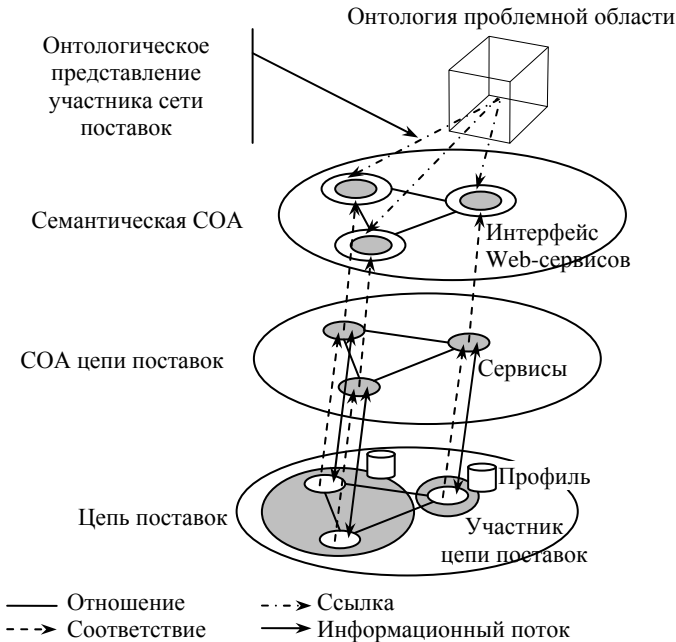


Рис. 1. Концепция сервис-ориентированной цепи поставок

Эта модель позволяет достичь интероперабельности разнородными сервисами за счет предоставления им общей семантики и терминологии.

**4. Модель поиска соответствий для семантической интеграции сервисов.** При разработке модели поиска соответствий между WSDL-описаниями сервисов был выполнен обширный анализ литературы, охватывающий около 20 систем / подходов / проектов, направленных на решение проблемы поиска соответствий между разнородными источниками информации (знаний). Среди них можно выделить следующие: GLUE System [4, 5], Falcon-AO [6], MLMA [7], Hovy [8], SKAT [9], ONION [10], Promt [11], H-Match [12], CTX-MATCH [13], SMART [14], Chimaera [15], Cupid [15], COMA [16], Similarity Flooding Algorithm [17], AgreementMaker [18], Pattern Based Approach [19], MinSMATCH [20], OntoView [21], THALIA [22], Mapsom [23].

Рассматриваемая в данной работе модель поиска соответствий [24] позволяет устанавливать отображения между онтологией проблемной области и WSDL-описаниями сервисов на лексическом, синтаксическом и семантическом уровнях (рисунок 2). Для онтологии проблемной области рассматривается ее базовая составляющая – таксономия. Сервисы также представлены онтологиями, в которых классами верхнего уровня являются имена сервисов, подклассами – имена реализованных в сервисах функций. Атрибутами классов верхнего уровня являются характеристики сервисов (URL, время доступа, стоимость и т.п.), атрибуты подклассов соответствуют именам входных (выходных) аргументов функций.

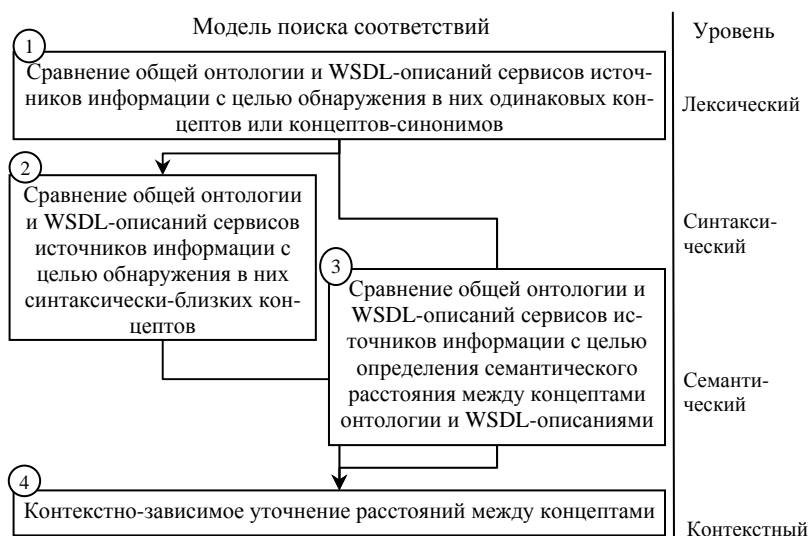


Рис. 2. Модель поиска соответствий между онтологией и WSDL-описаниями сервисов

Результатом выполнения блоков 1 – 3 являются отношения соответствия между двумя концептами (один концепт принадлежит общей онтологии, второй – описанию) с приписанными им мерами близости концептов. В блоке 4 оценивается окружение (семантический контекст) сопоставленных концептов в структурах. Если в двух структурах для семантически близких концептов существуют семантически близкие контексты, то значение меры близости двух концептов может быть повышено.

После выполнения операции поиска соответствий имена концептов в описаниях сервисов, для которых найдены близкие им кон-

цепты в онтологии, заменяются соответствующими именами концептов из онтологии. Концепты сервисов, для которых в онтологии не найдено соответствий, передаются на рассмотрение экспертам. В результате сервисам дается семантическое описание в терминах общей онтологии, за счет чего они становятся интероперабельными компонентами.

**5. Заключение.** В работе рассмотрены проблемы интеграции сервисов для обеспечения взаимодействия системы интеллектуальной поддержки принятия решений участников сетей поставок с ресурсами внешней среды. Разработана спецификация требований к семантической сервис-ориентированной архитектуре. Систематизированы известные способы интеграции сервисов и описаны получаемые при этом результаты. Предложена модель поиска соответствий для семантической интеграции сервисов. Данная модель объединяет лексические способы, структурные и семантические подходы к поиску соответствий между разнородными источниками информации (знаний).

### Литература

1. Яблочников Е. И. Автоматизация технологической подготовки производства в приборостроении // СПб.: Санкт-Петербургский государственный институт точной механики и оптики. 2002. 92 с.
2. Яблочников Е. И., Маслов Ю. В. Автоматизация ТПП в приборостроении // СПб.: Санкт-Петербургский государственный институт точной механики и оптики. 2003. 104 с.
3. Smirnov A., Chandra C. Ontology-based Knowledge Management for Cooperative Supply Chain Configuration // Proc. of the AAAI Spring Symposium Bringing Knowledge to Business processes (AAAI Press), 2000. pp. 85–92.
4. Doan A., Madhavan J., Domingos P., Halevy A. Learning to map between ontologies on the semantic web // Proceedings of the 11th international conference on World Wide Web. 2002. pp. 662–673.
5. Doan A., Hai D., Jayant M., Pedro D., Alon H. Ontology Matching: A Machine Learning Approach. Handbook on Ontologies in Information Systems // Springer. 2004. pp. 397–416.
6. Hu W., Jian N., Qu Y., Wang Y. GMO: A Graph Matching for Ontologies // Proceedings of the K-CAP Workshop on Integrating Ontologies. 2005. pp. 43–50.
7. Alasoud A., Haarslev V., Shiri N. An Effective Ontology Matching Technique // Proceedings of the 17th International Symposium ISMIS 2008, 2008. pp. 585–590.
8. Hovy E. Combining and Standardizing Largescale, Practical Ontologies for Machine Translation and Other Uses // Proceedings of the First International Conference on Language Resources and Evaluation (LREC). 1998. pp. 535–542.
9. Mitra P., Wiederhold G., Jannink J. Semi-automatic Integration of Knowledge Sources // Proceedings of the 2nd International Conference on Information Fusion (FUSION 1999). 1999. URL: <http://isif.org/fusion/proceedings/fusion99CD/C-095.pdf> (дата обращения: 15.10.2014).
10. Mitra P., Kersten M., Wiederhold G. Graph-Oriented Model for Articulation of Ontology Interdependencies // Proceedings of the 7th International Conference on Extending Database Technology. 2000. pp. 86–100.
11. Noy N., Musen M. Anchor-PROMPT: Using Non-Local Context for Semantic Matching // Proceedings of the Workshop on Ontologies and Information Sharing at the Seventeenth International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI-2001). 2001. pp. 63–70.



12. *Castano S., Ferrara A., Montanelli S.* H-Match: an Algorithm for Dynamically Matching Ontologies in Peer-based Systems // Proceedings of the 1st VLDB International Workshop on Semantic Web and Databases (SWDB 2003). 2003. pp. 231–250.
13. *Serafini L., Bouquet P., Magnini B., Zanobini S.* An algorithm for matching contextualized schemas via SAT. Technical report // DIT University of Trento. Italy. 2003. 8 p.
14. *Noy N. Musen M.* SMART: Automated Support for Ontology Merging and Alignment // Proceedings of the 12th Workshop on Knowledge Acquisition, Modeling, and Management. 1999. URL: [http://pdf.aminer.org/000/289/945/creation\\_and\\_merging\\_of\\_ontology\\_top\\_levels.pdf](http://pdf.aminer.org/000/289/945/creation_and_merging_of_ontology_top_levels.pdf) (дата обращения: 15.10.2014).
15. *McGuinness D. L., Fikes R., Rice J., Wilder S.* An Environment for Merging and Testing Large Ontologies // Proceedings of the Seventh International Conference on Principles of Knowledge Representation and Reasoning (KR'2000). 2000. pp. 483–493. URL: <http://www.ksl.stanford.edu/software/chimaera/> (дата обращения 15.08.2014).
16. *Aumüller D., Do H., Massmann S., Rahm E.* Schema and Ontology Matching with COMA++ // Proceedings of the ACM SIGMOD International Conference on Management of Data. 2005. pp. 906–908.
17. *Melik S., Garcia-Molina H., Rahm E.* Similarity Flooding: a Versatile Graph Matching Algorithm and its Application to Schema Matching // Proceedings of the 18th International Conference on Data Engineering. 2002. pp. 117–128.
18. *Cruz I., Antonelli F., Stroe C.* Efficient Selection of Mappings and Automatic Quality-Driven Combination of Matching Methods // Proceedings of the Fourth International Workshop on Ontology Matching. CEUR Workshop proceedings. 2009. Vol. 551. URL: [http://ceur-ws.org/Vol-551/om2009\\_Traper5.pdf](http://ceur-ws.org/Vol-551/om2009_Traper5.pdf) (дата обращения: 15.10.2014).
19. *Ritze D., Meilicke C., Šváb-Zamazal O., Stuckenschmidt H.* A Pattern-Based Ontology Matching Approach for Detecting Complex Correspondences // Proceedings of the Fourth International Workshop on Ontology Matching. CEUR Workshop proceedings. 2009. vol. 551. URL: [http://ceur-ws.org/Vol-551/om2009\\_Traper3.pdf](http://ceur-ws.org/Vol-551/om2009_Traper3.pdf) (дата обращения: 15.10.2014).
20. *Giunchiglia F., Maltese V., Autayeu A.* Computing Minimal Mappings // Proceedings of the Fourth International Workshop on Ontology Matching. CEUR Workshop proceedings. 2009. vol. 551. URL: [http://ceur-ws.org/Vol-551/om2009\\_Traper4.pdf](http://ceur-ws.org/Vol-551/om2009_Traper4.pdf) (дата обращения: 15.10.2014).
21. *Klein M., Kiryakov W., Ogyanov D., Fensel D.* Ontology Versioning and Change Detection on the Web // Proceedings of the 13th International Conference on Knowledge Engineering and Knowledge Management. (EKAW02). 2002. pp. 197–212.
22. *Vincini M., Beneventano D., Bergamaschi S.* Semantic Integration of Heterogeneous Data Sources in the MOMIS Data Transformation System // Journal of Universal Computer Science. 2013. vol. 19. no. 13. pp. 1986–2012.
23. *Jirkovský V., Ichise R.* Mapsom: User involvement in ontology matching. Semantic Technology. LNCS 8388 // Springer. 2014. pp. 348–363.
24. *Smirnov A., et al.* On-the-Fly Ontology Matching in Smart Spaces: A Multi-Model Approach // Smart Spaces and Next Generation Wired/Wireless Networking (Proceedings of the third Conference on Smart Spaces (ruSMART 2010) and 10th International Conference NEW2AN 2010 (St. Petersburg, Russia, August 23–25, 2010)). LNCS 6294. Springer. 2010. pp. 72–83.

## References

1. Yablochnikov E. *Avtomatizacija tehnologicheskoy podgotovki proizvodstva v priborostroenii* [Automation of process engineering in instrument engineering]. SPb: St. Petersburg State Institute of Fine Mechanics and Optics, 2002. 92 p. (In Russ.).
2. Yablochnikov E., Maslov Yu. V. *Avtomatizacija TPP v priborostroenii* [Automation of PE in instrument engineering]. SPb: St. Petersburg State Institute of Fine Mechanics and Optics]. 2003. 104 p. (In Russ.).
3. Smirnov A., Chandra C., Ontology-based Knowledge Management for Cooperative Supply Chain Configuration. Proc. of the AAAI Spring Symposium Bringing Knowledge to Business processes (AAAI Press, 2000). 2000. pp. 85–92.

4. Doan A., Madhavan J., Domingos P., Halevy A. Learning to map between ontologies on the semantic web. Proceedings of the 11th international conference on World Wide Web. 2002. pp. 662–673.
5. Doan A., Hai D., Jayant M., Pedro D., Alon H. Ontology Matching: A Machine Learning Approach. Handbook on Ontologies in Information Systems. Springer. 2004. pp. 397–416.
6. Hu W., Jian N., Qu Y., Wang Y. GMO: A Graph Matching for Ontologies. Proceedings of the K-CAP Workshop on Integrating Ontologies. 2005. pp. 43–50.
7. Alasoud A., Haarslev V., Shiri N. An Effective Ontology Matching Technique. Proceedings of the 17th International Symposium (ISMIS 2008). 2008. pp. 585–590.
8. Hovy E. Combining and Standardizing Largescale, Practical Ontologies for Machine Translation and Other Uses. Proceedings of the First Inter-national Conference on Language Resources and Evaluation (LREC). 1998. pp. 535–542.
9. Mitra P., Wiederhold G., Jannink J. Semiautomatic Integration of Knowledge Sources. Proceedings of the 2nd International Conference on Information Fusion. 1999. Available at: <http://isif.org/fusion/proceedings/fusion99CD/C-095.pdf> (accessed: 15.10.2014).
10. Mitra P, Kersten M. Wiederhold G. Graph-Oriented Model for Articulation of Ontology Interdependencies. Proceedings of the 7th International Conference on Extending Database Technology. 2000. pp. 86–100.
11. Noy N. Musen M.: Anchor-PROMPT: Using Non-Local Context for Semantic Matching. Proceedings of the Workshop on Ontologies and Information Sharing at the Seventeenth International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI-2001). 2001. pp. 63–70.
12. Castano S., Ferrara A., Montanelli S. H-Match: an Algorithm for Dynamically Matching Ontologies in Peer-based Systems. Proceedings of the 1st VLDB International Workshop on Semantic Web and Databases (SWDB 2003). 2003. pp. 231–250.
13. Serafini L., Bouquet P., Magnini B., Zanobini S. An algorithm for matching contextualized schemas via SAT. Technical report. DIT University of Trento. Italy. 2003. 8 p.
14. Noy N. Musen M. SMART: Automated Support for Ontology Merging and Alignment. Proceedings of the 12th Work-shop on Knowledge Acquisition, Modeling, and Management. 1999. Available at: [http://pdf.aminer.org/000/289/945/creation\\_and\\_merging\\_of\\_ontology\\_top\\_levels.pdf](http://pdf.aminer.org/000/289/945/creation_and_merging_of_ontology_top_levels.pdf) (accessed: 15.10.2014).
15. McGuinness D. L., Fikes R., Rice J., Wilder S. An Environment for Merging and Testing Large Ontologies. Proceedings of the Seventh International Conference on Principles of Knowledge Representation and Reasoning (KR'2000). 2000. pp. 483–493. Available at: <http://www.ksi.stanford.edu/software/chimaera/> (accessed 15.08.2014).
16. Aumüller D., Do H., Massmann S., Rahm E. Schema and Ontology Matching with COMA++. Proceedings of the ACM SIGMOD International Conference on Management of Data. 2005. pp. 906–908.
17. Melnik S., Garcia-Molina H., Rahm E. Similarity Flooding: a Versatile Graph Matching Algorithm and its Application to Schema Matching. Proceedings of the 18th International Conference on Data Engineering, 2002. pp. 117–128.
18. Cruz I., Antonelli F., Stroe C. Efficient Selection of Mappings and Automatic Quality-Driven Combination of Matching Methods. Proceedings of the Fourth International Workshop on Ontology Matching. CEUR Workshop proceedings. 2009. vol. 551. Available at: [http://ceur-ws.org/Vol-551/om2009\\_Paper5.pdf](http://ceur-ws.org/Vol-551/om2009_Paper5.pdf) (accessed 15.10.2014).
19. Ritze D., Meilicke C., Šváb-Zamazal O., Stuckenschmidt H. A Pattern-Based Ontology Matching Approach for Detecting Complex Correspondences. Proceedings of the Fourth International Workshop on Ontology Matching, 2009. CEUR Workshop proceedings. vol. 551. Available at: [http://ceur-ws.org/Vol-551/om2009\\_Paper3.pdf](http://ceur-ws.org/Vol-551/om2009_Paper3.pdf) (accessed 15.10.2014).
20. Giunchiglia F., Maltese V., Autayeu A. Computing Minimal Mappings [Electronic resource]. Proceedings of the Fourth International Work-shop on Ontology Matching, 2009. CEUR Workshop proceedings. vol. 551. Available at: [http://ceur-ws.org/Vol-551/om2009\\_Paper4.pdf](http://ceur-ws.org/Vol-551/om2009_Paper4.pdf) (accessed 15.10.2014).

21. Klein M., Kiryakov W., Ognyanov D., Fensel D. Ontology Versioning and Change Detection on the Web. Proceedings of the 13th International Conference on Knowledge Engineering and Knowledge Management (EKAW02). 2002. pp. 197–212.
22. Vincini M., Beneventano D., Bergamaschi S. Semantic Integration of Heterogeneous Data Sources in the MOMIS Data Transformation System. Journal of Universal Computer Science. 2013. vol. 19. no. 13. pp. 1986–2012.
23. Jirkovsk' y V., Ichise R. Mapsom: User involvement in ontology matching. Semantic Technology. LNCS 8388. Springer. 2014. pp. 348–363.
24. Smirnov A., et al. On-the-Fly Ontology Matching in Smart Spaces: A Multi-Model Approach. Smart Spaces and Next Generation Wired/Wireless Networking: Proc. Third Conf. on Smart Spaces (ruS-MART 2010) and 10th Intern. Conf. NEW2AN 2010 (St. Petersburg, Russia, August 23–25, 2010). LNCS 6294. Springer. 2010. pp. 72–83.

**Ермолаев Виктор Иванович** — к-т техн. наук, доцент ВУНЦ ВМФ "Военно-морская академия им. Адмирала Флота Советского Союза Н.Г. Кузнецова". Область научных интересов: геоинформационные системы, гидроакустика, имитационное моделирование. Число научных публикаций — 36. V.Ermolaev@ias.spb.su; Галерный проезд 5, Санкт-Петербург; р.т. 355-96-82.

**Ermolaev Victor Ivanovich** — Ph.D., associate professor, Military Training and Research Center of the Navy "Naval Academy. Admiral of the Fleet of the Soviet Union NG Kuznetsov". Scientific interests: Geographic information systems, hydroacoustics, simulation. The number of publications — 36. V.Ermolaev@ias.spb.su; Goncharnii passage 5, St.Petersburg; office phone 355-96-82.

**Левашова Татьяна Викторовна** — к-т техн. наук, Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации Российской академии наук (СПИИРАН). Область научных интересов: поддержка принятия решений, управление знаниями, онтологии, контекст. Число научных публикаций — 215. tatiana.levashova@ias.spb.su; 14 линия, 39, Санкт-Петербург; р.т. 8123288071.

**Levashova Tatiana Viktorovna** — Ph.D., St. Petersburg Institute for Informatics and Automation of Russian Academy of Sciences (SPIIRAS). Scientific interests: decision support, knowledge management, ontologies, context. The number of publications — 215. tatiana.levashova@ias.spb.su; 39, 14 line, St.Petersburg, 199178; р.т. 8123288071.

**Шилов Николай Германович** — к-т техн. наук, старший научный сотрудник, Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации Российской академии наук (СПИИРАН). Область научных интересов: интеллектуальная поддержка принятия решений, крауд-вычисления, инфомобильные приложения. Число научных публикаций — 150. nick@ias.spb.su; Санкт-Петербург, 199178, 14 линия, 39; р.т. +79112139558.

**Shilov Nikolay Germanovich** — Ph.D., senior researcher, St. Petersburg Institute for Informatics and Automation of Russian Academy of Sciences (SPIIRAS). Scientific interests: croud-computing, infomomobility, intelligent decision support, ontology, context. The number of publications — 150. nick@ias.spb.su; 39, 14 line, St.Petersburg, 199178; office phone +79112139558.

**Поддержка исследований.** Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проекты №№ 12-07-00298, 14-07-00378, 14-07-00427).

**Acknowledgements.** The research was supported by RFBR (projects nos. 12-07-00298, 14-07-00378, 14-07-00427).

## РЕФЕРАТ

### ***Ермолаев В.И., Левашова Т.В., Шилов Н.Г. Семантическая интеграция сервисов для интеллектуальной поддержки принятия решений в гибких сетях поставок.***

В работе рассмотрены проблемы семантической интеграции сервисов для обеспечения взаимодействия системы интеллектуальной поддержки принятия решений участников сетей поставок с ресурсами внешней среды.

В начале работы сформулировано определение цепи поставок, и описана проблема совместимости системы интеллектуальной поддержки принятия решений (СИППР) участников сетей поставок с окружением системы. Для решения этой проблемы предложено разработать семантическую сервис-ориентированную архитектуру СИППР. Данная архитектура предполагает возможность интеграции разнородных сервисов, что позволит гарантировать семантическое взаимодействие сервисных интерфейсов.

С целью разработки сервис-ориентированной архитектуры выявлены и специфицированы требования к такой архитектуре, сформулирована задача интеграции сервисов, рассмотрены известные способы и результаты интеграции. Для устранения семантической разнородности сервисов предлагается онтологическая модель.

Отдельное внимание в работе уделено задаче поиска соответствий между сервисами для их семантической интеграции. С целью решения этой задачи был выполнен анализ множества подходов, направленных на решение проблемы поиска соответствий между разнородными источниками информации (знаний). В качестве варианта решения авторами была разработана модель поиска соответствий, которая также описана в данной работе. Разработанная модель объединяет лексические способы, структурные и семантические подходы к поиску соответствий между разнородными источниками информации (знаний).

## SUMMARY

### *Ermolaev V.I., Levashova T.V., Shilov N.G.* **Semantic service integration for intelligent decision support in flexible supply networks.**

Problems of semantic service integration to enable interactions of an intelligent decision support system (DSS) and supply chains participants with environmental resources are considered in the paper.

At the beginning of the paper a supply chain is defined and the problem of interoperability between the intelligent DSS of supply chain participants and the system's environment is described. It is proposed to develop semantic service-oriented architecture of the DSS to solve the described problem. The architecture suggests a possibility for integration of heterogeneous services. This possibility will ensure semantic service interface interactions.

Requirements to service-oriented architecture are identified and specified as a step toward the architecture development. Additionally, the problem of service integration is formulated; various integration processes and their outcomes are considered. An ontology model is proposed to overcome the service heterogeneity.

A special attention is paid to the problem of service semantic matching to enable the service integration. In the direction of solving this problem, an analysis of approaches dealing with matching heterogeneous information and knowledge sources has been done. In the paper, a semantic matching model developed by the authors is described. This model proposes one of the possible solutions of the problem mentioned above. The developed model combines lexical, structural and semantic approaches to matching heterogeneous sources.

И.В. ГАЛОВ, Д.Ж. КОРЗУН  
**МОДЕЛЬ УВЕДОМЛЕНИЙ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ  
ПРОГРАММНЫХ ПРИЛОЖЕНИЙ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ  
ПРОСТРАНСТВ**

---

*Галов И.В., Корзун Д.Ж. Модель уведомлений для разработки программных приложений интеллектуальных пространств.*

**Аннотация.** Рассматривается модель уведомлений для организации взаимодействия множества программных агентов в интеллектуальном пространстве. Модель предназначена для проблемно-ориентированной разработки программных приложений на платформе Smart-M3, используя такие возможности, как операция подписки и онтологическое представление информации. Набор требуемых вариантов взаимодействия описывается на основе онтологии уведомлений, расширяющей исходную онтологию предметной области приложения. Реализация взаимодействия сводится к выполнению каждым агентом подписки на нужные варианты взаимодействия из онтологии уведомлений. Применимость модели показана на примере программной системы SmartScribo, реализующей интеллектуальное пространство для мультиблоггинга. Выполненный экспериментальный анализ показывает приемлемую для таких приложений производительность.

**Ключевые слова:** интеллектуальные пространства, Smart-M3, операция подписки, взаимодействие агентов, онтологии, RDF.

*Galov I.V., Korzun D.G. Notification model for smart space applications development.*

**Abstract.** We consider a notification model for constructing interactions of multiple software agents in a smart space. The model supports Smart-M3 application development and exploits such features as subscription operation and ontological information representation. The set of required variants for interaction is described using a notification ontology, which extends the application domain ontology. Programming the interaction is reduced to subscription that each agent implements based on the notification ontology. The applicability of model is demonstrated on the case study of SmartScribo system for smart space multi-blogging. Our experiments show reasonable performance for this class of applications.

**Keywords:** smart spaces, Smart-M3, subscription operation, multi-agent interaction, ontology, RDF.

---

**1. Введение.** Интеллектуальное пространство (ИП) формирует сервисно-ориентированную информационную систему (среду), развернутое в которой программное приложение способно выполнять рассуждения для определения потребностей своих пользователей, адаптации к текущей ситуации, построения и доставки пользователю нужных услуг [1-6]. Платформа Smart-M3 [7] является исследовательской программной реализацией с открытым кодом для создания ИП в разнообразных вычислительных средах, включая локализованные среды Интернета физических устройств (Internet of Things, далее — IoT) [6]. Аббревиатура M3 акцентирует свойства multi-device (множество устройств), multi-vendor (множество производителей аппаратуры)

и multi-domain (множество предметных областей), характерные для возникающих сейчас IoT-сред.

Платформа Smart-M3 определяет построение ИП на основе набора взаимодействующих программных агентов — процессоров знаний (knowledge processor — агент *KP*), работающих на устройствах вычислительной среды. Взаимодействие идет через разделение информационного содержимого, представленного с помощью модели RDF (resource description framework) из Семантического веб [8]. Доступ выполняется через семантический информационный брокер (semantic information broker — SIB). Помимо разовых операций и поисковых запросов (чтение, вставка, изменение, удаление) поддерживается операция подписки — постоянный запрос к брокеру SIB для отслеживания изменений в информационном содержимом [9].

Рост числа участвующих в приложении агентов *KP* и вовлечение ими в обработку разнообразных и объемных данных приводят к трудностям при программировании взаимодействия на уровне каждого агента *KP*. В данной статье предлагается модель уведомлений, определяющая проблемно-ориентированный способ для программирования взаимодействия агентов ИП на платформе Smart-M3. Взаимодействие организуется с помощью публикации агентами *KP* специального вида уведомлений, на которые подписываются другие агенты заданного программного приложения. Прикладному разработчику предоставляется шаблонная схема проектирования и программирования взаимодействия, которая, с одной стороны, упрощает разработку, а, с другой стороны, обеспечивает приемлемую производительность реализуемого взаимодействия.

**2. Организация взаимодействия агентов в интеллектуальном пространстве.** Базовое взаимодействие агентов *KP* на платформе Smart-M3 основано на известной модели классной доски (доски объявлений) [10]. Брокер SIB управляет доступом агентов к общему информационному содержимому *I*, поддерживая операции чтения/записи. Взаимодействие является косвенным — каждый агент наблюдает текущее информационное содержимое ИП, формируемое всеми участвующими агентами, на основе чего агент автономно определяет свои действия, включая внесение собственных изменений в информационное содержимое ИП.

Косвенное взаимодействие агентов *KP* расширяется с помощью модели публикации/подписки [11], что позволяет использовать механизмы событийно-управляемого программирования [9]. Агент может подписаться на интересующую его часть информационного содержимого и затем регулярно получать уведомления о происходящих в ней

изменениях. Известно, что операция подписки является ресурсоемкой и критичной для обеспечения надежности по сравнению с разовыми операциями доступа к ИП. В силу этого свойства, при программировании агента следует использовать небольшое число подписок.

В условиях платформы Smart-M3, работа [12] рассматривает организацию взаимодействия агентов ИП, соответствующих потоков управления, передачу информации между агентами и координацию их работы в рамках заданного программного приложения. В то же время, остается открытым вопрос разработки проблемно-ориентированного способа для программирования требуемого взаимодействия на уровне каждого агента (его индивидуальной стратегии участия и координации в ИП) с учетом предметной области приложения.

Помимо платформы Smart-M3, известны и другие, ориентированные на построение многоагентных систем и предоставляющие различные механизмы для организации взаимодействия агентов. В работе [13] рассматривается сервис уведомления о событиях Siena. За доставку уведомлений отвечает распределенная сеть серверов (брокеров), реализующая специализированный протокол доставки. Такой подход распространен в современных системах публикации/подписки в силу масштабируемости при росте числа агентов. В то же время, это платформенное решение, которое обеспечивает эффективность доставки уведомлений, но не предоставляет проблемно-ориентированного способа для программирования взаимодействия в терминах уведомлений на уровне отдельного агента. Отметим, что этот требуемый проблемно-ориентированный способ слабо зависит от реализации доставки — с помощью централизованного брокера или сети брокеров.

В работе [14] исследуется организация взаимодействия агентов ИП на основе концепции оверлейных P2P сетей. Каждый агент ИП становится равноправным участником такой сети. Взаимодействие происходит через обмен агентами информацией друг с другом и сводится к задаче маршрутизации в P2P сети агентов. Агенты выступают не только отправителями и получателями, но и посредниками при передаче информации. Такой подход определяет примитивы, которые платформа предоставляет разработчикам для организации базового взаимодействия агентов, но не определяет способа для программирования взаимодействия в каждом отдельном агенте с учетом заданной предметной области приложения.

Известно достаточно много систем публикации/подписки, в которых информационное содержимое представлено с помощью модели RDF. В системе JTangPS [15] операция подписки использует специализированный язык для описания интересующей агента части информа-



ционного содержимого. Платформа Smart-M3 позволяет использовать в операции подписки шаблоны RDF троек и язык SPARQL (Protocol and RDF Query Language). Соответствующие механизмы упрощают программирование взаимодействия агентов, но прикладному разработчику для заданного приложения все равно приходится проектировать частный вариант взаимодействия с последующей его реализацией на уровне каждого агента *KP*.

Таким образом, можно сделать вывод, что существующие платформенные решения для организации взаимодействия агентов ИП на основе операции подписки требуют от прикладного разработчика проектирования собственного варианта для организации взаимодействия агентов в каждом конкретном приложении. В качестве возможного общего решения нами предлагается модель уведомлений. Она определяет проблемно-ориентированный способ для организации взаимодействия между агентами *KP* на платформе Smart-M3. Данная модель может быть использована при разработке программных приложений и на других платформах, в которых поддерживается операция подписки и представление информационного содержимого по модели RDF.

**3. Взаимодействие агентов *KP* заданного программного приложения.** Элементарным взаимодействием будем называть бинарное отношение на множестве агентов *KP*:

$$KP_{\text{snd}} \rightarrow KP_{\text{rcv}}, \quad (1)$$

где  $KP_{\text{rcv}}$  читает (разовая операция или по подписке) данные из  $I$ , опубликованные  $KP_{\text{snd}}$ . Отношение (1) позволяет формализовать понятие программного приложения ИП, как набора всех взаимодействующих агентов *KP*. Агенты  $KP_1$  и  $KP_2$  входят в состав одного приложения, если  $KP_1 \rightarrow KP_2$  или  $KP_2 \rightarrow KP_1$ . Рефлексивно-транзитивное замыкание отношения состава определяет классы эквивалентности, каждый соответствует некоторому приложению. Отношение (1) обладает следующими полезными свойствами для организации взаимодействия:

- один-ко-многим: один агент  $KP_{\text{snd}}$  может взаимодействовать с несколькими агентами  $KP_{\text{rcv}}$  одновременно;
- асинхронность: отправка и получение данных не блокируют работу агентов  $KP_{\text{snd}}$  и  $KP_{\text{rcv}}$ ;
- анонимность: агентам  $KP_{\text{snd}}$  и  $KP_{\text{rcv}}$  не требуется непосредственно знать друг друга для выполнения взаимодействия.

Представление содержимого  $I$  следует модели RDF из Семантического веб [8, 16]. Базовым элементом является тройка вида «субъект–предикат–объект». Множество хранимых троек образует ориенти-

рованный граф, в котором узлами являются субъекты и объекты, а дуги — предикаты. Брокер SIB реализует RDF-хранилище (базу знаний) с поддержкой точки доступа SPARQL для выполнения семантических поисковых запросов.

Каждый агент  $KP$  работает лишь с некоторой частью  $I$  (определяется разработчиком). Для выполнения (1) необходимо, чтобы соответствующие части для  $KP_{snd}$  и  $KP_{rcv}$  пересекались. Для разработчика описание этих частей удобно представить с помощью онтологий [17, 18, 5]. Известно, что онтология позволяет получить концептуальную модель предметной области [19]. В Семантическом веб используется язык веб онтологий (web ontology language, OWL) [20] для описания фактических данных (ресурсов) на основе структуры онтологических классов (концепций), отношений и ограничений в виде индивидов (экземпляры классов), их свойств данных (атрибуты индивида) и семантических связей (объектные свойства) между индивидами.

Такое проблемно-ориентированное OWL-описание фактических данных может быть автоматически преобразовано в машинно-ориентированное RDF-представление [17, 21]. Тем самым, разработчик может программировать операции доступа агента  $KP$  и обработки им информационного содержимого ИП в терминах OWL-индивидов, их свойств данных и объектных свойств. При переводе в RDF-представление индивид преобразуется в набор троек с одинаковым значением субъекта (подграф RDF). Такой субъект называется идентификатором индивида. Далее в работе будем использовать понятие OWL-индивидов, но детали предлагаемых решений также приводить в терминах RDF-троек, на уровне которых непосредственно оперирует брокер SIB.

Рассмотрим организацию взаимодействия (1) на основе операции подписки. Результатом взаимодействия агентов  $KP_{snd}$  и  $KP_{rcv}$  является передача от  $KP_{snd}$  факта о наступлении события для вызова определенной реакции на стороне  $KP_{rcv}$ . Такой вариант может включать и передачу необходимых данных для выполнения действий (напр., для построения сервиса). При реализации агентов  $KP_{snd}$  и  $KP_{rcv}$  разработчику необходимо выделить в онтологии приложения свойства, отвечающие за каждый используемый вариант взаимодействия (1). На эти свойства подписывается агент  $KP_{rcv}$ . При их изменении в  $I$  агент  $KP_{snd}$  получает обновленные значения и соответствующим образом реагирует. В предметной области подходящие свойства не всегда присутствуют явно, и требуется вводить дополнительные свойства в онтологию приложения.

В настоящее время нет общего подхода к выбору и добавлению таких свойств. Кроме того, при проектировании необходимо решать задачу о передаче обновленных значений свойств, которые определяют исходные данные для выполнения действий агентом  $KP_{rcv}$ . Рассмотрим пример на рисунке 1. Пусть агент  $KP_{snd}$  изменяет часть свойств (публикует) некоторого индивида. В базовой операции подписки (платформа Smart-M3) информирование  $KP_{rcv}$  об изменениях происходит отдельно для каждого обновленного свойства. Однако, агенту  $KP_{rcv}$  необходимо получить индивида целиком со всеми его обновленными свойствами. Определение момента завершения множественного изменения индивида в ИП является нетривиальной задачей. Дополнительные сложности появляются, когда требуется организовать взаимодействие с подпиской на свойства сразу нескольких индивидов.



Рис. 1. Пример подписки агента  $KP_{rcv}$  на несколько онтологических свойств одного или более индивидов

В итоге, требуемое решение задачи организации взаимодействия агентов  $KP$  на основе операции подписки должно обладать следующими свойствами: 1) инициирование выполнения действий для каждого требуемого в приложении варианта взаимодействия, 2) возможность передачи всех исходных данных для выполнения действий, 3) общий подход к описанию в онтологии приложения свойств для организации взаимодействия, 4) расширяемость при добавлении вариантов взаимодействия в приложение.

**4. Модель уведомлений.** Предлагаемая далее модель уведомлений является концептуальной. Известно, что концептуальная модель предоставляет систематизированное содержательное описание предметной области или проблемной ситуации. В случае модели уведомлений проблемной ситуацией выступает взаимодействие между агентами. Такая модель определяет: (а) способ описания (представления) дополнительных онтологических классов и свойств для организации взаимодействия между двумя или более агентами  $KP$  на основе операции подписки и (б) схему использования этого онтологического описания при программировании взаимодействия в агентах  $KP$ . Как будет

показано далее, за счет онтологического описания становится возможным проблемно-ориентированное проектирование и программирование взаимодействия на уровне каждого отдельного агента приложения.

Модель уведомлений предназначена для организации следующих двух типов взаимодействия:

– запрос: получатель  $KP_{rcv}$  осуществляет требуемые действия, используя исходные данные от агента  $KP_{snd}$ ;

– событие: получатель  $KP_{rcv}$  реагирует на определенное событие (информацию), о котором информирует отправитель  $KP_{snd}$ .

Они определяют две функциональные точки зрения на агента  $KP_{rcv}$ : обработчик данных или реагирующий модуль. Первая точка зрения ближе к процедурному программированию, тогда как вторая соответствует событийно-ориентированному программированию.

Определим уведомление  $x$  как информационное сообщение для организации взаимодействия, отправляемое агентом  $KP_{snd}$  при выполнении определенного условия  $e$  и получаемое агентом  $KP_{rcv}$ . В частности, уведомление содержит исходные данные — параметры уведомления, если взаимодействие является вариантом запроса. Каждое уведомление соответствует отдельному варианту взаимодействия. Прикладной разработчик при проектировании приложения должен определить список уведомлений, отражающих все требуемые варианты взаимодействия агентов  $KP$ .

Рассмотрим двунаправленное расширение взаимодействия (1):

$$KP_{snd} \leftrightarrow KP_{rcv}, \quad (2)$$

Во взаимодействии (2) могут участвовать несколько агентов  $KP_{snd}$  и несколько агентов  $KP_{rcv}$ . Схема использования уведомлений при организации взаимодействия (2) состоит из нижеперечисленных шагов (рисунок 2), программируемых в агентах  $KP_{snd}$  и  $KP_{rcv}$ . Перед выполнением этих шагов агенты должны подписаться на уведомления.

1. При выполнении определенного условия  $e$  агенту  $KP_{snd}$  необходимо инициировать выполнение действий некоторым агентом  $KP_{rcv}$ . Тогда  $KP_{snd}$  формирует уведомление  $x$  с  $n$  параметрами и публикует его в  $I$ .

2. Агент  $KP_{rcv}$  обнаруживает факт публикации уведомления по подписке и получает уведомление  $x$  из  $I$ .

3. Агент  $KP_{rcv}$  обрабатывает уведомление  $x$ :

- 1) получает значения параметров уведомления;
- 2) выполняет действия, требуемые данным вариантом взаимодействия, используя исходные данные из полученного уведомления;
- 3) удаляет уведомление  $x$  (если тип взаимодействия — запрос).

4. Агент  $KP_{rcv}$  формирует и публикует в  $I$  ответное уведомление  $y$  с результатами выполнения своих действий.

5. Агент  $KP_{snd}$  получает ответное уведомление  $y$  с помощью операции подписки, реагирует и удаляет уведомление  $y$ .

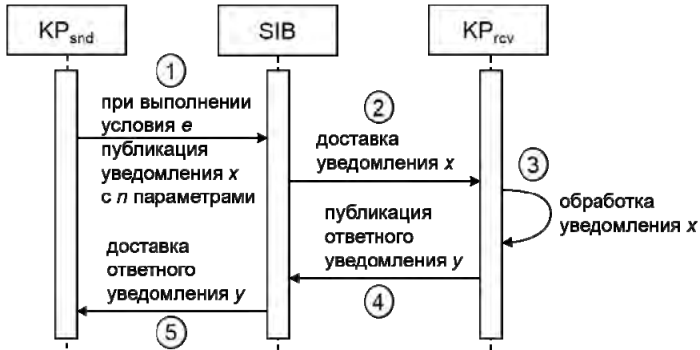


Рис. 2. Схема использования уведомлений агентами  $KP_{snd}$  и  $KP_{rcv}$

Шаги 1-3 являются обязательными для взаимодействия (2). Шаги 4-5 реализуют обратную связь и могут быть пропущены, если это не требуется заданным вариантом взаимодействия в приложении.

Таким образом, при разработке каждого агента  $KP$  разработчик должен учитывать следующие свойства уведомлений: представление (форма уведомления), момент инициации (отправки), тип взаимодействия (запрос или событие), наличие ответного уведомления и момент удаления. Отдельного внимания требует и вопрос производительности из-за использования ресурсоемкой операции подписки.

*Представление:* простое уведомление (индивид уведомления) содержит только один параметр и состоит из двух RDF-троек:

$\langle id_x \rangle, rdf:type, \langle class_x \rangle$   
 $\langle id_x \rangle, \langle name_x \rangle, \langle value \rangle$

Здесь  $\langle id_x \rangle$  — идентификатор индивида уведомления  $x$ ,  $rdf:type$  — стандартный предикат RDF, описывающий тип индивида,  $\langle class_x \rangle$  — класс из онтологии, описывающий уведомление,  $\langle name_x \rangle$  — свойство из онтологии, описывающее название уведомления (или его параметра),  $\langle value \rangle$  — значение параметра (текстовые данные или идентификатор индивида из онтологии приложения). Параметр содержит данные, которые необходимо передать получателю уведомления. Онтологический класс может содержать несколько свойств, т.е. описывать несколько различных уведомлений.

Составное уведомление состоит из набора RDF-троек для представления передаваемых параметров:

```
<idx>, rdf:type, <classx>  
<idx>, <namex>, <idind>  
<idind>, rdf:type, <classind>  
<idind>, <p1>, <value1>  
...  
<idind>, <pn>, <valuen>
```

Здесь  $\langle \text{name}_x \rangle$  — название уведомления (вид запроса или события),  $\langle \text{id}_{\text{ind}} \rangle$  — идентификатор дополнительного индивида, хранящего все параметры уведомления,  $\langle \text{class}_{\text{ind}} \rangle$  — онтологический класс, описывающий дополнительного индивида,  $\langle p_i \rangle$  — название  $i$ -го параметра уведомления ( $i = 1, \dots, n$ ),  $\langle \text{value}_i \rangle$  — значение  $i$ -го параметра.

Такое представление уведомлений задает расширение онтологии приложения (рисунок 3). Каждое уведомление имеет один или более параметров, значение каждого хранится как объект RDF-тройки уведомления. Значением параметра могут быть строковые данные (свойство-значение) или идентификатор индивида из ИП (объектное свойство). Таким образом, уведомление может быть связано с индивидом (его идентификатором), как это схематично показано на рисунке 4. Тем самым, взаимодействие между агентами  $KP$  осуществляется за счет публикации и изменения данных из онтологии уведомлений, тогда как данные из онтологии приложения остаются неизменными.

Для выполнения взаимодействия между агентами  $KP$  на основе операции подписки требуется изменение определенных данных в  $I$ . Без модели уведомлений для передачи информации от  $KP_{\text{rcv}}$  к  $KP_{\text{snd}}$  потребовалось бы непосредственное изменение свойств индивидов из онтологии приложения. Однако не во всех предметных областях заданы свойства, изменение которых инициирует взаимодействие между агентами  $KP$ . Например, для передачи текстового сообщения от  $KP_{\text{rcv}}$  к  $KP_{\text{snd}}$  не требуется изменения данных из предметной области приложения, поэтому онтология приложения не содержит в себе классы и свойства для описания таких сообщений. В этом случае разработчику необходимо расширить онтологию приложения. Модель уведомлений предлагает общий способ для описания всех таких свойств, которые отвечают за инициирование взаимодействия. Более того, предлагаемые уведомления описывают и формат обмена информацией между агентами  $KP$  в случае, если они используют разные онтологии.

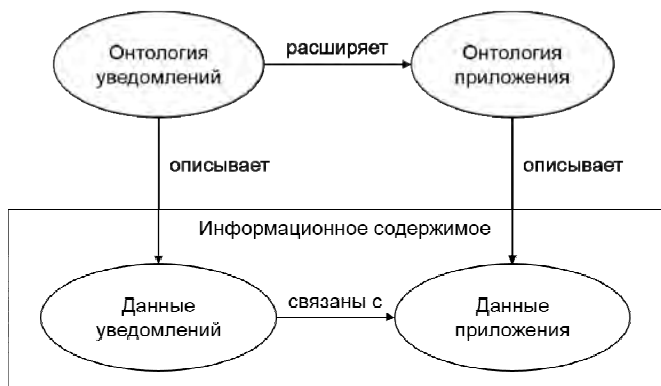


Рис. 3. Связь между уведомлениями и онтологией приложения

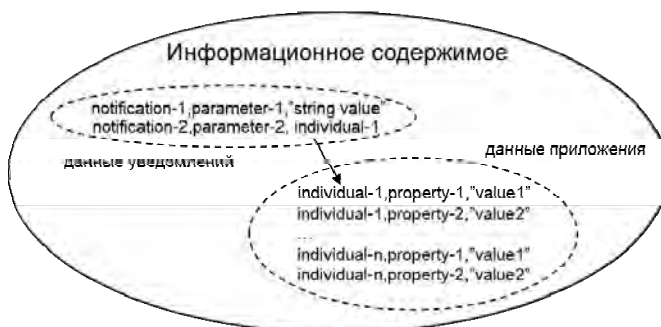


Рис. 4. Пример связи между уведомлением и данными приложения

*Инициация взаимодействия:* в зависимости от момента отправки на стороне агента  $KP_{snd}$  уведомления делятся на реактивные и проактивные (упреждающие). Момент отправки наступает при выполнении условия  $e$ , которое определяется разработчиком агента  $KP$ .

Реактивные уведомления соответствуют явной инициации пользователем (команда) на отправку уведомления от агента  $KP_{snd}$  для выполнения требуемых действий агентом  $KP_{rcv}$ . В этом случае агент  $KP_{snd}$ , как правило, ожидает ответного уведомления с результатом выполненных действий.

Проактивное уведомление агент  $KP_{snd}$  посылает без явной команды от пользователя и, как правило, не ожидает ответного уведомления. Контекст пользователя формирует неявную зависимость от активности пользователя: агент  $KP_{snd}$  в фоновом режиме анализирует контекст (параллельно с основной активностью пользователя) и затем осуществляет отправку уведомления. Проактивные уведомления

обычно используются при событийно-ориентированном программировании взаимодействия между агентами  $KP$ .

Пример реактивного уведомления: пользователь запускает агента  $KP_{snd}$  (клиентская программа) для получения информационного сервиса. Сервисный агент  $KP_{rcv}$  отвечает за построение сервиса. По команде пользователя клиентский агент  $KP_{snd}$  отправляет реактивное уведомление и ожидает ответа. Пользователь явно вовлечен в процесс инициации взаимодействия.

Пример проактивного уведомления: сервисный агент  $KP_{rcv}$  выполняет рекомендательную функцию (напр., анализирует данные, с которыми работает пользователь, и предлагает сходные данные из других источников). На клиентском агенте  $KP_{snd}$  пользователь просматривает информацию в рамках своей основной деятельности. Параллельно, агент  $KP_{snd}$  автоматически посылает уведомления, описывающие контекст работы пользователя. Сервисный агент  $KP_{rcv}$  реагирует и формирует рекомендации, которые уже явно получает пользователь. Отметим, что сервисный агент  $KP_{rcv}$  может быть отключен, а приложение продолжит работу (с ограниченным набором сервисов).

*Тип взаимодействия:* по запросу или по событию. Уведомление-запрос используется для выполнения определенного действия другим агентом  $KP$  (один получатель). В предыдущих рассмотренных примерах использовалось уведомление-запрос: клиентский агент  $KP_{snd}$  запрашивал (реактивно или проактивно) сервисный агент  $KP_{rcv}$ . Уведомление-событие позволяет информировать других агентов  $KP$  (получателей может быть несколько) о наступлении события. Например, уведомление посылается, когда пользователь читает, а факт чтения может быть использован для приостановки формирования рекомендаций сервисным агентом  $KP_{rcv}$  (т.е. реализуется, что чтение — это непрерываемая деятельность).

*Ответное уведомление:* в зависимости от цели взаимодействия, агент  $KP_{snd}$  ожидает или нет ответного уведомления с результатом выполнения запрошенных действий.

*Удаление:* уведомление-запрос удаляется из  $I$  получателем  $KP_{rcv}$ , когда он выполнит необходимые действия. Уведомление-событие удаляется отправителем  $KP_{snd}$ , который сам определяет длительность нахождения уведомления в ИП.

*Производительность:* операция подписки является ресурсоемкой операцией, поэтому каждый агент  $KP$  должен ограничивать число одновременно работающих подписок. В предлагаемой модели обработка всех уведомлений для заданного варианта взаимодействия мо-



жет быть реализована с помощью одной подписки на следующие RDF тройки-шаблоны:

$$\langle \text{id}_x \rangle, *, * ; \quad (3)$$

или

$$*, \text{rdf:type}, \langle \text{class}_x \rangle, \quad (4)$$

где маска  $*$  представляет любое значение,  $\langle \text{id}_x \rangle$  — идентификатор уведомления,  $\langle \text{class}_x \rangle$  — класс онтологии, описывающий уведомление. Подписка (3) происходит на индивида, агент  $KP$  имеет свой уникальный идентификатор уведомления и подписка срабатывает при изменении свойств соответствующего индивида уведомления. Подписка (4) выполняется на онтологический класс и срабатывает при появлении или удалении индивида уведомления в  $I$ , а не при изменении свойств этого индивида. Такой вариант не привязан к идентификатору определенного уведомления.

Подписка (3) может использоваться в небольших системах, где достаточно завести один онтологический класс для уведомлений. Подписка (4) предназначена для систем, в которых каждый класс онтологии соответствует отдельному типу агента  $KP$ . Также, в (3), из-за подписки на фиксированный идентификатор уведомления (субъект тройки), невозможна отправка двух одинаковых уведомлений (т.к. предикат и объект тройки будут теми же самими). Таким образом, требуется обработка и удаление из  $I$  уведомления, чтобы можно было отправить следующее. В (4) такого ограничения нет, поскольку индивиды уведомления имеют различные идентификаторы (субъекты тройки).

После получения основной тройки уведомления по подписке агент должен получить параметры. Их число влияет на производительность агента  $KP_{\text{rev}}$  при обработке уведомления, как это будет рассмотрено далее в п. 5.

**5. Применение модели.** Предложенная модель уведомлений дает проблемно-ориентированный способ для организации взаимодействия агентов  $KP$ , применимый для широкого круга приложений ИП на платформе Smart-M3. Рассмотрим систему SmartScribo [22] в качестве примера. Система предназначена для мобильного мультиблоггинга: пользователи с персональных мобильных компьютеров взаимодействуют одновременно с несколькими блогами на внешних блог-сервисах. В ИП разделяется персональная информация пользователя и данные о его блогах. Архитектура системы представлена на рисунке 5. В системе выделяется три типа агентов  $KP$ :  $KP$ -клиент, блог-процессор и  $KP$ -посредник.  $KP$ -клиент реализует интерфейс пользователя. Блог-

процессор отвечает за доступ к заданному блог-сервису. Для каждого подключаемого к системе блог-сервиса нужен соответствующий блог-процессор. КР-посредник выполняет дополнительный анализ и обработку текущего содержимого ИП (напр., персонализированная рекомендация блогов для просмотра).

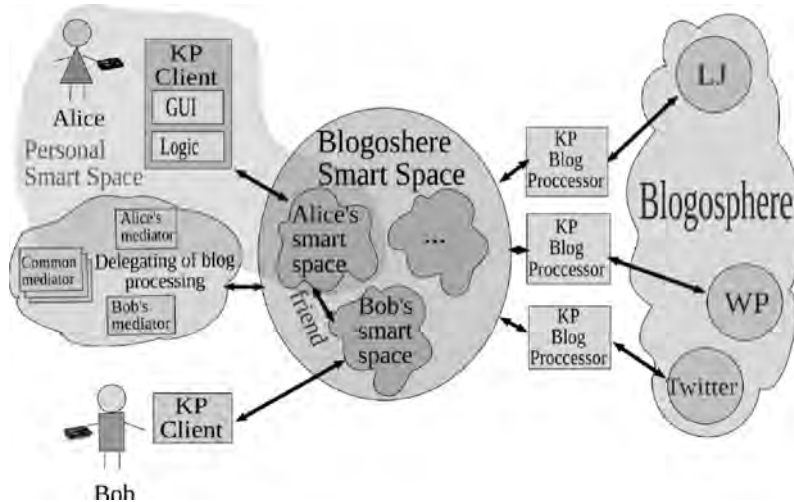


Рис. 5. Архитектура системы SmartScribo

Работа пользователя организована следующим образом. На клиентском агенте *КР* пользователь выбирает блоги для подключения. Блог-процессоры загружают посты с выбранных блогов. Затем пользователь может читать/изменять существующие посты или создавать новые. При создании нового поста или изменении существующего, блог-процессоры отражают изменения на блог-сервисах.

В ИП может храниться информация о многих постах и блогах различных пользователей. При использовании подписки на отдельные свойства индивидов постов, блог-процессор должен определить, какие посты были обновлены, а также когда обновленный индивид поста должен быть отправлен на блог-сервис. Например, у индивида поста есть такие свойства, как заголовок (title), текст, тэги. Блог-процессор может подписаться на тройку-шаблон: "<post\_id>, title, \*" и, аналогично, для других свойств поста. Он даже может подписаться на тройку "<post\_id>, \*, \*". Однако, в обоих случаях агент *КР* будет получать обновления по подписке отдельно для каждого свойства и момент завершения изменения поста не определен явным образом.

Кроме того, посты динамически создаются и удаляются в ИП. Каждый раз устанавливать и снимать подписку — неэффективно. Хотя блог-процессор может подписаться на свойства, относящиеся к любому индивиду поста, например, "\*", title, \*". Однако, подписка все равно будет информировать об изменении каждого свойства отдельно. В этом случае обновления будут относиться к различным индивидам поста. Для решения указанных проблем используют предложенную модель уведомлений. Она позволит информировать блог-процессор о необходимости выполнить требуемое действие с определенным индивидом поста.

Список уведомлений, используемых для осуществления взаимодействия между КР-клиентом и блог-процессором в системе SmartScribo, представлен в таблице 1. Все уведомления являются реактивными уведомлениями-запросами, т.к. отправляются после действий пользователя и требуют выполнения операций от блог-процессора. Каждое уведомление требует ответного уведомления, которое информирует пользователя о результате выполнения операции. В качестве параметров уведомлений используются идентификаторы индивидов: субъект тройки, описывающий определенную учетную запись, пост или комментарий.

Таблица 1. Список уведомлений в системе SmartScribo

Уведомление (вариант взаимодействия)	Параметры	Описание
refreshAccount	учетная запись	получить информацию об учетной записи блога
refreshPosts	учетная запись	получить посты заданной учетной записи
sendPost	учетная запись, пост	отправить пост
editPost	прошлый пост, новый пост	заменить прошлый пост на новый
delPost	учетная запись, пост	удалить пост
refreshComments	учетная запись	получить комментарии всех постов учетной записи
sendComment	учетная запись, комментарий, родительский объект	отправить комментарий на родительский объект (пост или комментарий)
delComment	учетная запись, комментарий, родительский объект	удалить комментарий у родительского объекта (поста или комментария)

Рассмотрим простое уведомление "refreshPosts". Оно имеет вид:

```
Notification-<service>, rdf:type, Notification
Notification-<service>, refreshPosts, <account_id>
```

Здесь <service> — тип блог сервиса (например "LJ" для LiveJournal), <account\_id> — идентификатор индивида учетной записи. Различные идентификаторы сервисов используются для распределения уведомлений между различными блог-процессорами. Согласно (3) каждый блог-процессор подписывается на шаблон тройки, субъект которой — идентификатор сервиса, а предикат и объект – любые значения. Для блог-процессора, работающего с сервисом LiveJournal, шаблон тройки имеет вид "Notification-LJ, \*, \*".

Пользователь SmartScribo указывает учетные записи для блогов с помощью КР-клиента. Затем он может обновлять список постов для каждой учетной записи. КР-клиент публикует индивида учетной записи со всеми необходимыми для доступа к блог-сервису свойствами и публикует уведомление "refreshPosts". Блог-процессор получает уведомление по подписке, извлекает данные об учетной записи из ИП, получает список постов с блог-сервиса и удаляет уведомление. Затем блог-процессор публикует список постов в ИП и отправляет ответное уведомление для КР-клиента об удачном завершении операции.

Рассмотрим сложное уведомление "sendPost". Оно имеет вид:

```
Notification-<service>, rdf:type, Notification
Notification-<service>, sendPost, <notif_ind>
<notif_ind>, rdf:type, NotificationParameter
<notif_ind>, postAcc, <account_id>
<notif_ind>, postId, <post_id>
```

Здесь <service> — тип блог-сервиса, <notif\_ind> — идентификатор дополнительного индивида уведомления, хранящего параметры уведомления, <account\_id> — идентификатор индивида учетной записи, <post\_id> — идентификатор индивида поста. Пользователь (на КР-клиенте) создает новый пост и публикует его и уведомление в ИП. Блог-процессор получает уведомление по подписке, извлекает идентификатор индивидов учетной записи и поста, получает свойства поста по идентификатору поста и отправляет пост на внешний блог-сервис. После этого блог-процессор удаляет обработанное уведомление и публикует ответное уведомление для КР-клиента.

**6. Экспериментальная оценка производительности.** Число параметров в уведомлении влияет на производительность приложения при обработке уведомления из-за особенностей операции подпис-

ки [9]. Рассмотрим экспериментальную оценку зависимости времени обработки уведомления от числа параметров.

Пусть  $t(n)$  — это время, прошедшее с момента отправки уведомления агентом  $KP_{snd}$  до получения результата агентом  $KP_{rcv}$ . Нами проведено два типа экспериментов: 1) все  $n$  параметров уведомления извлекаются одним запросом, 2) каждый параметр  $i = 1, 2, \dots, n$  получается отдельным запросом (запрос из  $n$  итераций) тройки-шаблона:

$$\langle id_{ind} \rangle, \langle p_i \rangle, * .$$

С точки зрения производительности, первый тип соответствует наилучшему варианту реализации подписки агентом  $KP_{rcv}$  на уведомление с  $n$  параметрами. Второй тип демонстрирует производительность наихудшего случая, когда агент  $KP_{rcv}$  запускает запросы в цикле для получения всех  $n$  параметров. Пусть  $t_{bst}(n)$  и  $t_{wst}(n)$  — измеряемые оценки затрачиваемого времени. Таким образом, они будут показывать нижнюю и верхнюю границы производительности.

В экспериментах брокер SIB запущен на серверной ЭВМ. На персональном компьютере были запущены агенты  $KP_{snd}$  и  $KP_{rcv}$  (реализованы на языке Python). Выбранные серверная ЭВМ и персональный компьютер находятся в различных локальных сетях, в среднем  $RTT = 3$  мс. В реальной ситуации агенты  $KP_{snd}$  и  $KP_{rcv}$  обычно запущены на разных компьютерах. Использование общего компьютера для агентов упростило измерение времени, исключив необходимость синхронизации времени. В то же время, каждый из этих агентов  $KP$  взаимодействует по сети непосредственно лишь с брокером SIB, а следовательно запуск агентов на одном компьютере достаточно близок к ситуации, когда эти агенты работают на двух одинаковых равноудаленных от серверной ЭВМ компьютерах.

Каждая итерация измерений состоит из шагов: 1)  $KP_{snd}$  отправляет уведомление с  $n$ -параметрами в SIB, 2)  $KP_{rcv}$  получает уведомление от брокера SIB, получает значения всех  $n$  параметров и удаляет уведомление. Выполнено по 100 измерений для каждого значения  $n$ , варьируемого от 1 до 100, с вычислением средних значений для  $t_{bst}(n)$  и  $t_{wst}(n)$ . Результат представлен на рисунке 6 (а) для  $n$  усеченного до 50, чтобы растущая разность между  $t_{bst}(n)$  и  $t_{wst}(n)$  не скрыла детали.

Поведение  $t_{bst}(n)$  и  $t_{wst}(n)$  хорошо описывается линейной регрессией (построена для  $n$  от 1 до 100 с вычислением угловых коэффициентов  $k$ ). Разница угловых коэффициентов показывает более быстрый рост  $t_{wst}(n)$  по сравнению с  $t_{bst}(n)$ . Этот факт является следствием организации запроса в виде цикла. Такой циклический вариант также при-

водит к большей вариабельности для  $t_{wst}(n)$  (для каждого  $n$  на графике показано среднеквадратическое отклонение).

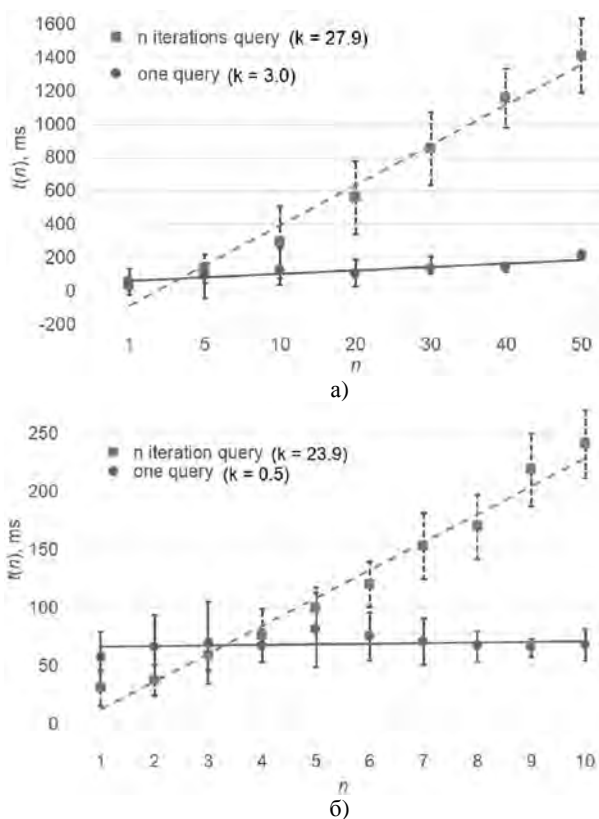


Рис. 1. Экспериментальное поведение: а)  $t_{bst}(n)$ ; б)  $t_{wst}(n)$

Наблюдаемый линейный рост  $t_{bst}(n)$  имеет малый угловой коэффициент  $k$ . Наличие такого роста вызвано увеличением времени обработки данных на стороне SIB и необходимостью передачи большего объема данных по сети при увеличении  $n$ . В целом, эксперименты позволяют сделать вывод, что предложенная модель уведомлений сохраняет приемлемую производительность даже для больших значений  $n$ .

Разумно предполагать, что для большинства Smart-M3 приложений значение  $n$  ограничено, т.е. события, инициирующие взаимодействие, имеют компактное описание в силу особенностей предметной области. График на рисунке б (б) показывает измерения для всех

$n = 1, 2, \dots, 10$  с построением линейной регрессии только для данного отрезка. Как и ранее, наблюдается линейное поведение, но угловые коэффициенты  $k$  меньше по сравнению со случаем для  $n \leq 100$ . При небольших  $n$  угловой коэффициент  $k$  линейной регрессии для  $t_{bst}(n)$  практически равен нулю, т.е. временные затраты близки к константе.

Отметим, что изменение угловых коэффициентов линейной регрессии при смене интервалов для  $n$  свидетельствует о наличии нелинейного эффекта в производительности. Так, для  $t_{wst}(n)$  коэффициент  $k$  равен 27.9 и 23.9 при  $n \leq 100$  и  $n \leq 10$ , соответственно. Причиной такого эффекта является нелинейность по  $n$  затрат времени на выполнение а) поисковых запросов (3) и (4) на стороне SIB и б) сетевой передачи данных между брокером SIB и агентом *KP*.

**7. Заключение.** В статье предложена модель уведомлений, предоставляющая общий проблемно-ориентированный способ для организации взаимодействия между агентами *KP* в рамках заданного программного приложения ИП на платформе Smart-M3. Модель уведомлений позволяет одним агентам *KP* информировать других агентов о наступлении событий или отправлять параметризованные запросы на выполнение действий. Все возможные варианты взаимодействия описываются в виде онтологии, расширяющей исходную онтологию приложения. Проведенные эксперименты подтверждают применимость модели при разработке Smart-M3 приложений.

### Литература

1. Cook D.J., Das S.K. How smart are our environments? An updated look at the state of the art // *Pervasive and mobile computing*. 2007. vol. 3. no. 2. pp. 53–73.
2. Chen H. et al. Intelligent agents meet the semantic web in smart spaces // *Internet Computing*, IEEE. 2004. vol. 8. no. 6. pp. 69–79.
3. Balandin S., Waris H. Key properties in the development of smart spaces // *Universal Access in Human-Computer Interaction. Intelligent and Ubiquitous Interaction Environments*. Springer Berlin Heidelberg. 2009. pp. 3–12.
4. Kiljander J. et al. Enabling semantic technology empowered smart spaces // *Journal of Computer Networks and Communications*. 2012. vol. 2012. pp. 1–14.
5. Ovaska E., Cinotti T.S., Toninelli A. The design principles and practices of interoperable smart spaces // *Advanced Design Approaches to Emerging Software Systems: Principles, Methodology and Tools*. 2012. pp. 18–47.
6. Korzun D.G., Balandin S.I., Gurtov A.V. Deployment of Smart Spaces in Internet of Things: Overview of the design challenges // *Internet of Things, Smart Spaces, and Next Generation Networking*. Springer Berlin Heidelberg. 2013. pp. 48–59.
7. Honkola J. et al. Smart-M3 information sharing platform // *ISCC*. 2010. pp. 1041–1046.
8. Klyne G., Carroll J.J. Resource description framework (RDF): Concepts and abstract syntax. 2006.

9. Ломов А.А., Корзун Д.Ж. Операция подписки для приложений в интеллектуальных пространствах платформы Smart-M3 // Труды СПИИРАН. 2012. Т. 4. № 23. С. 439–458.
10. Corkill D.D. Collaborating software: Blackboard and multi-agent systems & the future // Proceedings of the International Lisp Conference. 2003. vol. 10.
11. Eugster P.T. et al. The many faces of publish/subscribe // ACM Computing Surveys (CSUR). 2003. vol. 35. no. 2. pp. 114–131.
12. Smirnov A. et al. Anonymous agent coordination in smart spaces: State-of-the-art // Smart Spaces and Next Generation Wired/Wireless Networking. Springer Berlin Heidelberg. 2009. pp. 42–51.
13. Carzaniga A., Rosenblum D.S., Wolf A.L. Design and evaluation of a wide-area event notification service // ACM Transactions on Computer Systems (TOCS). 2001. vol. 19. no. 3. pp. 332–383.
14. Городецкий В.И. Агенты и извлечение знаний из данных в интеллектуальном пространстве. // Сборник трудов первой международной конференции «Автоматизация управления и интеллектуальные системы и среды». Терскол. 2010. С. 24–36.
15. Shi D. et al. An RDF-Based Publish/Subscribe System // Third International Conference on Semantics, Knowledge and Grid (SKG 2007). IEEE. 2007. pp. 342–345.
16. Gutierrez C., Hurtado C., Mendelzon A.O. Foundations of semantic web databases // Proceedings of the twenty-third ACM SIGMOD-SIGACT-SIGART symposium on Principles of database systems. ACM. 2004. pp. 95–106.
17. Корзун Д.Ж., Ломов А.А., Ванаг П.И. Автоматизированная модельно-ориентированная разработка программных агентов для интеллектуальных пространств на платформе Smart-M3 // Программная инженерия. 2012. № 5. С. 6–14.
18. Palviainen M., Katasonov A. Model and ontology-based development of smart space applications // Pervasive Computing and Communications Design and Deployment: Technologies, Trends, and Applications. 2011. pp. 126–149.
19. Соловьев В.Д. и др. Онтологии и тезаурусы. Учебное пособие // Казань, Москва. 2006. С. 75–90.
20. Bechhofer S. OWL: Web ontology language // Encyclopedia of Database Systems. Springer US. 2009. pp. 2008–2009.
21. Ломов А.А. Взаимодействие программного агента на уровне сессии с интеллектуальными пространствами // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. 2013. № 8 (137). С. 118–121.
22. Korzun D.G., Galov I.V., Balandin S.I. Proactive personalized mobile multi-blogging service on Smart-M3 // CIT. Journal of Computing and Information Technology. 2012. vol. 20. no. 3. pp. 175–182.

## References

1. Cook D.J., Das S.K. How smart are our environments? An updated look at the state of the art. Pervasive and mobile computing. 2007. vol. 3. no. 2. pp. 53–73.
2. Chen H. et al. Intelligent agents meet the semantic web in smart spaces. Internet Computing, IEEE. 2004. vol. 8. no. 6. pp. 69–79.
3. Balandin S., Waris H. Key properties in the development of smart spaces. Universal Access in Human-Computer Interaction. Intelligent and Ubiquitous Interaction Environments. Springer Berlin Heidelberg. 2009. pp. 3–12.
4. Kiljander J. et al. Enabling semantic technology empowered smart spaces. Journal of Computer Networks and Communications. 2012. vol. 2012. pp. 1–14.
5. Ovaska E., Cinotti T.S., Toninelli A. The design principles and practices of interoperable smart spaces. Advanced Design Approaches to Emerging Software Systems: Principles, Methodology and Tools. 2012. pp. 18–47.



6. Korzun D.G., Balandin S.I., Gurtov A.V. Deployment of Smart Spaces in Internet of Things: Overview of the design challenges. *Internet of Things, Smart Spaces, and Next Generation Networking*. Springer Berlin Heidelberg. 2013. pp. 48–59.
7. Honkola J. et al. Smart-M3 information sharing platform. *ISCC*. 2010. pp. 1041–1046.
8. Klyne G., Carroll J.J. Resource description framework (RDF): Concepts and abstract syntax. 2006.
9. Lomov A.A., Korzun D.G. [Subscription operation for smart space applications on Smart-M3 platform]. *Trudy SPIIRAN – SPIIRAS Proceedings*. 2012. vol. 4. no. 23. pp. 439–458. (In Russ.).
10. Corkill D.D. Collaborating software: Blackboard and multi-agent systems & the future. *Proceedings of the International Lisp Conference*. 2003. vol. 10.
11. Eugster P.T. et al. The many faces of publish/subscribe. *ACM Computing Surveys (CSUR)*. 2003. vol. 35. no. 2. pp. 114–131.
12. Smirnov A. et al. Anonymous agent coordination in smart spaces: State-of-the-art. *Smart Spaces and Next Generation Wired/Wireless Networking*. Springer Berlin Heidelberg. 2009. pp. 42–51.
13. Carzaniga A., Rosenblum D.S., Wolf A.L. Design and evaluation of a wide-area event notification service. *ACM Transactions on Computer Systems (TOCS)*. 2001. vol. 19. no. 3. pp. 332–383.
14. Gorodetskiy V.I. [Agents and knowledge extracting from data in the smart space]. *Sbornik trudov pervoy mezhdunarodnoy konferentsii «Avtomatizatsiya upravleniya i intellektual'nye sistemy i sredy»* [Proceedings of the First International Conference «Control Automatization and Smart Systems and Environments»]. Terskol. 2010. pp. 24–36. (In Russ.).
15. Shi D. et al. An RDF-Based Publish/Subscribe System. *Third International Conference on Semantics, Knowledge and Grid (SKG 2007)*. IEEE. 2007. pp. 342–345.
16. Gutierrez C., Hurtado C., Mendelzon A.O. Foundations of semantic web databases. *Proceedings of the twenty-third ACM SIGMOD-SIGACT-SIGART symposium on Principles of database systems*. ACM. 2004. pp. 95–106.
17. Korzun D.G., Lomov A.A., Vanag P.I. [Automated model-oriented development of software agents for smart spaces on Smart-M3 platform]. *Programmnaya inzheneriya – Software engineering*. 2012. no. 5. pp. 6–14. (In Russ.).
18. Palviainen M., Katasonov A. Model and ontology-based development of smart space applications. *Pervasive Computing and Communications Design and Deployment: Technologies, Trends, and Applications*. 2011. pp. 126–149.
19. Solovyev V.D. et al. *Ontologii i tezaurusy. Uchebnoe posobie* [Ontologies and thesauruses. Textbook]. Kazan', Moscow. 2006. pp. 75–90. (In Russ.).
20. Bechhofer S. OWL: Web ontology language. *Encyclopedia of Database Systems*. Springer US, 2009. pp. 2008–2009.
21. Lomov A.A. [Interaction of software agent on session level with smart spaces]. *Uchenye zapiski Petrozavodskogo gosudarstvennogo universiteta – Scientific notes of Petrozavodsk state university*. 2013. no. 8(137). pp. 118–121. (In Russ.).
22. Korzun D.G., Galov I.V., Balandin S.I. Proactive personalized mobile multi-blogging service on Smart-M3. *CIT. Journal of Computing and Information Technology*. 2012. vol. 20. no. 3. pp. 175–182.

**Галов Иван Викторович** — аспирант, младший научный сотрудник, кафедра информатики и математического обеспечения, математический факультет, Петрозаводский государственный университет (ПетрГУ). Область научных интересов: интеллектуальные пространства, семантический веб, онтологическое моделирование. Число научных публикаций — 23. galov@cs.karelia.ru; пр. Ленина, д. 33, г. Петрозаводск, 185910, РФ; р.т. +7(8142)711015.

**Galov Ivan Viktorovich** — Ph.D. student, researcher, Department of Computer Science, Faculty of Mathematics, Petrozavodsk State University (PetrSU). Research interests: smart spaces, semantic web, ontological modeling. The number of publications — 23. galov@cs.karelia.ru; Lenin St. 33, Petrozavodsk, 185910, Russia; phone +7(8142)711015.

**Корзун Дмитрий Жоржевич** — к-т физ.-мат. наук, доцент, ведущий научный сотрудник, кафедра информатики и математического обеспечения, математический факультет, Петрозаводский государственный университет (ПетрГУ). Область научных интересов: анализ распределенных систем, дискретное моделирование, повсеместные вычисления и интеллектуальные пространства, Интернет вещей, технологии разработки ПО, проектирование алгоритмов и вычислительная сложность, линейный диофантов анализ и его приложения, теория формальных языков и методы трансляции. Число научных публикаций — 129. dkorzun@cs.karelia.ru; пр. Ленина, д. 33, г. Петрозаводск, 185910, РФ; р.т. +7(8142)711084, факс +7(8142)711000.

**Korzun Dmitry Georzhevich** — Ph.D, associate professor, leader researcher, Department of Computer Science, Faculty of Mathematics, Petrozavodsk State University (PetrSU). Research interests: analysis and evaluation of distributed systems, discrete modeling, ubiquitous computing in smart spaces, Internet of Things, software engineering, algorithm design and complexity, linear Diophantine analysis and its applications, theory of formal languages and parsing. The number of publications — 129. dkorzun@cs.karelia.ru; Lenin St. 33, Petrozavodsk, 185910, Russia; office phone +7(8142)711084, fax +7(8142)711000.

**Поддержка исследований.** Исследование выполнено при финансовой поддержке Минобрнауки России по заданию № 2014/154 на выполнение государственных работ в сфере научной деятельности в рамках базовой части государственного задания, НИР № 1481. Работа выполнена при поддержке Программы стратегического развития ПетрГУ на 2012–2016 годы в рамках реализации комплекса мероприятий по развитию научно-исследовательской деятельности.

**Acknowledgements.** This research is financially supported by project #1481 from the basic part of state research assignment # 2014/154 of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation. The article was published with financial support from the Strategic Development Program of Petrozavodsk State University.

## РЕФЕРАТ

### *Галов И.В., Корзун Д.Ж.* **Модель уведомлений для разработки программных приложений интеллектуальных пространств.**

Платформа Smart-M3 позволяет создавать программные приложения интеллектуальных пространств на основе набора взаимодействующих друг с другом агентов. Такое взаимодействие выполняется через общее разделяемое информационное содержимое. Для реализации некоторых видов взаимодействия удобно использовать операцию подписки. В этом случае агент выполняет подписку на определенные свойства классов из онтологии приложения. Однако не во всех предметных областях заданы свойства, изменение которых инициирует взаимодействие между агентами, и разработчику требуется вводить дополнительные свойства в онтологию приложения. В настоящее время нет общего проблемно-ориентированного подхода к выбору и добавлению таких свойств.

В работе предлагается модель уведомлений, которая определяет: (а) способ описания дополнительных онтологических классов и свойств для организации взаимодействия между двумя или более агентами на основе операции подписки и (б) схему использования этого онтологического описания при программировании агентов. Схема использования уведомлений состоит из следующих шагов: 1) отправка уведомления, 2) получение уведомления, 3) обработка уведомления, 4) отправка ответного уведомления, 5) получение ответного уведомления. В проведенном исследовании рассмотрены основные свойства уведомления: его представление, момент инициации, тип взаимодействия, наличие ответного уведомления. Авторами приведен пример применения модели уведомлений для разработки программной системы мобильного мультимедийного блоггинга SmartScribo.

В статье также представлена экспериментальная оценка производительности взаимодействия, организуемого с помощью предложенной модели уведомлений. Показано, что скорость обработки уведомления при увеличении числа его параметров описывается линейной регрессией. Результаты экспериментов подтверждают применимость модели при разработке Smart-M3 приложений для развертывания в условиях реальных вычислительных сред.

## SUMMARY

### *Galov I.V., Korzun D.G.* **Notification model for smart space applications development.**

The Smart-M3 platform allows creating software applications of smart spaces based on a set of interacting agents. Interaction is organized via a shared informational content. For some types of interaction the subscription operation can be used. In this case, an agent establishes a subscription to certain properties from the application ontology. If the problem domain does not contain priory the properties the subscription requires, then the application developer has to introduce additional properties to the application ontology. Currently, there is no generic problem-oriented approach to selection and addition of such interaction-aware ontological properties.

This work proposes a notification model, which defines: (a) a way to describe additional ontological classes and properties needed for organizing the interaction between two or more agents based on the subscription operation and (b) a usage scheme of such ontological description in application agents programming. The scheme of notification usage consists of the following steps: 1) notification sending, 2) notification receiving, 3) notification processing, 4) reply notification sending, 5) reply notification reconvening. The study considers basic properties of a notification: its representation, initiation, type of interaction, reply notification. The authors discuss an example of applying the notification model in the development of practical software system SmartScribo for mobile multi-blogging.

The paper also introduces experimental performance evaluation of interactions organized using the proposed notification model. The processing time follows linear regression when increasing the number of parameters per notification. The experiment confirms applicability of the model for Smart-M3 application development for the case of real-life computing environments.

А.М. КАШЕВНИК, А.В. ПОНОМАРЕВ, С.В. САВОСИН  
**УПРАВЛЕНИЕ ГИБРИДНЫМИ СИСТЕМАМИ НА ОСНОВЕ  
ТЕХНОЛОГИИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ПРОСТРАНСТВ**

---

*Кашевник А.М., Пономарев А.В., Савосин С.В. Управление гибридными системами на основе технологии интеллектуальных пространств.*

**Аннотация.** В статье предложен подход к организации управления гибридными системами на основе технологии интеллектуальных пространств. Предложенный подход обладает двумя основными характеристиками, во-первых, управление гибридной системой децентрализовано и различные функции управления выполняются различными сервисами, взаимодействующими через онтолого-ориентированное интеллектуальное пространство; во-вторых, сами сервисы описываются с помощью формализма гибридных автоматов, что позволяет использовать аппарат модельно-управляемой разработки для создания гибридных систем управления. Рассмотрен сценарий взаимодействия различных физических устройств на примере системы «умный дом».

**Ключевые слова:** интеллектуальное пространство, гибридные системы, гибридный автомат, умный дом.

*Kashevnik A.M., Ponomarev A.V., Savosin S.V. Hybrid Systems Control Based on Smart Space Technology.*

**Abstract.** The paper presents an approach to hybrid systems control based on smart space technology. The approach proposed bears two primary distinctive features: first, hybrid system control is decentralized and various control functions are implemented in separate services, communicating via ontology-based smart space; second, the services are represented by a hybrid automata formalism allowing to employ a model-driven development for hybrid control systems. The approach is illustrated by practical communication scenario of several physical devices in the context of smart home environment.

**Keywords:** smart space, hybrid systems, hybrid automata, smart home.

---

**1. Введение.** Интеллектуальное пространство – интегрированное окружение, включающее вычислительные устройства, сенсоры и, возможно, исполнительные устройства, реализующее некоторую модель рассуждений о свойствах физического пространства и пользователя – физическом и пользовательском контексте – для прозрачного предоставления пользователю различных сервисов [1].

Интеллектуальные пространства находят широкое применение при создании систем класса «умный дом» («умный автомобиль», «умный зал», «умный город») [2-5]. Одной из особенностей такого класса систем является взаимодействие вычислительных устройств с физическими объектами, характеристики которых могут быть как дискретными, так и непрерывными, и, в том числе, обладать непрерывной динамикой. В некоторых сценариях оказывается достаточно дискретной модели такого физического объекта (свет может быть включен или выключен), в более общем случае, совокупность вычислительных устройств интеллектуального пространства и физической среды является

«гибридной системой», то есть системой, обладающей как дискретной, так и непрерывной динамикой.

Понятие «гибридная система» является удобным обобщением, предоставляющим понятийный и формальный аппарат для описания и моделирования широкого спектра задач в различных инженерных приложениях [4, 5]:

- в механических системах: движение объектов, прерываемое их столкновениями;

- в электрических цепях: непрерывные процессы, такие, например, как зарядка конденсаторов, прерываемые включением и выключением тока в цепи;

- в химической промышленности: непрерывный ход химической реакции, управляемый дискретным состоянием клапанов и насосов;

- во встроенных вычислительных системах: цифровой (следовательно, дискретный) компьютер, взаимодействующий с преимущественно аналоговым окружением.

Исследования в области формализации и анализа гибридных систем показали, что одним из самых популярных подходов к описанию поведения элементов в таких системах является гибридный автомат. Гибридный автомат – это направленный граф, каждому узлу которого приписана динамическая система, а дугам – условия перехода между узлами. В качестве узла может также выступать гибридный автомат.

В целом, авторами развивается подход к созданию киберфизических систем, основанный на а) обмене информацией через онтологически ориентированное интеллектуальное пространство; б) разработке/верификации отдельных сервисов интеллектуального пространства на базе формализма гибридных автоматов. Использование онтологического описания для взаимодействующих сервисов позволяет осуществлять поддержку их интероперабельности. Описание элементов системы с помощью гибридных автоматов позволяет формализовать их поведение, осуществлять автоматическую генерацию программного кода элементов, а также осуществлять верификацию функционирования элементов (устойчивость, безопасность), то есть, реализовать концепцию разработки, управляемой моделями (Model-Driven Development) применительно к распределенным киберфизическим системам, функционирующим на основе интеллектуальных пространств.

В настоящей работе на примере сценария взаимодействия различных устройств умного дома рассмотрена организация взаимодействия сервисов интеллектуального пространства. Каждое из устройств

описывается сервисом в интеллектуальном пространстве. Применение гибридного автомата, описывающего поведение интеллектуальной системы освещения, позволило формализовать поведение системы освещения в зависимости от тех или иных изменений в интеллектуальном пространстве.

**2. Состояние исследований в области описания и анализа гибридных систем.** Широкое распространение и повышенные требования к безопасности систем, обладающих дискретно-непрерывной динамикой (то есть, гибридных), стали причиной активных исследований в области формальных методов описания, анализа и верификации таких систем. Основными направлениями исследований в этой области являются: создание логических и вычислительных моделей и методов, разработка средств компьютерной поддержки формальной спецификации и верификации требований к производительности и безопасности гибридных систем, разработка и синтез корректных (относительно формальных спецификаций) управляющих программ для гибридных систем [4].

Первым шагом для достижения любой из этих целей является создание формального языка, позволяющего:

а) описывать различные типы непрерывных и дискретных процессов, различные способы влияния дискретной динамики на изменение непрерывных переменных, создавать недетерминированные модели и т.д.;

б) строить сложные модели объединением простых;

в) описывать системы на различных уровнях абстракции, начиная от общих моделей всей системы в целом, заканчивая их конкретизацией для отдельных составляющих.

На настоящий момент предложено значительное количество методов и средств для формального описания и анализа гибридных систем. В основном, эти средства базируются на автоматном подходе, то есть, описании гибридной системы посредством гибридного автомата [7]. Основным достоинством этого подхода является то, что полученный гибридный автомат может быть использован как для анализа системы с помощью методов имитационного моделирования, так и для анализа с помощью специальных методов теории гибридных автоматов.

Языки и системы формального описания гибридных систем с помощью гибридных автоматов можно разделить на две основные группы: предназначенные, в первую очередь, для исследования поведения гибридной системы средствами имитационного моделирования и предназначенные для исследования поведения с помощью специальных аналитических методов (алгебры процессов и т.п.).

К первой группе относятся системы (и используемые в них языки) SHIFT [8], CHARON [9], R-Charon [10], Modelyze [12], Apricot [13], AnyLogic [14], HyDySS (позднее, EnviCon) [15, 16]. Предлагая имитационное моделирование в качестве основного способа исследования модели гибридной системы, эти системы отличаются функциями и специализацией. Так, R-Charon, являясь развитием CHARON, поддерживает моделирование реконфигурируемых систем, Modelyze и Apricot представляют собой результат конвергенции технологий моделирования гибридных систем и технологий создания предметно-ориентированных языков (Domain Specific Language, DSL), в AnyLogic сочетается (в том числе, в рамках одной модели) сразу несколько подходов к моделированию, а в EnviCon модель гибридного автомата уточняется применением логического подхода и продукционных правил.

Ко второй группе относятся системы  $d/dt$  [17], Massacio [11].

В настоящей работе для формального описания гибридных систем также используется модель гибридного автомата, являющаяся расширением конечного автомата, адаптированным для описания гибридных систем. Описание модели гибридного автомата приведено в системе обозначений, предложенной в [18]. В литературе [20, 7] предложено еще несколько модификаций этого описания.

Гибридный автомат  $H$  – это набор  $H = (Q, X, f, Init, Dom, E, G, R)$ , где:

$Q$  – множество дискретных состояний;

$X \subseteq \mathbb{R}^n$  – множество непрерывных состояний;

$f: Q \times X \rightarrow \mathbb{R}^n$  – векторное поле, описывающее динамику изменения непрерывных переменных автомата;

$Init \subseteq Q \times X$  – множество начальных состояний;

$Dom: Q \rightarrow P^X$  – область допустимых значений непрерывных переменных автомата для каждого из дискретных состояний;

$E \subseteq Q \times Q$  – множество дуг-переходов между дискретными состояниями;

$G: E \rightarrow P^X$  – условия перехода по соответствующей дуге между парой дискретных состояний;

$R: E \times X \rightarrow P^X$  – функция сброса, определяющая изменение значений непрерывных переменных автомата при переходе по соответствующей дуге между парой дискретных состояний.

Гибридный автомат начинает работу в состоянии  $(q_0, x_0) \in Init$ , непрерывное состояние изменяется в соответствии с дифференциальным уравнением:

$$\begin{aligned} \dot{x} &= f(q_0, x), \\ x(0) &= x_0, \end{aligned}$$



а дискретное состояние  $q$  остается постоянным ( $q_0$ ).

Процесс продолжается до тех пор, пока  $x$  принадлежит множеству  $Dom(q_0)$ . Если в какой-то момент времени непрерывное состояние достигает значения  $G(q_0, q_1)$  некоторой дуги  $(q_0, q_1) \in E$ , то дискретное состояние может изменить значение на  $q_1$ . При переходе непрерывное состояние сбрасывается до значения  $R(q_0, q_1)$ . После осуществления перехода продолжается изменение непрерывного состояния и так далее.

**3. Онтолого-ориентированные модели устройств системы «умный дом» в интеллектуальном пространстве.** Рассмотрим пример взаимодействия устройств умного дома для сценария уборки помещения. Среди таких устройств в рамках рассматриваемого примера можно выделить робот-пылесос, позволяющий строить карту помещения с использованием светочувствительных датчиков и осуществлять уборку с учетом этой карты (например, Yujin Robot iClebo Arte YCR-M05) и систему управления освещением – «умный свет», позволяющую изменять интенсивность освещения в помещении в зависимости от текущей ситуации.

Каждое устройство умного дома описывается онтологией, которая формализует основные его возможности и ограничения работы. На рисунке 1 показана онтология робота-пылесоса. В онтологии выделены три класса верхнего уровня: сенсоры робота (Sensors), освещенность помещения (Lightness) и операции, выполняемые роботом (Operation). Освещенность помещения согласно онтологии робота-пылесоса может быть двух типов: достаточная для работы его бесконтактных сенсоров (класс Light) и недостаточная (класс Dark). Сенсоры могут быть контактными (класс ContactSensor) и бесконтактными (класс VideoSensor). Контактные сенсоры функционируют при любой освещенности помещения, в то время как бесконтактные требуют наличия достаточной освещенности в помещении. Операции, выполняемые роботом-пылесосом являются: всасывание (класс Cleaning) и перемещение (класс Movement). Причем перемещение может быть случайным (класс Random) с использованием только контактных сенсоров при касании стен или других объектов помещения, так и организованным (класс Organized), требующим работы как контактных, так и бесконтактных сенсоров для планирования перемещения робота по помещению. С помощью непрерывной линии на рисунке изображены таксономические отношения, а с помощью пунктирной – ассоциативные отношения, определяющие необходимость существования одного класса в зависимости от существования другого.

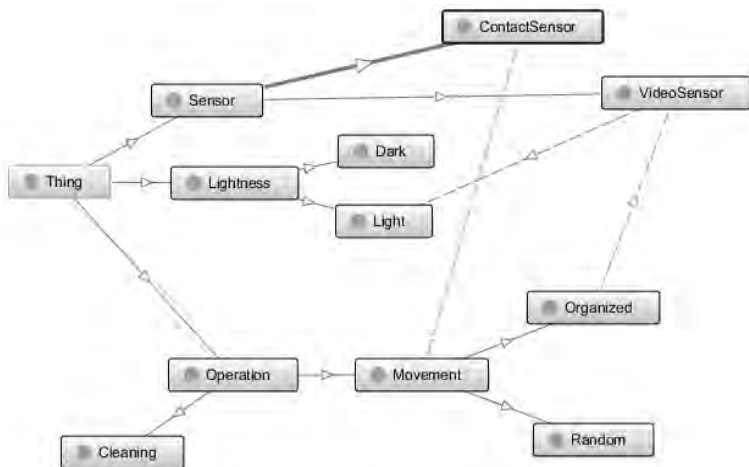


Рис. 1. Онтология робота-пылесоса

Онтология системы умный свет, отвечающей за управление искусственным освещением в помещении, состоит из класса Sensors, который включает в себя сенсор освещенности помещения (класс LightnessLevel) и класса Operation, который включает в себя регулятор искусственного освещения в помещении (класс LightControl).

Для эффективной уборки помещения роботу-пылесосу необходима достаточная его освещенность для построения карты и упорядоченного перемещения по помещению. Информация о необходимом уровне освещенности публикуется роботом в интеллектуальном пространстве и становится доступной для системы управления освещением. Таким образом, если уборка запланирована на темное время суток, система управления освещением автоматически обеспечит требуемый уровень освещенности путем включения искусственных источников света.

При наступлении события «начало уборки помещения» сервис интеллектуального пространства, представляющий робота, переходит в состояние «подготовка к уборке». В этом состоянии он публикует в интеллектуальном пространстве информацию о необходимых условиях для начала уборки помещения. В простейшей модели рассмотрим условие необходимости освещенности помещения не ниже 300 люкс, которое необходимо для работы камеры, по которой робот строит карту помещения.

Сервис интеллектуального пространства, взаимодействующий с физической системой управления освещением, получает уведомления

о необходимости контроля уровня освещения и считывает показания с датчика освещенности. В случае, если уровня освещения недостаточно (менее чем 300 люкс), сервис переходит в состояние включения освещения.

**4. Взаимодействие сервисов интеллектуального пространства при управлении гибридными системами.** В качестве базовой платформы организации интеллектуальных пространств в данной статье рассматривается платформа Smart-M3 [21, 22]. Ядро платформы подразделяется на 2 элемента: СИБ (семантический информационный брокер, Semantic Information Broker — SIB) и физическое хранилище данных. СИБ предоставляет доступ информационным агентам к информационному пространству, обеспечивая их функциями обработки информации, такими как вставка, извлечение, редактирование, удаление и подписки на изменение информации в интеллектуальном пространстве. В хранилище данных вся информация сохраняется как граф, удовлетворяющий требованиям стандарта RDF (*Resource Description Framework*) [23], описывающего семантические сети, в которых узлы и дуги имеют унифицированные идентификаторы ресурсов. Обмен информацией в интеллектуальных пространствах, построенных на базе платформы Smart-M3, осуществляется посредством публикации RDF-троек в общедоступное хранилище. Единственным способом организации потока управления, охватывающего несколько информационных агентов, является операция подписки, когда информационный агент получает оповещения при изменении выбранного фрагмента RDF-графа, содержащегося в хранилище [24].

Взаимодействие устройств умного дома осуществляется в интеллектуальном пространстве на уровне описывающих их сервисов, в то время как сами они функционируют в физическом пространстве умного дома (см. рисунок 2). Каждое устройство умного дома описывается онтологией, а его поведение гибридным автоматом. Использование онтологий позволяет обеспечить поддержку интероперабельности различных устройств интеллектуального пространства (за счёт формальной спецификации семантики используемых интерфейсов и развитых технологий автоматического и автоматизированного выравнивания онтологий, например [25]) и их синхронного поведения, в то время как описание поведения каждого устройства гибридным автоматом позволяет формализовать такое поведение и предоставляет возможности для верификации поведения устройств интеллектуального пространства.

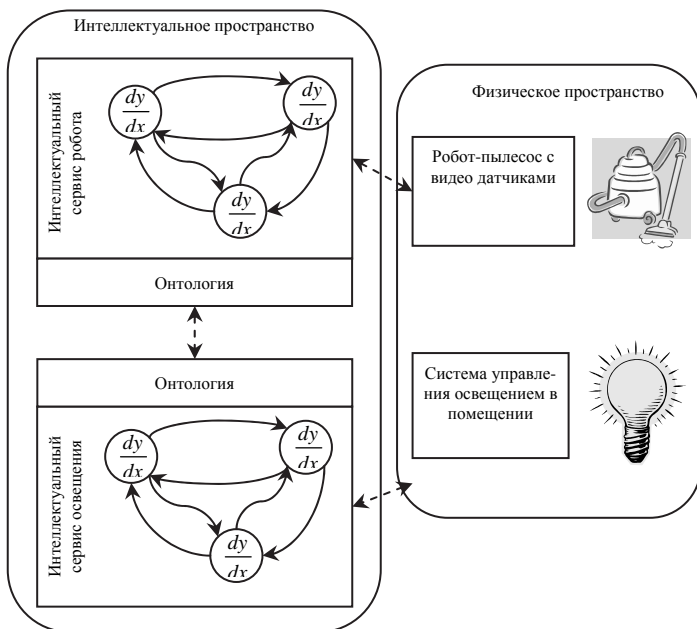


Рис. 2. Информационная модель взаимодействия сервисов на базе интеллектуального пространства с возможностью описания поведения с помощью гибридного автомата на примере робота-пылесоса и системы управления освещением

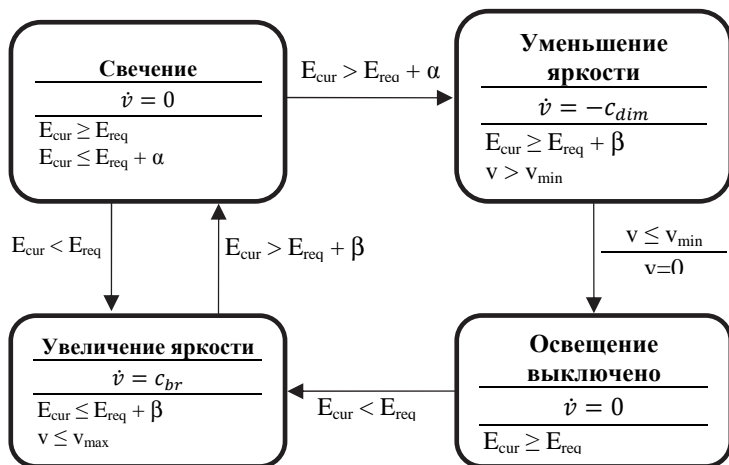
Рассмотрим ситуацию, при которой в комнате находится пользователь и его мобильное устройство, которое взаимодействует через интеллектуальное пространство с системой управления освещением в помещении для обеспечения, предпочитаемого для него уровня освещения. Мобильное устройство, обладая информацией о том, что пользователь в данный момент времени спит, публикует в интеллектуальном пространстве информацию о комфортном для пользователя на текущий момент уровне освещения.

При активации работы некоторого сервиса в интеллектуальном пространстве (например, робота-пылесоса), он публикует свои ограничения в интеллектуальном пространстве (в данном случае, необходимость обеспечения требуемого уровня освещения) в терминах своей онтологии.

Система управления освещением должна распознать конфликт между мобильным устройством пользователя и роботом-пылесосом и отдать предпочтение мобильному устройству (оставив освещение помещения на прежнем уровне), а робот-пылесос должен распознать эту

ситуацию и запланировать уборку помещения на более позднее время, а в данный момент убрать другое помещение.

На рисунке 3 показан пример гибридного автомата для описания системы управления освещением в помещении. Автомат состоит из четырех состояний: свечение, уменьшение яркости, увеличение яркости, освещение выключено. Каждое из этих состояний описывается дифференциальным уравнением, а переходы между состояниями осуществляются при достижении определенных условий.



$E_{cur}$  – текущий уровень освещения,  
 $E_{req}$  – требуемый уровень освещения,  
 $\alpha, \beta$  – константы предотвращающие частые переходы между состояниями автомата,  
 $v$  – напряжение на осветительном приборе,  
 $c_{dim}$  – интенсивность уменьшения освещения,  
 $c_{br}$  – интенсивность увеличения освещения.

Рис. 3. Пример гибридного автомата, описывающий поведение системы «Умный свет»

Например, система управления освещением находится в состоянии «освещение выключено» при текущем уровне освещения ( $E_{cur}$ ) большим, чем требуемый уровень ( $E_{req}$ ). При текущем уровне освещения меньшим, чем требуемый гибридный автомат переходит в состояние «увеличение яркости».

**6. Заключение.** В статье описан подход к управлению гибридными системами на основе технологии интеллектуальных пространств. В качестве примера использован сценарий взаимодействия устройств

при решении задачи уборки помещения в рамках системы «умный дом». Развиваемый подход обладает двумя основными характеристиками, во-первых, управление гибридной системой децентрализовано и различные функции управления выполняются различными сервисами, для обеспечения расширяемости и интероперабельности используется онтолого-ориентированное интеллектуальное пространство, посредством которого происходит взаимодействие сервисов; во-вторых, сами сервисы описываются с помощью формализма гибридных автоматов, что позволяет использовать аппарат модельно-управляемой разработки для создания гибридных систем управления, то есть, на основе модели решать как задачи генерации программного кода сервисов, так и задачи формальной верификации и оценки устойчивости и безопасности создаваемой системы управления.

В статье приведен сценарий взаимодействия различных физических устройств на примере системы «умный дом», а также приведен пример гибридного автомата, описывающего один из сервисов системы.

### Литература

1. *Lupiana D., O'Driscoll C., Mtenzi F.* Defining Smart Space in the Context of Ubiquitous Computing // Ubiquitous Computing and Communication Journal. Special Issue on ICIT 2009 conference – Web and Agent Systems. 2009. URL: [http://www.ubiccc.org/files/pdf/3\\_379.pdf](http://www.ubiccc.org/files/pdf/3_379.pdf) (дата обращения: 04.08.2014).
2. *Carreira P., Resendes S., Santos A.* Towards automatic conflict detection in home and building automation systems // Pervasive and Mobile Computing. 2014. vol. 12. pp. 37–57.
3. *Belley C., Gaboury S., Bouchard B., Bouzouane A.* An efficient and inexpensive method for activity recognition within a smart home based on load signatures of appliances // Pervasive and Mobile Computing. 2014. vol. 12. pp. 58–78.
4. *Юсупов Р.М., Ронжин А.Л.* От умных приборов к интеллектуальному пространству // Вестник Российской Академии Наук. 2010. Том 80. Вып. 1. С. 45–51.
5. *Ронжин А.Л., Карпов А.А.* Сравнительный анализ функциональности прототипов интеллектуальных пространств // Труды СПИИРАН. 2013. Вып. 1(24). С. 277–290.
6. *Davoren J.M., Nerode A.* Logics for hybrid systems // Proceedings of the IEEE. 2000. vol. 88. issue 7. pp. 985–1010.
7. *Lee E.A., Seshia S.A.* Introduction to Embedded Systems. A Cyber-Physical Systems Approach. ISBN 978-0-557-70857-4. 2011. URL: <http://LeeSeshia.org> (дата обращения 04.08.2014).
8. *Henzinger T.A.* The Theory of Hybrid Automata // Eleventh Annual IEEE Symposium on Logic in Computer Science. 1996. pp. 278–292.
9. *Deshpande A., Göllü A., Semenzato L.* The SHIFT Programming Language and Runtime System for Dynamic Networks of Hybrid Automata // IEEE Transactions on Automatic Control. 1998. vol. 43. issue 4. pp. 584–587.
10. *Alur R., Grosu R., Hur Y., Kumar V., Lee L., Lee I.* Modular Specification of Hybrid Systems in CHARON // Proceedings of the 3rd International Workshop on Hybrid Systems: Computation and Control. 2000. pp. 6–19.

11. *Kratz F., Sokolsky O., Lee I.* R-Charon: a modeling language for reconfigurable hybrid systems // *Hybrid Systems: Computation and Control*. LNCS 3927. 2006. pp. 392–406.
12. *Henzinger T.A.* Masaccio: A formal model for embedded components // *Proceedings of the First IFIP International Conference on Theoretical Computer Science*. LNCS 1872. 2000. pp. 549–563.
13. *Broman D., Siek J.G.* Modelyze: a Gradually Typed Host Language for Embedding Equation-Based Modeling Languages // *Technical Report No. UCB/EECS-2012-173*. 2012. p. 52.
14. *Fang H., Zhu H., Shi J.* Apricot – An Object-Oriented Modeling Language for Hybrid Systems. URL: <http://arxiv.org/pdf/1304.6498v1.pdf> (дата обращения: 04.08.2014).
15. Сайт компании AnyLogic Company. URL: <http://www.anylogic.ru/> (дата обращения: 04.08.2014).
16. *Шнаков В. М.* Прототип среды моделирования структурированных совокупностей взаимодействующих процессов // *Сборник докладов конференции «Имитационное моделирование. Теория и практика»*. Санкт-Петербург. 19 – 21 октября 2005. Т. 2. С. 292–295.
17. *Шнаков В.М.* Об использовании трансформационных правил для компьютерной реализации непрерывных процессов // *Труды СПИИРАН*. 2014. Вып. 33. С. 99–116.
18. *Asarin E., Dang T., Maler O.* The d/dt tool for Verification of Hybrid Systems // *Computer Aided Verification*. 2002. vol. 2404. pp. 365–370.
19. *Lygeros J., Johansson K.H., Simic S.N., Zhang J., Sastry S.S.* Dynamical Properties of Hybrid Automata // *IEEE Transactions on Automatic Control*. 2003 vol. 48. no. 1. pp. 2–17.
20. *Lynch N., Segala R., Vaandrager F., Weinberg H.B.* Hybrid I/O Automata // *In Hybrid Systems III*. Springer Verlag. LNCS 1066. 1996. pp. 496–510.
21. *Honkola J., Laine H., Brown R., Tyrkko O.* Smart-M3 Information Sharing Platform // *Proc. IEEE Symp. Computers and Communications (ISCC'10)*. 2010. pp. 1041–1046.
22. *Korzun D.G., Balandin S.I., Luukkala V., Liuha P., Gurtov A.V.* Overview of Smart-M3 Principles for Application Development // *Proc. Congress on Information Systems and Technologies (IS&IT'11)*, Conf. Artificial Intelligence and Systems (AIS'11). Moscow: Phymathlit. 2011. vol. 4. pp. 64–71.
23. Resource Description Framework (RDF). URL: <http://www.w3.org/RDF>.
24. *Ломов А.А., Корзун Д.Ж.* Операция подписки для приложений в интеллектуальных пространствах платформы Smart-M3 // *Труды СПИИРАН*. 2012. Вып. 4(23). С. 439–458.
25. *Balandin S., Boldyrev S., Oliver I. J., Turenko T., Smirnov A.V., Shilov N. G., Kashevnik A. M.* Method and apparatus for ontology matching // *US Patent 2012/0078595 A1*. 2012.

## References

1. Lupiana D., O'Driscoll C., Mtenzi F. Defining Smart Space in the Context of Ubiquitous Computing. *Ubiquitous Computing and Communication Journal*. Special Issue on ICIT 2009 conference – Web and Agent Systems, 2009. Available at: [http://www.ubic.org/files/pdf/3\\_379.pdf](http://www.ubic.org/files/pdf/3_379.pdf) (accessed 04.08.2014).
2. Carreira P., Resendes S., Santos A. Towards automatic conflict detection in home and building automation systems. *Pervasive and Mobile Computing*. 2014. vol. 12. pp. 37–57.
3. Belley C., Gaboury S., Bouchard B., Bouzouane A., An efficient and inexpensive method for activity recognition within a smart home based on load signatures of appliances. *Pervasive and Mobile Computing*. 2014. vol. 12. pp. 58–78.

4. Yusupov R.M., Ronzhin A.L. [From smart devices to smart space]. *Vestnik Rossijskoi Akademii Nauk – Herald of the Russian Academy of Sciences*. 2010. vol. 80. no. 1. pp. 63–68. (In Russ.).
5. Ronzhin A.L., Karpov A.A. [A comparative analysis of smart space prototypes functionality]. *Trudy SPIIRAN – SPIIRAS Proceedings*. 2013. vol. 1(24). pp. 277–290. (In Russ.).
6. Davoren J.M., Nerode A. Logics for hybrid systems. *Proceedings of the IEEE*. 2000. vol. 88. Issue 7. pp. 985–1010.
7. Lee E.A., Seshia S.A. *Introduction to Embedded Systems. A Cyber-Physical Systems Approach*. ISBN 978-0-557-70857-4. 2011. Available at: <http://LeeSeshia.org>.
8. Henzinger, T.A. *The Theory of Hybrid Automata*. Eleventh Annual IEEE Symposium on Logic in Computer Science. 1996. pp. 278–292.
9. Deshpande A., Göllü A., Semenzato L. The SHIFT Programming Language and Runtime System for Dynamic Networks of Hybrid Automata, *IEEE Transactions on Automatic Control*. 1998. vol. 43. issue 4. pp. 584–587.
10. Alur R., Grosu R., Hur Y., Kumar V., Lee L., Lee I. Modular Specification of Hybrid Systems in CHARON. *Proceedings of the 3rd International Workshop on Hybrid Systems: Computation and Control*. 2000, pp. 6–19.
11. Kratz F., Sokolsky O., Lee I. R-Charon: a modeling language for reconfigurable hybrid systems. *Hybrid Systems: Computation and Control*. LNCS 3927. 2006, pp. 392–406.
12. Henzinger T.A. Masaccio: A formal model for embedded components, *Proceedings of the First IFIP International Conference on Theoretical Computer Science*, LNCS 1872. 2000, pp. 549–563.
13. Broman D., Siek J.G. Modelyze: a Gradually Typed Host Language for Embedding Equation-Based Modeling Languages. *Technical Report No. UCB/EECS-2012-173*. 2012. p. 52.
14. Fang H., Zhu H., Shi J. Apricot – An Object-Oriented Modeling Language for Hybrid Systems. Available at: <http://arxiv.org/pdf/1304.6498v1.pdf> (accessed 04.08.2014).
15. Sajt kompanii AnyLogic Company [AnyLogic Company Official Website]. Available at: <http://www.anylogic.ru/> (accessed 04.08.2014).
16. Shpakov V.M. [Prototype Environment for Modeling Collections of Communicating Processes]. *Sbornik dokladov konferentsii «Imitatsionnoye modelirovaniye. Teoriya i praktika» – Proceedings of “Simulation. Theory and Practice” conference*. Sankt-Peterburg. 2005. vol. 2. pp. 292–295. (In Russ.).
17. Shpakov V.M. [On Using Transformation Rules for Computer Implementation of Continuous Processes]. *Trudy SPIIRAN – SPIIRAS Proceedings*. 2014. vol. 33. pp. 99–116. (In Russ.).
18. Asarin E., Dang T., Maler O. The d/dt tool for Verification of Hybrid Systems. *Computer Aided Verification*. vol. 2404. 2002. pp. 365–370.
19. Lygeros J., Johansson K.H., Simic S.N., Zhang J., Sastry S.S. Dynamical Properties of Hybrid Automata. *IEEE Transactions on Automatic Control*. 2003. vol. 48. no. 1. pp. 2–17.
20. Lynch N., Segala R., Vaandrager F., Weinberg H.B. Hybrid I/O Automata. In *Hybrid Systems III*. Springer Verlag. LNCS 1066. 1996. pp. 496–510.
21. Honkola J., Laine H., Brown R., Tyrkko O. Smart-M3 Information Sharing Platform. *Proc. IEEE Symp. Computers and Communications (ISCC'10)*. 2010. pp. 1041–1046.
22. Korzun D.G., Balandin S.I., Luukkala V., Liuha P., Gurtov A.V. Overview of Smart-M3 Principles for Application Development // *Proc. Congress on Information Systems and Technologies (IS&IT'11), Conf. Artificial Intelligence and Systems (AIS'11)*. Moscow: Phymathlit. 2011. vol. 4. p. 64–71.
23. Resource Description Framework (RDF). Available at: <http://www.w3.org/RDF>.



24. Lomov A.A., Korzun D.G. [Subscription operation for applications in smart spaces of Smart-M3 platform]. *Trudy SPIIRAN – SPIIRAS Proceedings*. 2012. vol. 4(23). pp. 439-458. (In Russ.).
25. Balandin S., Boldyrev S., Oliver I. J., Turenko T., Smirnov A.V., Shilov N. G., Kashevnik A.M. Method and apparatus for ontology matching // US Patent 2012/0078595 A1. 2012.

**Кашевник Алексей Михайлович** — к-т техн. наук, старший научный сотрудник лаборатории интегрированных систем автоматизации Санкт-Петербургского института информатики и автоматизации РАН (СПИИРАН). Область научных интересов: управление знаниями, профилирование, онтологии, интеллектуальные пространства, логистические системы. Число научных публикаций — 85. alexey@iias.spb.su; СПИИРАН, 14-я линия, д. 39, Санкт-Петербург, 199178, РФ; p.т. +7(812)328-8071, факс +7(812)328-0685.

**Kashevnik Alexey Mihajlovich** — Ph.D., senior researcher at Computer Aided Integrated Systems laboratory of St.Petersburg Institute for Informatics and Automation of the Russian Academy of Sciences (SPIIRAS). Research area: knowledge management, profiling, ontologies, smart-spaces, logistics systems. Number of publications — 85. alexey@iias.spb.su; SPIIRAS, 14th Line V.O., 39, Saint-Petersburg, 199178, Russia; office phone +7(812)328-8071, fax +7(812)328-0685.

**Пономарев Андрей Васильевич** — к-т техн. наук, старший научный сотрудник лаборатории интегрированных систем автоматизации Санкт-Петербургского института информатики и автоматизации РАН (СПИИРАН). Область научных интересов: рекомендуемые системы, системы персонализации, технологии баз данных, дискретная оптимизация. Число научных публикаций — 18. ponomarev@iias.spb.su; СПИИРАН, 14-я линия В.О., д. 39, г. Санкт-Петербург, 199178, РФ; p.т. +7(812)328-8071, факс +7(812)328-4450.

**Ponomarev Andrew Vasil'evich** — Ph.D, senior researcher at Computer Aided Integrated Systems laboratory of St.Petersburg Institute for Informatics and Automation of the Russian Academy of Sciences (SPIIRAS). Research interests: recommender systems, personalization, database technologies, discrete optimization. The number of publications — 18. ponomarev@iias.spb.su; SPIIRAS, 39, 14-th Line V.O., St. Petersburg, 199178, Russia; office phone +7(812)328-8071, fax +7(812)328-4450.

**Савосин Сергей Валентинович** — к-т техн. наук, доцент, доцент кафедры автоматизированных систем обработки информации и управления С.-Петербургского государственного электротехнического университета (СПбГЭТУ «ЛЭТИ»). Область научных интересов: автоматизированные системы управления, геоинформационные системы. Число научных публикаций — 11. SVSavosin@iias.spb.su; СПбГЭТУ, ул. Проф. Попова д. 5, г. Санкт-Петербург, 197376, РФ; p.т. +7(812)234-2773, факс +7(812)234-2773.

**Savosin Sergey Valentinovich** — Ph.D., associate professor, associate professor at Automated Systems of Information Processing and Control department of St.Petersburg Electrotechnical University “LETI” (SPb ETU). Research interests: automated systems, GIS. The number of publications — 11. SVSavosin@iias.spb.su; SPb ETU, ul. Prof. Popova, 5, St. Petersburg, 197376, Russia; office phone +7(812)234-2773, fax +7(812)234-2773.

**Поддержка исследований.** Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проекты №№ 14-07-00363-а, 14-07-00378-а, 13-07-00039-а, 13-07-00336-а).

**Acknowledgements.** This research is supported by RFBR (grants # 14-07-00363-a, # 14-07-00378-a, # 13-07-00039-a, # 13-07-00336-a).

## РЕФЕРАТ

### *Кашевник А.М., Пономарев А.В., Савосин С.В.* **Управление гибридными системами на основе технологии интеллектуальных пространств.**

Интеллектуальные пространства находят широкое применение при создании систем класса «умный дом» («умный автомобиль», «умный зал», «умный город»). Одной из особенностей такого класса систем является взаимодействие вычислительных устройств с физическими объектами, характеристики которых могут быть как дискретными, так и непрерывными, и, в том числе, обладать непрерывной динамикой. В общем случае, совокупность вычислительных устройств интеллектуального пространства и физической среды является «гибридной системой», то есть системой, обладающей как дискретной, так и непрерывной динамикой.

Авторами развивается подход к созданию киберфизических систем, основанный на а) обмене информацией через онтолого-ориентированное интеллектуальное пространство; б) разработке/верификации отдельных сервисов интеллектуального пространства на базе формализма гибридных автоматов.

Использование онтологического описания для взаимодействующих сервисов позволяет осуществлять поддержку их интероперабельности, в том числе, за счёт технологий выравнивания онтологий. Описание элементов системы с помощью гибридных автоматов позволяет формализовать их поведение, осуществлять автоматическую генерацию программного кода элементов, а также осуществлять верификацию функционирования элементов (устойчивость, безопасность), то есть, реализовать концепцию разработки, управляемой моделями (Model-Driven Development) применительно к распределенным киберфизическим системам, функционирующим на основе интеллектуальных пространств.

В статье приведен сценарий взаимодействия различных физических устройств на примере системы «умный дом», а также приведен пример гибридного автомата, описывающего один из сервисов системы.

## SUMMARY

### ***Kashevnik A.M., Ponomarev A.V., Savosin S.V. Hybrid Systems Control Based on Smart Space Technology.***

Smart spaces have become extensively used in variety of applications, especially of “smart home” class (“smart car”, “smart room”, “smart city”). One of the prominent features of this class of systems is communication between computer devices and physical devices. The latter can be described by both discrete and continuous characteristics, and have continuous dynamics. Generally, a set of computer devices of smart space together with physical devices can be described as a hybrid system, i.e. a system that possess both discrete and continuous dynamics.

Authors of this paper propose an approach to the development of cyberphysical systems, based on a) information interchange via ontology-based smart space; b) development/verification of different smart space services on the basis of hybrid automata apparatus.

Ontological description of communicating smart space services allows to support their interoperability, e.g., with the help of ontology alignment and ontology matching techniques.

The usage of hybrid automata apparatus for smart space service description allows to formalize their behavior, but even more importantly, it allows to implement automatic service code generation and verification service functioning (stability, reachability of some particular state), in other words, it allows to apply a model driven development approach to the distributed cyberphysical systems, functioning based on smart spaces.

The paper also describes an interaction scenario of several devices in a smart home environment. An example of a hybrid automata describing one of the services is also provided.

Взаимодействие автора с редакцией осуществляется через личный кабинет на сайте журнала «Труды СПИИРАН» <http://www.proceedings.spiiras.nw.ru>. При регистрации авторам рекомендуется заполнить все предложенные поля данных, так как это значительно ускорит процесс оформления метаданных к новым статьям.

Подготовка статьи ведется с помощью текстовых редакторов MS Word 2007 и выше. При подаче материала в редакцию сначала отправляется только статья в формате \*.docx. Для обеспечения требований слепого рецензирования при представлении статьи в журнал авторам необходимо удалить персональные данные, содержащиеся в тексте файла и его свойствах.

Объем основного текста – от 5 до 20 страниц включительно. Формат страницы документа – А5 (148 мм ширина, 210 мм высота); ориентация – портретная; все поля – 20 мм. Верхний и нижний колонтитулы страницы – пустые. Основной шрифт документа – Times New Roman, основной кегль (размер) шрифта – 10 pt. Переносы разрешены. Абзацный отступ устанавливается размером в 10 мм. Межстрочный интервал – одинарный. Номера страниц не проставляются.

Не допускается использования цветных шрифтов, цветовых выделений и цветных рисунков. Статьи должны быть полностью готовы к черно-белой печати.

Основная часть текста статьи разбивается на разделы, среди которых являются обязательными: введение, хотя бы один «содержательный» раздел и заключение. Допускается также мотивированное содержанием и структурой материала выделение подразделов.

В основную часть допускается помещать рисунки, таблицы, листинги и формулы. Правила их оформления подробно рассмотрены на нашем сайте в разделе «Руководство для авторов».

ISSN 2078-9181



9 772078 918785 >

