

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК  
Отделение нанотехнологий и информационных технологий

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ  
ИНСТИТУТ ИНФОРМАТИКИ И АВТОМАТИЗАЦИИ РАН

# ТРУДЫ СПИИРАН

[proceedings.spiiras.nw.ru](http://proceedings.spiiras.nw.ru)



**ВЫПУСК 6(37)**



Санкт Петербург  
2014

18+

# Труды СПИИРАН

Выпуск № 6(37), 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

- |   |  |
|---|--|
| <p><b>А.А. Ашимов</b>, академик национальной академии наук Республики Казахстан д-р техн. наук, проф., Алматы, Казахстан</p> <p><b>С.Н. Баранов</b>, д-р физ.-мат. наук, проф., С.-Петербург, РФ</p> <p><b>Н.П. Веселкин</b>, академик РАН, д-р мед. наук, проф., С.-Петербург, РФ</p> <p><b>В.И. Городецкий</b>, д-р техн. наук, проф., С.-Петербург, РФ</p> <p><b>О.Ю. Гусихин</b>, Ph.D., Диаборн, США</p> <p><b>В. Делич</b>, д-р техн. наук, проф., Нови-Сад, Сербия</p> <p><b>А.Б. Долгий</b>, Dr. Habil., проф., Сент-Этьен, Франция</p> <p><b>М. Железны</b>, Ph.D., доцент, Пльзень, Чешская республика</p> <p><b>Д.А. Иванов</b>, д-р экон. наук, проф., Берлин, Германия</p> <p><b>О.С. Ипатов</b>, д-р техн. наук, проф., С.-Петербург, РФ</p> <p><b>В.П. Леонов</b>, д-р пед. наук, проф., С.-Петербург, РФ</p> <p><b>Г.А. Леонов</b>, член-корр. РАН, д-р физ.-мат. наук, проф., С.-Петербург, РФ</p> <p><b>К.П. Марков</b>, Ph.D., доцент, Аизу, Япония</p> <p><b>Ю.А. Меркурьев</b>, академик Латвийской академии наук, Dr. Habil., проф., Рига, Латвия</p> <p><b>Н.А. Молдовян</b>, д-р техн. наук, проф., С.-Петербург, РФ</p> <p><b>А.А. Петровский</b>, д-р техн. наук, проф., Минск, Беларусь</p> <p><b>В.В. Попович</b>, д-р техн. наук, проф., С.-Петербург, РФ</p> <p><b>В.А. Путилов</b>, д-р техн. наук, проф., Апатиты, РФ</p> | <p><b>А.Л. Ронжин</b> (зам. главного редактора), д-р техн. наук, проф., С.-Петербург, РФ</p> <p><b>А.И. Рудской</b>, член-корр. РАН, д-р техн. наук, проф., С.-Петербург, РФ</p> <p><b>В.А. Сарычев</b>, д-р техн. наук, проф., С.-Петербург, РФ</p> <p><b>В. Сгурев</b>, академик Болгарской академии наук, д-р техн. наук, проф., София, Болгария</p> <p><b>В.А. Скорин</b>, Ph.D., проф., Бингемптон, США</p> <p><b>А.В. Смирнов</b>, д-р техн. наук, проф., С.-Петербург, РФ</p> <p><b>Б.Я. Советов</b>, академик РАО, д-р техн. наук, проф., С.-Петербург, РФ</p> <p><b>В.А. Соيفер</b>, член-корр. РАН, д-р техн. наук, проф., Самара, РФ</p> <p><b>Б.В. Соколов</b>, д-р техн. наук, проф., С.-Петербург, РФ</p> <p><b>Л.В. Уткин</b>, д-р техн. наук, проф., С.-Петербург, РФ</p> <p><b>А.Л. Фрадков</b>, д-р техн. наук, проф., С.-Петербург, РФ</p> <p><b>Н.В. Хованов</b>, д-р физ.-мат. наук, проф., С.-Петербург, РФ</p> <p><b>Д.С. Черешкин</b>, д-р техн. наук, проф., Москва, РФ</p> <p><b>Л.Б. Шереметов</b>, д-р техн. наук, Мехико, Мексика</p> <p><b>А.В. Язенин</b>, д-р техн. наук, профессор, Тверь, РФ</p> |
|---|--|

## Адрес редакции

191178, Санкт-Петербург, 14-я линия, д. 39,

e-mail: [publ@iiias.spb.su](mailto:publ@iiias.spb.su), сайт: <http://www.proceedings.spiiras.nw.ru/>

Подписано к печати 18.12.2014. Формат 60×90 1/16. Усл. печ. л. 13,5. Заказ № 683. 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 № 6(37), 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. Merkurjev**, Prof., Dr. Habil., Academician  
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,

e-mail: [publ@iias.spb.su](mailto:publ@iias.spb.su), web: <http://www.proceedings.spiiras.nw.ru/>

---

Signed to print 18.12.2014

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**

Карсаев О.В., Кулемин В.Ю., Морозов Б.М. ПЛАНИРОВАНИЕ ДОСТАВКИ СБОРНЫХ ГРУЗОВ	5
Тесля Н.Н. ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИНФОМОБИЛЬНОСТИ	21
Фридман А.Я., Курбанов В.Г. ФОРМАЛЬНАЯ КОНЦЕПТУАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ ПРОМЫШЛЕННО-ПРИРОДНОГО КОМПЛЕКСА КАК СРЕДСТВО УПРАВЛЕНИЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫМ ЭКСПЕРИМЕНТОМ	37
Бубнов В.П., Тырва А.В., Еремин А. С. КОМПЛЕКС МОДЕЛЕЙ НЕСТАЦИОНАРНЫХ СИСТЕМ ОБСЛУЖИВАНИЯ С РАСПРЕДЕЛЕНИЯМИ ФАЗОВОГО ТИПА	61
Лившиц И.И. ПОДХОДЫ К ПРИМЕНЕНИЮ МОДЕЛИ ИНТЕГРИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ МЕНЕДЖМЕНТА ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ АУДИТОВ СЛОЖНЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОБЪЕКТОВ – АЭРОПОРТОВЫХ КОМПЛЕКСОВ	72
Кузькин А.А. МЕТОДИКА ОБЕСПЕЧЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ СТРАТЕГИИ РАЗВИТИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ОРГАНИЗАЦИИ	95
Шпаков В.М. ФОРМАЛИЗАЦИЯ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЧЕТКИХ ПРЕДИКАТОВ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ ГИБРИДНЫХ ПРОЦЕССОВ	116
Таратухин А.А., Григорьев П.Е., Тишков А.В., Мун Г.А., Сулейменов И.Э. ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ГРАДИЕНТА КОНЦЕНТРАЦИИ ИОНОВ	132
Зайцева А.А., Кулешов С.В., Михайлов С.Н. МЕТОД ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ТЕКСТОВ В ЗАДАЧАХ АНАЛИТИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ИНФОРМАЦИОННЫХ РЕСУРСОВ	144
Альсова О.К. АЛГОРИТМЫ КЛАСТЕРИЗАЦИИ РАЗНОТИПНЫХ ДАННЫХ НА ПРИМЕРЕ РЕШЕНИЯ МЕДИЦИНСКОЙ ЗАДАЧИ	156
Мануева Ю.С., Гриф М.Г., Козлов А.Н. ПОСТРОЕНИЕ СИСТЕМЫ КОМПЬЮТЕРНОГО СУРДОПЕРЕВОДА РУССКОГО ЯЗЫКА	170
Галов И.В., Корзун Д.Ж. ОБЕСПЕЧЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ К СБОЯМ SMART-М3 ПРИЛОЖЕНИЯ НА УРОВНЕ ПРОГРАММНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ	188
Носков А.Н., Чечулин А.А., Тарасова Д.А. ИССЛЕДОВАНИЕ ЭВРИСТИЧЕСКИХ ПОДХОДОВ К ОБНАРУЖЕНИЮ АТАК НА ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫЕ СЕТИ НА БАЗЕ МЕТОДОВ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО АНАЛИЗА ДАННЫХ	208

## CONTENTS

Karsaev O.V., Kulemin V.Y., Morozov B.M. ASSORTED CARGO DELIVERY SCHEDULING	5
Teslya N.N. THE DEVELOPMENT PRINCIPLES OF INTELLIGENT TRANSPORTATION SYSTEMS FOR INFOMOBILITY	21
Fridman A.Ja., Kurbanov V.G. FORMAL CONCEPTUAL MODEL OF INDUSTRY-NATURAL COMPLEXES AS A MEAN TO ORGANIZE COM-PUTING EXPERIMENTS	37
Bubnov V.P., Tyrva A.V., Eremin A.S. A COMPLEX OF NON-STATIONARY QUEUING SYSTEMS MODELS WITH PHASE-TYPE DISTRIBUTION	61
Livshitz I.I. APPROACHES TO THE APPLICATION OF THE INTEGRATED MANAGEMENT SYSTEM MODEL FOR CARRYING OUT AUDITS FOR COMPLEX INDUSTRIAL OBJECTS – AIRPORT FACILITIES	72
Kuzkin A.A. TECHNIQUE PROVIDING STABILITY OF INFORMATION TECHNOLOGY DEVELOPMENT IN THE ORGANIZATION	95
Shpakov V.M. FORMALIZATION AND USE OF FUZZY PREDICATES FOR HYBRID PROCESSES IMPLEMENTATION	116
Taratukhin A.A., Grigoriev P.Ye., Tishkov A., Mun G.A., Suleimenov I.E. SOFTWARE AND HARDWARE SYSTEM FOR GRADIENT OF ION CONCENTRATION MEASURING	132
Zaytseva A.A., Kuleshov S.V., Mikhailov S.N. THE METHOD FOR THE TEXT QUALITY ESTIMATION IN THE TASK OF ANALYTICAL MONITORING OF INFORMATION RESOURCES	144
Alsova O.K. ALGORITHMS FOR CLUSTERING OF A HETEROGENEOUS DATA ON THE EXAMPLE OF SOLUTION OF THE MEDICAL TASK	156
Manueva Yu.S., Grif M.G., Kozlov A.N. COMPUTER SIGN LANGUAGE INTERPRETATION SYSTEM DEVELOPMENT OF RUSSIAN LANGUAGE	170
Galov I.V., Korzun D.G. FAULT TOLERANCE SUPPORT FOR A SMART-M3 APPLICATION ON THE SOFTWARE INFRASTRUCTURE LEVEL	188
Noskov A.N., Chechulin A.A., Tarasova D.A. INVESTIGATION OF HEURISTIC APPROACH TO ATTACKS ON THE TELECOMMUNICATIONS NNETWORK DETECTION BASED ON DATA MINING TECHNIQUES	208

О.В. КАРСАЕВ, В.Ю. КУЛЕМИН, Б.М. МОРОЗОВ  
**ПЛАНИРОВАНИЕ ДОСТАВКИ СБОРНЫХ ГРУЗОВ**

---

*Карсаев О.В. Кулемин В.Ю., Морозов Б.М. Планирование доставки сборных грузов.*

**Аннотация.** В работе рассматривается задача оперативного планирования перевозок сборных грузов. Организация перевозок сборных грузов в реальной практике выполняется на основе априори составленного расписания рейсов. В соответствии с этим задача оперативного планирования рассматривается как адаптивная коррекция рейсов по текущей ситуации.

**Ключевые слова:** сборные грузы, оперативное планирование, адаптивная коррекция рейсов

*Karsaev O.V. Kulemin V.Y. Morozov B.M. Assorted Cargo Delivery Scheduling.*

**Abstract.** The problem of assorted cargo delivery scheduling in real time is considered at the paper. In practice a transportation of assorted cargo is performed using a priori computed time table and trips. Accordingly the problem is considered as adaptive correction of time table and trips in context of current situation.

**Keywords:** assorted cargo, dynamic scheduling, adaptive correction of trips

---

**1. Введение.** На практике используется много различных вариантов перевозки грузов. Одним из них и наиболее эффективным является вариант перевозки сборных грузов. Этот вариант подразумевает консолидацию грузов от различных заказчиков в одном направлении. Такой способ перевозки выгоден как заказчикам, так и перевозчикам. Для заказчика это самый выгодный и быстрый способ доставить груз небольшого размера из одной точки в другую. Для перевозчика это продажа услуг доставки грузов по модели В2С, т.е. достаточно объемный рынок продаж. Схема перевозки сборных грузов широко используется на практике. Например, при доставке почтовой корреспонденции, в частности в «Почте России», и в транспортно-экспедиторских компаниях.

Доставка сборных грузов выполняется по схеме «дверь-терминал», «терминал-терминал», «терминал-дверь». Фокусом внимания в данной статье является основной этап доставки сборных грузов, «терминал-терминал», и связанная с этим этапом задача автоматического планирования и маршрутизации межтерминальных перевозок.

В последнее время на рынке стали появляться коммерческие сервисы автоматического планирования и маршрутизации ресурсов для доставки грузов. Однако, они не являются универсальными в том смысле, что могут использоваться для любой схемы доставки. Для решения задач планирования и управления различными вариантами доставки грузов рассматриваются различные математические модели и постановки задач, и в зависимости от их сложности на индустриаль-

ном уровне они решаются с различной степенью эффективности. В наибольшей степени развиты индустриальные сервисы, предназначенные для решения задач класса VRP (Vehicle Routing Problem) [1]. На практике эта задача лежит, в частности, в основе вариантов доставки при дистрибуции товаров и в интернет торговле. Значительно менее развиты коммерческие сервисы, предназначенные для решения задач класса PDP (Pickup and Delivery Problem) [2, 3]. Это обусловлено тем, что задачи PDP относятся к более высокому уровню сложности, т.к. в задачах этого класса необходимо учитывать дополнительную специфику (дополнительные типы ограничений) относительно задач VRP.

Планирование доставки сборных грузов сводится к одной из наиболее сложных вариаций задачи PDP, к задаче PDP-T (Pickup and Delivery Problem with Transfer) [2]. В этой постановке рассматривается дополнительная возможность, трансфер груза. Это означает, что маршрут доставки груза может состоять из нескольких последовательных этапов, на которых перевозка груза выполняется разными ресурсами. В соответствии с этим в задачах PDP-T по сравнению с задачами PDP возникает дополнительная подзадача, где и между какими рейсами использовать операцию трансфера грузов для достижения плана перевозок с более высокими показателями целевых критериев. Пример эффективности использования операции трансфера грузов между рейсами приведен на рисунке 1. В данном примере сравнивается два варианта доставки грузов между двумя пунктами во встречных направлениях, без использования и с использованием операции трансфера. В примере полагается, что из-за временных ограничений выполнение обоих заказов одним транспортным средством (ТС) является невозможным. В данном случае использование операции трансфера позволяет сократить суммарный пробег ТС в 2 раза за счет исключения порожних пробегов.

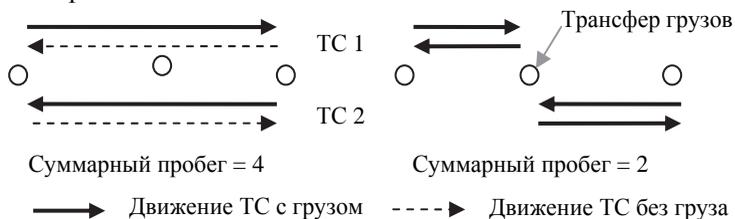


Рис. 1. Пример использования операции трансфера грузов

Задачи PDP-T в связи с их высокой практической значимостью являются объектом активных исследований [4, 5]. Несмотря на это эффективных решений этой задачи, реализованных на индустриальном уровне и используемых в реальной практике, пока не существует. Бо-

лее того, поиск решения задачи PDP-T даже в автоматизированном, а не в автоматическом режиме, значительно более сложная проблема по сравнению с таким же режимом поиска решений задач VRP и PDP. Поэтому в реальной практической деятельности поиск вариантов доставки сборных грузов выполняется на основе априори разработанного расписания рейсов межтерминальных перевозок. В соответствии с этим в основе планирования перевозок сборных грузов рассматривается другая задача, задача планирования в рамках модели Hub-and-Spokes Network [6]. Эта модель рассматривается во многих предметных областях. В частности, она лежит в основе задачи формирования расписаний рейсов авиакомпаний [7], которая по своей сути аналогична задаче перевозки сборных грузов. Аналогия состоит в том, что составление маршрутов и расписания рейсов выполняется с поиском наиболее эффективных вариантов использования операции трансфера. В случае доставки сборных грузов это трансфер грузов, в случае авиаперевозок пассажиров это стыковка рейсов и трансфер пассажиров между рейсами.

**2. Задача планирования доставки сборных грузов.** Постановку задачи планирования доставки сборных грузов в рамках модели Hub-and-Spokes Network на содержательном уровне можно описать следующим образом.

Имеется множество терминалов и множество рейсов перевозки грузов между терминалами. Описание рейсов включает описание маршрутов и расписания выполнения рейсов. Описание маршрута рейса содержит указание начального и конечного терминалов, и перечисление последовательных промежуточных терминалов, через которые проходит маршрут. Расписание рейса содержит планируемые временные параметры: дни недели и время начала выполнения рейса, время нахождения в промежуточных терминалах маршрута и время прибытия в конечный пункт (терминал) маршрута.

На терминалах динамически формируются потоки заявок на доставку грузов до других терминалов. Заявки с общими терминалами погрузки и доставки объединяются в партии грузов. Каждой партии грузов сопоставляется два значения: требуемое время, до которого она должна быть доставлена до терминала назначения, и суммарная стоимость доставки партии грузов.

Основными критериями планирования доставки сборных грузов являются: достижение наибольшей рентабельности перевозок, и соблюдение временных ограничений по доставке грузов. Рентабельность перевозок *Profit* рассчитывается как разница:

$$Profit = Value - Cost,$$

где *Value* – суммарная стоимость всех заявок на доставку грузов, а *Cost* – суммарная себестоимость всех перевозок. Увеличение значения

*Value* за счет увеличения стоимости предоставляемых услуг влечет снижение конкурентоспособности, поэтому повышение рентабельности может достигаться главным образом за счет снижения себестоимости перевозок *Cost*.

Очевидно, что при строгом соблюдении расписания, маршрутов и графиков выполнения рейсов, возможности по снижению себестоимости перевозок минимальны. Они ограничены только выбором транспортных средств с наименьшей грузоподъемностью при назначении на рейсы, так как стоимость фрахта транспортного средства зависит от его грузоподъемности. Однако, и этот выбор также в большинстве случаев ограничен, так как для межтерминальных перевозок, как правило, используются однотипные транспортные средства с наибольшей грузоподъемностью. Иные возможности по снижению себестоимости перевозок связаны с адаптивной коррекцией расписания рейсов - изменением маршрутов и/или расписания рейсов в зависимости от текущей ситуации.

Эффективность такого подхода на основе экспериментальных исследований показана в работе [8]. В этой работе поиск вариантов коррекции расписания осуществляется с помощью многоагентной системы (МАС), состоящей из множества легких агентов грузов и терминалов. МАС такого типа образно сравнивают с роем пчел. В этой работе агенты терминалов владеют знаниями об элементах расписания. В частности, агент терминала знает время отправления ТС только до соседних терминалов. Агенты грузов, используя знания агентов терминалов, исследуют множество вариантов достижения конечной цели, выбирают из них наилучший, и сообщают о своих намерениях агентам терминалов. Последние в свою очередь на основе анализа и обобщения полученной информации могут принимать решения о коррекции расписания. Эта информация сообщается агентам грузов, которые с учетом этого повторяют поиск вариантов доставки. Таким образом, в этой работе адаптивная коррекция расписания выполняется на основе случайного поиска. В настоящей статье для поиска адаптивной коррекции расписания также используется многоагентный подход, но в отличие от работы [8] сценарии поведения и взаимодействия агентов определяются целенаправленным поиском решения.

Объективные причины необходимости и возможности использования адаптивной коррекции расписания состоят в следующем. Расписание рейсов рассчитывается на долгосрочной основе исходя из среднестатистической модели грузопотоков между терминалами. Но в каждой конкретной ситуации в той или иной степени возникает отличие текущей карты грузопотоков между терминалами от среднестатистической модели. В соответствии с этим цель адаптивной коррекции расписания можно уточнить следующим образом. Изменение маршрутов и/или расписания рейсов в зависимо-

сти от текущей ситуации - расхождения среднестатистической модели и текущей карты грузопотоков. Следует отметить, что значительную долю в себестоимости транспортировки грузов (более 60%) составляют амортизация ТС и зарплата водителя, начисляемые во время простоев. Поэтому оптимизация расписания может давать существенные результаты.

**3. Декомпозиция маршрутной сети межтерминальных перевозок.** Содержание и эффективность методов адаптивной коррекции расписания зависят от логики составления маршрутов и расписания рейсов, и маршрутной сети межтерминальных перевозок. Под маршрутной сетью будем понимать граф. Вершинами графа являются терминалы. Две вершины графа *A* и *B* соединены дугой, если выполняется следующее условие. Существует рейс, в маршруте которого есть этап перевозки между терминалами, сопоставленными вершинам графа *A* и *B*.

Необходимо отметить, что составление расписания и рейсов и планирование перевозок с использованием имеющегося расписания это две взаимосвязанные, но решаемые по отдельности задачи как в теоретических исследованиях моделей Hub-and-Spokes Network, так и в реальной практике. В частности, в транспортно-экспедиционных компаниях расписание рейсов составляется и/или корректируется несколько раз в год в зависимости от динамики изменения направлений грузопотоков, а планирование перевозок с использованием составленного расписания выполняется ежедневно.

Логика составления маршрутов и расписания рейсов главным образом определяется возможностями использования операций трансфера грузов между рейсами. Для формального описания этих возможностей далее вводятся следующие понятия и определения, приведенные в таблице 1. Здесь и далее для обозначения множеств используется полужирный шрифт, для обозначения элементов множеств – обычный шрифт.

Таблица 1. Понятия и обозначения

<b>T</b>	Множество всех терминалов
<b>L</b>	Множество всех рейсов между терминалами
<b>Hub</b>	Подмножество терминалов, из которых начинается несколько рейсов в разных направлениях. Эти терминалы далее называются как хабы
<b>Line</b>	Подмножество рейсов, маршруты которых начинаются и заканчиваются в хабах, и могут проходить через несколько хабов.
<b>Trip</b>	= $L - \text{Line}$ , подмножество всех остальных рейсов
<b>Term</b>	= $T - \text{Hub}$ , подмножество всех остальных терминалов (не хабов), через которые проходят маршруты из подмножества Line
<b>Term*</b>	Терминалы, через которые проходит N рейсов из Line
<b>Term<sup>1</sup></b>	Терминалы, через которые проходит 1 рейс из Line
<b>Term<sup>0</sup></b>	Терминалы, через которые не проходят рейсы из Line

На основании введенных понятий и определений всю маршрутную сеть межтерминальных перевозок можно разбить на два уровня и на несколько фрагментов сети (рисунок 2).

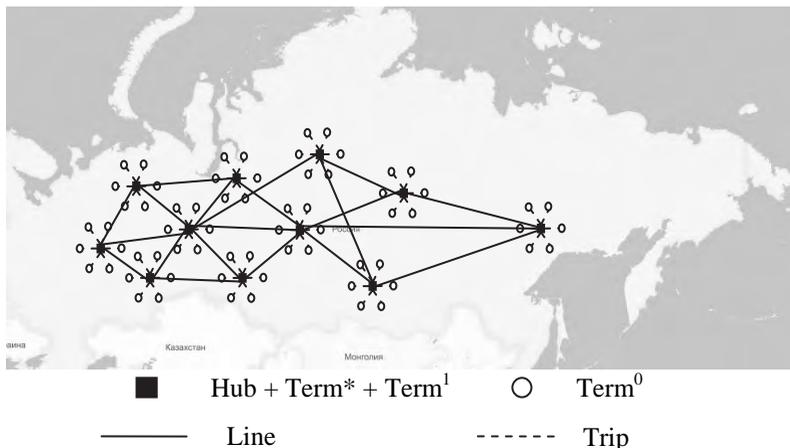


Рис. 2. Декомпозиция маршрутной сети

Первый уровень состоит из одного фрагмента маршрутной сети:

$$(\text{Hub} + \text{Term}^* + \text{Term}^1, \text{Line}),$$

в рамках которого выполняются перевозки партий грузов между терминалами из множеств Hub, Term\* и Term<sup>1</sup> на основе рейсов из множества Line. Второй уровень состоит из нескольких фрагментов маршрутной сети:

$$\{(\text{Hub} + \text{Term}^0, \text{Trip}(\text{Hub}))\},$$

в каждом из которых выполняются межтерминальные перевозки в районе одного хаба из множества Hub на основе подмножества рейсов Trip(Hub) из множества Trip. В подмножество Trip(Hub) входят рейсы из множества Trip, которые начинаются или заканчиваются в терминале Hub.

Фрагменты маршрутной сети, определенные таким образом, обладают следующими свойствами. Каждый фрагмент сети второго уровня имеет только одну общую вершину с фрагментом сети первого уровня. Фрагмент сети первого уровня предполагает возможности использования операций трансфера партий грузов между рейсами. Фрагменты сети второго уровня не предусматривают возможности использования операций трансфера. В соответствии с этими свойствами маршрут доставки партии груза может быть частично предопределен в

зависимости от того, к какой категории относятся терминал отправки  $A$  и терминал доставки  $B$  этой партии груза. В частности, если оба терминала являются элементами множества  $Term^0$ , тогда маршрут состоит из трех частей. Первая и третья части маршрутов проходят в соответствующих фрагментах сети второго уровня, а вторая часть – во фрагменте первого уровня. При этом терминалы (хабы), в которых соединяются части маршрута, предопределены терминалами получения и доставки партии груза и структурой маршрутной сети.

В соответствии с описанной декомпозицией маршрутной сети на фрагменты и на два уровня можно рассматривать декомпозицию задачи адаптивной коррекции рейсов. В рамках каждого фрагмента маршрутной сети эта задача может рассматриваться независимо. При этом содержание задачи зависит от того, какому уровню сети принадлежит фрагмент.

Как уже было отмечено, фрагменты маршрутной сети второго уровня не предусматривают возможности операций трансфера, поэтому планирование перевозок в данном случае сводится к задаче VRPTW (Vehicle Routing Problem with Time Windows). В этом случае использование методов решения задачи VRPTW априори позволяет формировать планы перевозок с меньшей себестоимостью, чем использование заранее составленных маршрутов и расписания рейсов. Как уже было отмечено в первой части статьи, для решения задач этого класса существуют эффективные решения, реализованные на индустриальном уровне.

Методы адаптивной коррекции рейсов при планировании перевозок партий грузов на первом уровне маршрутной сети рассматриваются в следующем пункте.

**4. Адаптивная коррекция рейсов.** Для решения задачи адаптивной коррекции рейсов предлагается два метода: метод «отмены убыточных рейсов», и метод «создания новых внеплановых рейсов». Эти методы реализуются с помощью МАС, состоящей из агентов партий грузов и агентов рейсов.

Агент каждой партии груза  $Cargo$  обладает следующими данными и знаниями.  $Volume(Cargo)$  – суммарный объем грузов, включенных в партию грузов, и  $Value(Cargo)$  – суммарная стоимость услуг доставки этих грузов. По мере поступления и добавления в партию новых грузов эти данные постоянно уточняются.  $Variant(Cargo)$  – упорядоченное по увеличению времени перевозки множество возможных вариантов доставки, которые рассчитываются на основе планируемого множества рейсов. Описание каждого варианта  $Variant(Cargo)$  включает указание одного рейса  $Route^*$ , либо при использовании операций

трансфера - последовательности рейсов  $Route^1 \dots Route^N$ , на которых при выборе этого варианта будет выполняться доставка партии груза. Временем доставки партии груза в варианте является планируемое время прибытия рейса  $Route^*/Route^N$  в терминал доставки партии груза. При поиске вариантов доставки рассматриваются все возможные варианты без нарушения срока доставки до конечного терминала, а также - варианты с допустимым нарушением срока доставки.

Агент каждого планируемого рейса  $Route$  обладает следующими данными и знаниями.  $Start(Route)$  – время начала выполнения рейса,  $Cost(Route)$  – себестоимость выполнения рейса,  $Load(Route)$  – объем перевозимых грузов, и  $Value(Route)$  - суммарная стоимость услуг перевозки партий грузов на рейсе. Значения  $Load(Route)$  и  $Value(Route)$  рейсов рассчитываются в соответствии с выбранными вариантами доставки партий грузов. При этом значение  $Value(Route)$  определяется следующим образом. При выборе варианта доставки партии груза  $Cargo$ , состоящего из одного рейса  $Route$ , при расчете значения  $Value(Route)$  используется вся стоимость услуги доставки  $Value(Cargo)$ . При выборе варианта доставки партии груза  $Cargo$ , состоящего из последовательности рейсов  $Route^1 \dots Route^N$ , стоимость услуги доставки  $Value(Cargo)$  распределяется между этими рейсами пропорционально расстояниям перевозки партии груза  $Cargo$  на этих рейсах.

В реальной практике процесс управления перевозками сборных грузов можно представлять в виде последовательности чередования двух фаз: накопления и формирования грузов, и принятия решений о выполнении рейсов. Решения о выполнении рейсов принимаются за определенный интервал времени до начала выполнения рейсов в зависимости от наличия поступивших грузов.

В соответствии с этим функционирование МАС состоит в следующем. На фазе накопления и формирования партий грузов создаются агенты партий грузов. После создания агенты партий грузов рассчитывают возможные варианты доставки на основе расписания планируемых рейсов. Из числа всех вариантов агенты партий грузов изначально выбирают наилучший вариант доставки. С учетом этого происходит предварительная оценка рентабельности выполнения планируемых рейсов, которая сводится к оценке показателей  $Load(Route)$  и  $Value(Route)$  этих рейсов. Рентабельность  $Profit(Route)$  рейсов оценивается по формуле

$$Profit (Route) = Value (Route) - Cost (Route).$$

На фазе принятия решений о выполнении планируемых рейсов целью работы МАС является расчет предложений по адаптивной коррекции планируемых рейсов на основе оценок загруженности и рента-

бельности рейсов. Расчет предложений выполняется на основе двух сценариев поведения агентов, выполняемых последовательно.

Первый сценарий имеет целью расчет предложений по переназначению партий грузов между рейсами для отмены нерентабельных рейсов (листинг 1).

```
Procedure remove unprofitable routes
Begin
1  costDecrease :=0
2  Routes* ← { R ∈ Route, profit(R) < α & start(R) < β }
3  foreach R ∈ Route* do flag(R):=false
4  While (exist R ∈ Route, profit(R) < α) do
5    R ← { R ∈ Route*, profit(R) is minimal }
6    Reallocate Cargo from (R)
7    if load(R)=0 then
8      costDecrease := costDecrease + cost(R)
9      remove(R)
10   else
11     flag(R) := true
End
End
```

Листинг 1. Сценарий расчета предложений по отмене рейсов

В соответствии с этим сценарием выявляются рейсы, до начала выполнения которых остается время, меньше заданного порога  $\beta$ , и оценка рентабельности которых меньше заданного порога  $\alpha$  (строка 2). Взаимодействие агентов рейсов и партий грузов при поиске вариантов переназначений описывается процедурой *Reallocate Cargo from* (строка 6), и состоит в следующем. Агент нерентабельного рейса  $R$  сообщает агентам партий грузов, которые забронировали место на этом рейсе, о возможной отмене рейса. Агенты этих партий грузов оценивают возможности изменения маршрута доставки. Для этого они выбирают наилучший по порядку вариант без использования рейса  $R$ , и взаимодействуют с агентами соответствующих рейсов выбранного варианта для проверки наличия свободного места в рейсе. При этом сравнивается объем партий грузов  $Volume(Cargo)$  и наличие свободного места на этих рейсах  $Load(Route)$ . Полученные оценки агенты партий грузов сообщают агенту рейса  $R$ .

В результате обобщения всех полученных оценок может возникнуть две ситуации. В первой ситуации для всех партий грузов есть другой вариант доставки без использования рейса  $R$  и без нарушения срока доставки. Во второй ситуации у агентов некоторых партий грузов наилучший из найденных вариантов имеет нарушение срока доставки. В этом случае решение принимается на основе сравнения двух

критериев: возможное сокращение себестоимости перевозок на величину  $Cost(Route)$  и возникающие при этом нарушения сроков доставок.

MAC рассматривается как система поддержки принятия решений. Поэтому решение о переназначениях партий грузов и отмене рейса в любом случае принимается при взаимодействии агента отменяемого рейса с пользователем системы. Если принимается решение об отмене рейса, то агенты партий грузов получают сообщение об этом, и каждый из них бронирует места у агентов рейсов выбранного варианта доставки.

Второй сценарий имеет целью расчет предложений по созданию новых внеплановых рейсов (листинг 2).

```

Procedure create new routes
Begin
1   $Cargo^* \leftarrow \{ Cargo, KPI(Cargo) > \gamma \}$ 
2   $\{cargo\ cluster\} \leftarrow clustering(Cargo^*)$ 
3  foreach cargo cluster do
4      Create new route (NewR)
5      Reallocate cargo cluster
6      Compute cost (NewR)
7   $extraCost := \sum cost(NewR)$ 
8   $Route := Route \cup New\ Route$ 
9  Remove unprofitable routes (Route, costDecrease)
10 If costDecrease < extraCost then
11     foreach  $R \in New\ route$  do
12         Reallocate cargo from (R)
13         Remove (R)
End
    
```

Листинг 2. Сценарий расчета предложений по созданию новых рейсов

Сценарий начинается с выявления партий грузов, относительно которых может возникать необходимость в оценке формирования новых рейсов (строка 1). К их числу относятся партии грузов, у которых  $KPI$  доставки превышает пороговое значение  $\gamma$ .  $KPI$  доставки рассчитывается как соотношение длины маршрута  $R$  выбранного наилучшего варианта доставки с длиной  $D$  самого короткого пути до терминала назначения партии грузов (рисунок 3).

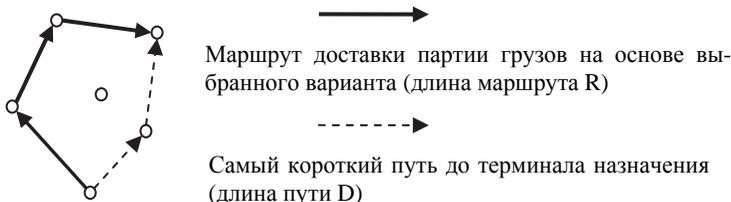


Рис. 3. Пояснение  $KPI$  доставки партии груза

На втором шаге сценария (строка 2) выполняется объединение выбранных партий грузов в группы на основе предварительного разбиения терминалов на несколько групп. Разбиение терминалов на группы выполняется экспертом на основе меры близости терминалов. С учетом этого партии грузов объединяются в одну группу, если их терминалы отправки и терминалы доставки также относятся к общим группам терминалов.

На основе полученных групп партий грузов формируются новые рейсы (строка 4). Агенты этих партий грузов отказываются от текущих вариантов доставки, выбирают новые созданные рейсы, и сообщают свои решения агентам соответствующих рейсов (строка 5). В результате такого взаимодействия происходит оценка загрузки и рентабельности новых рейсов с учетом расчета оценки себестоимости их выполнения (строка 6), и переоценка рентабельности ранее планируемых рейсов в результате снижения их загрузки.

Добавление новых «внеплановых» рейсов влечет увеличение совокупной себестоимости перевозок на величину *extraCost*, сумму значений себестоимости выполнения новых рейсов (строка 7). Поэтому добавление новых рейсов является экономически оправданным, если это увеличение можно компенсировать за счет переназначений партий грузов и отмены списка наименее рентабельных рейсов с суммарной себестоимостью больше значения *extraCost*. Поиск таких рейсов выполняется из объединенного множества рейсов, множества Route ранее планируемых рейсов и из множества New Route созданных новых рейсов (строка 8), с помощью повторения первого сценария – отмены наименее рентабельных рейсов (строка 9). Размер компенсации, который возникает в результате выполнения этого сценария, определяется значением *costDecrease*. Решение об использовании новых рейсов принимается на основе сравнения этого значения со значением *extraCost* (строка 10). Если отмена рейсов не позволяет компенсировать увеличение совокупной себестоимости перевозок, то все новые рейсы отменяются, и восстанавливаются исходные варианты доставки партий грузов, которые рассматривались до начала выполнения сценария поиска новых рейсов (строки 12, 13). При положительном исходе, когда  $costDecrease > extraCost$ , формируется предложение об использовании новых рейсов и отмены выбранного списка рейсов из ранее запланированных рейсов. Как и в первом случае, это предложение содержит информацию для принятия окончательного решения: совокупное снижение себестоимости перевозок на величину  $costDecrease - extraCost$ , и информацию о нарушении сроков доставки некоторых

партий грузов, которые возникают в результате их переназначений на другие рейсы.

**5. Заключение.** Основную проблему, возникающую при перевозке сборных грузов, в обобщенном виде можно сформулировать следующим образом. Есть два основных критерия планирования перевозок: повышение рентабельности перевозок и минимизация сроков доставки грузов. Эти критерии имеют противоположенную зависимость от времени консолидации грузов. Увеличение времени консолидации положительно влияет на повышение рентабельности перевозок за счет более высокой загрузки рейсов, но влечет увеличение сроков доставки. Сокращение времени консолидации влечет сокращение времени доставки, но негативно влияет на рентабельность перевозок из-за меньшей загрузки транспортных средств.

В реальной практике в основе организации перевозок сборных грузов используется расписание рейсов, которое составляется на основе прогнозирования направлений грузопотоков, и используется в относительно долгосрочной перспективе. Использование априори составленного расписания рейсов регламентирует время консолидации партий грузов на терминалах отправки, и как следствие - сроки доставки грузов. Но при этом рентабельность перевозок зависит от направлений и объемов грузопотоков, которые могут иметь существенные отличия от спрогнозированной модели, положенной в основу составления расписания рейсов. Таким образом, обеспечение более высокого уровня рентабельности перевозок можно достигать главным образом за счет адаптивной коррекции рейсов. В основе предложенных в статье методов коррекции рейсов рассматривается поиск вариантов переназначений партий грузов, которые позволяют отменять низкорентабельные рейсы и создавать новые рейсы с более высокой рентабельностью с целью снижения совокупной себестоимости перевозок.

Экспериментальные исследования разработанных методов являются задачей следующего этапа работ. При этом рассматривается два возможных подхода. Проведение экспериментальных работ методом имитационного моделирования и/или использование данных методов в рамках системы поддержки принятия решений. Второй подход предполагает использование такой системы в контуре реальной работы в экспериментальном режиме. Преимущество второго подхода состоит в том, что пользователь системы может оценивать предлагаемые решения по коррекции рейсов в текущей ситуации и по своему усмотрению учитывать их при принятии решений.

Результаты исследований, описанные в данной статье, выполняются в интересах проекта КАМАТЕЙНЕР, выполняемого в ОАО

КАМАЗ. В рамках этого проекта разрабатывается технология перевозок грузов с помощью съемных ВДФ контейнеров, которая называется как «эстафетная доставка», и суть которой заключается в том, что перевозка контейнера выполняется несколькими ТС. Каждое ТС осуществляет перевозку контейнера на коротком плече, 250-300 км, и далее передает его следующему ТС. Такая технология имеет ряд существенных преимуществ, главное из которых состоит в том, что скорость перевозки грузов увеличивается в 2-3 раза. В связи с этим следует отметить, что использование такой технологии для перевозки сборных грузов может оказать существенное влияние на их логистику. В частности, эта технология создает новые условия для разрешения противоречия: максимизация рентабельности рейсов или минимизация сроков доставки.

### Литература

1. *Caric T., Gold H.* Vehicle Routing Problem // InTech. 2008. 142p.
2. *Berbeglia G., Cordeau J.-F., Gribkovskaia I., Laporte G.* Static pickup and Delivery Problems: a classification scheme and survey // Top. 2007. vol. 15. no. 1. pp. 1–31.
3. *Hosny M. I., Mumford C.L.* The single vehicle pickup and delivery problem with time windows: Intelligent operators for heuristic and metaheuristic algorithms // Journal of Heuristics, Special Issue on Advances in Metaheuristics. 2010. vol. 16(3). pp. 417–439.
4. *Cort'es C., Matamala M., Contardo C.* The pickup and delivery problem with transfers: Formulation and a branch-and-cut solution method // European Journal of Operational Research. 2010. vol. 200(3), pp. 711–724.
5. *Coltin B.* Multi-agent Pickup and Delivery Planning with Transfers // Doctor of Philosophy in Robotics Thesis. 2014. 159 p.
6. *O'Kelly M.E., Miller H.J.* The hub network design problem // Journal of Transport Geography. 1994. pp. 31–40.
7. *Jacobs T.L., Garrow L.A., Lohatepanont M., Koppelman F.S., Coldren G.M., Purnomo H.* Airline Planning and Schedule Development // Quantitative Problem Solving Methods in the Airline Industry. Springer. 2012. pp. 35–99.
8. *Claes R., Holvoet T., Van Compel J.* Coordination in hierarchical pickup and delivery problems using delegate multi-agent systems // Proceedings of the 4th Workshop on Artificial Transportation Systems and Simulation. 2010. pp. 1–7.

### References

1. *Caric T., Gold H.* Vehicle Routing Problem. InTech. 2008. 142p.
2. *Berbeglia G., Cordeau J.-F., Gribkovskaia I., Laporte G.* Static pickup and Delivery Problems: a classification scheme and survey. Top. 2007. vol. 15. no. 1. pp. 1–31.
3. *Hosny M. I., Mumford C.L.* The single vehicle pickup and delivery problem with time windows: Intelligent operators for heuristic and metaheuristic algorithms. Journal of Heuristics, Special Issue on Advances in Metaheuristics. 2010. vol. 16(3). pp. 417–439.
4. *Cort'es C., Matamala M., Contardo C.* The pickup and delivery problem with transfers: Formulation and a branch-and-cut solution method. European Journal of Operational Research. 2010. vol. 200(3), pp. 711–724.

5. Coltin B. Multi-agent Pickup and Delivery Planning with Transfers. Doctor of Philosophy in Robotics Thesis. 2014. 159 p.
6. O'Kelly M.E., Miller H.J. The hub network design problem. *Journal of Transport Geography*. 1994. pp. 31–40.
7. Jacobs T.L., Garrow L.A., Lohatepanont M., Koppelman F.S., Coldren G.M., Purnomo H. *Airline Planning and Schedule Development. Quantitative Problem Solving Methods in the Airline Industry*. Springer. 2012. pp. 35–99.
8. Claes R., Holvoet T., Van Compel J. Coordination in hierarchical pickup and delivery problems using delegate multi-agent systems. *Proceedings of the 4th Workshop on Artificial Transportation Systems and Simulation*. 2010. pp. 1–7.

**Карсаев Олег Владиславович** — к-т техн. наук, старший научный сотрудник, Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации Российской академии наук (СПИИРАН). Область научных интересов: интеллектуальная поддержка принятия решений, транспортная логистика, многоагентные системы. Число научных публикаций — 90. [karsaev@ips-logistic.com](mailto:karsaev@ips-logistic.com); Санкт-Петербург, 199178, 14 линия, 39; р.т. +79119095270.

**Karsaev Oleg Vladislavovich** — Ph.D., senior researcher, St. Petersburg Institute for informatics and Automation of Russian Academy of Sciences (SPIIRAS). Research interests: intelligent decision support, transportation logistics, agent based systems. The number of publications — 90. [karsaev@ips-logistic.com](mailto:karsaev@ips-logistic.com); 39, 14 line, St.Petersburg, 199178; office phone +79119095270

**Кулемин Владимир Юрьевич** — к-т техн. наук, доцент, директор инженерный центр ОАО «КАМАЗ». Область научных интересов: управление знаниями, транспортная логистика. Число научных публикаций — 60. [kulemin@kamaz.org](mailto:kulemin@kamaz.org); 197110, ул. Красного Курсанта, д.25, офис 408; р.т. +79095875676.

**Kulemin, Vladimir Yurevich** — Ph.D., associate professor, director, the Engineering centre “KAMAZ”. Research interests: knowledge management, transportation logistics. The number of publications — 60. [kulemin@kamaz.org](mailto:kulemin@kamaz.org); Office 408, 25 Krasnogo Kursanta, St.Petersburg, 197110; phone +79095875676.

**Морозов Борис Михайлович** — руководитель, аналитическая служба ОАО «КАМАЗ». Область научных интересов: системный анализ, оценка инвестиций, инновационные бизнес-модели для образования, промышленности и транспорта. Число научных публикаций — 20. [morozov@kamaz.ru](mailto:morozov@kamaz.ru); Набережные Челны, Автозаводский пр.2 офис 400, 423827, Республика Татарстан; р.т. +79600700157

**Morozov Boris Mikhailovich** — director, Analytical Centre “KAMAZ”. Research interests: system analysis, investment appraisal, innovative business models for education, industry and transport. The number of publications — 20. [morozov@kamaz.ru](mailto:morozov@kamaz.ru); Office 400, 2, Avtozavodky Av, Naberezhnye Chelny, Republic of Tatarstan; phone +79600700157.

## РЕФЕРАТ

*Карсаев О.В. Кулемин В.Ю., Морозов Б.М. Планирование доставки сборных грузов.*

В работе рассматривается задача оперативного планирования межтерминальных перевозок сборных грузов с целью снижения себестоимости перевозок. В реальной практике в основе организации таких перевозок используется модель Hub-and-Spokes. В соответствии с этой моделью существует априори составленное расписание рейсов межтерминальных перевозок. В связи с этим задача планирования сводится к задаче адаптивной коррекции рейсов и расписания.

Эффективность такого подхода существенным образом зависит от логики используемого расписания и рейсов, а именно от возможностей использования операций трансфера партий грузов между рейсами. В связи с этим рассматривается метод декомпозиции маршрутной сети на два уровня. Первый уровень состоит из одного фрагмента, в рамках которого используются операции трансфера. Второй уровень состоит из нескольких независимых фрагментов, в которых операции трансфера не предусматриваются. В соответствии с этим оптимизация перевозок в рамках второго уровня маршрутной сети сводится к решению задачи VRPTW, а методы адаптивной коррекции расписания и рейсов рассматриваются применительно к первому уровню маршрутной сети.

Описываются два метода коррекции. Первый метод сводится к поиску переназначений партий грузов между рейсами, которые позволяют полностью отменить убыточные рейсы. Второй метод сводится к формированию новых внеплановых рейсов, которые рассчитываются в зависимости от текущих заказов на перевозку грузов. При этом выполняется оценка снижения себестоимости перевозок при условии, что использование новых рейсов позволяет отменить ряд рейсов, предусмотренных расписанием.

## SUMMARY

### *Karsaev O.V., Kulemin V.Y, Morozov B.M. Assorted Cargo Delivery Scheduling.*

The problem of assorted cargo delivery scheduling in real time is considered at the paper. At that the main objective of the scheduling is decrease of transportation cost. In practice the "Hub and Spokes" model is basis of assorted cargo transportation. According to this model there is a priority computed time table of trips between terminals. Therefore the problem is considered as adaptive correction of trips and time table.

Effectiveness of such approach is mainly determined by logics of time table and trips, namely by opportunities of cargo transfers between trips. Accordingly a decomposition of route network in two levels is considered. First level consists of one fragment of route network in which cargo transfers are provided and actively executed in practice. Second level consists of some fragments in which cargo transfers are not provided by time table and trips. So at these fragment transportation scheduling is reduced to VRPTW problem statement, and adaptive correction is considered only in regard to first level of route network.

Two methods of adaptive correction are described. First one is search of cargo reallocation between trips that allows cancelling of unprofitable trips. Second method is computation of new trips and cancellation of some planned ones depending on current situation and on condition that it reduces total transportation cost.

Н.Н. ТЕСЛЯ  
**ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ  
ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ  
ИНФОМОБИЛЬНОСТИ**

---

*Тесля Н.Н. Принципы построения интеллектуальных транспортных систем для обеспечения инфомобильности*

**Аннотация.** В статье рассматриваются вопросы, связанные с разработкой информационной системы для повышения мобильности жителей города, также известной как «инфомобильная» система. Рассматривается целесообразность создания подобной системы, основные свойства, которыми она должна обладать и принципы построения систем такого класса. Приводится сравнение доступных в настоящее время сервисов, обеспечивающих инфомобильность пользователей.

**Ключевые слова:** инфомобильность, интеллектуальная транспортная система.

*Teslya N.N. The Development Principles of Intelligent Transportation Systems for Infomobility*

**Abstract.** The paper provides a discussion about the development of information system to increase citizens' mobility. The system is also known as system for infomobility. The following questions are discussed in the paper: the system expediency, main system's features main principles that are used for system development. Additionally, the comparison of existing services that provide infomobility is presented in the paper.

**Keywords:** infomobility, intelligent transportation system.

---

**1. Введение.** В настоящее время в Российской Федерации наблюдается устойчивый рост обеспеченности населения индивидуальными автомобилями. Согласно данным федеральной службы государственной статистики, с 2000 по 2013 годы автопарк страны увеличился на 91 % — с 24,9 млн. транспортных средств до 47,6 млн. Из них основной рост пришелся на легковые автомобили в собственности граждан и составил 105 % — с 19 млн. до 39,2 млн. В период с 2012 по 2013 год, прирост в среднем по стране составил 6 % — с 257,5 до 273,1 автомобилей на 1000 человек (в 2000 году этот показатель равнялся 130,5 автомобилям на 1000 человек). Вместе с тем наблюдается постепенный отказ населения от услуг общественного транспорта: по всем видам наземного городского транспорта падение пассажиропотока с 2000 по 2013 годы составило 57,6%. Вместе с падением пассажиропотока выявлено сокращение количества общественного транспорта на 29 % — со 145,6 тыс. шт. по состоянию на 2000 год, до 102,6 тыс. шт. по состоянию на 2013 год [1]. Следует, однако, отметить, что в настоящее время по количеству автомобилей на 1000 человек Россия значительно отстает от стран Западной Европы и США, в которых этот показатель колеблется от 500 до 900 автомобилей на 1000 человек [2].

Приведенная статистика наглядно показывает тенденцию роста количества автотранспорта вместе с падением интереса к услугам общественного транспорта в Российской Федерации. С последствиями данного процесса уже столкнулись многие крупные города: возросло количество заторов, возник дефицит парковочных мест, стало существенно сложнее использовать общественный транспорт. Решение этих проблем должно иметь комплексный характер и проводиться на всех уровнях государственного управления. К настоящему времени, для смягчения существующих проблем и для повышения мобильности граждан разработаны информационные транспортные системы, основная цель которых — обеспечение пользователей информацией о текущем состоянии транспортной сети и предложение вариантов передвижения между заданными точками, осуществляемое с помощью мобильных устройств.

**2. Город, удобный для жизни.** В ходе анализа проблемы развития городской среды, западными учеными было выведено понятие города, удобного для жизни. Одной из характеристик такого города является «возможность перемещаться с удобствами без необходимости владеть автомобилем или пользоваться им» [3]. Другими словами, данный тезис можно выразить следующим образом: чем удобнее город для автомобилей, тем он менее привлекателен для людей. Показательным является пример города Детройт, штат Мичиган, США. Став к 1950 году одним из главных центров машиностроения и одним из самых богатых городов Северной Америки, он обеспечил большую часть населения личным транспортом. В самом городе массово строились сети магистралей и транспортные развязки, при этом совершенно не уделялось внимания системе общественного транспорта. Более того, проводимые рекламные кампании мотивировали население на приобретение личного транспорта, выставляя общественный транспорт непрестижным, как «транспорт для бедняков». Подобное увеличение количества личных автомобилей и упадок общественного транспорта, вместе с ограниченными возможностями для развития транспортной инфраструктуры и деиндустриализацией вызвало массовый отток населения в пригороды, что, в конечном счете, привело к упадку и банкротству Детройта [3].

Таким образом, можно сделать вывод, что развитая сеть общественного транспорта и наличие удобной пешеходной инфраструктуры являются наиболее важными характеристиками городов, удобных для жизни [3]. Эксперт министерства транспорта

США (1975-1977гг.), В. Вучик, выделяет четыре уровня планирования, организации и функционирования систем городского транспорта:

– 4 уровень. Включает в себя отдельные объекты инфраструктуры, такие как перекрестки, бульвары, пешеходные зоны, отдельные маршруты автобусов и т.д.

– 3 уровень. Включает в себя маршрутную сеть одного вида транспорта: уличная сеть, велосипедные дорожки, сеть пригородных железных дорог

– 2 уровень. Интермодальная координированная система. В ее состав входит улично-дорожная сеть, различные виды общественного транспорта, пешеходные зоны и т. д.

– 1 уровень. Рассматривается взаимосвязь города и его транспортной системы. Речь идет о координации транспортной системы и города, его объектов и всех остальных функций, таких как экономика, жилищная сфера, социальные условия. Это самый высокий уровень интеграции процессов планирования и управления.

Как отмечает В. Вучик, деятельность планирующих и эксплуатационных государственных органов на уровнях «4» и «3» обычно поставлена вполне удовлетворительно. Второй уровень выходит за пределы какой-либо одной юрисдикции — дорожной службы, компании грузовых перевозок или агентства общественного транспорта — предполагается более высокую степень организации, которая чаще всего возлагается на региональный орган управления. Однако на практике решения многих проблем до сих пор принимаются без рассмотрения взаимодействия между различными видами транспорта. Первый уровень является высшим уровнем координации городского планирования и развития. На нем осуществляется планирование транспорта как единой функциональной системы, связанной с другими аспектами функционирования города, такими как расселение, экономическая и социальная активность, экология и т.д. Вследствие недостаточно детальной проработки второго уровня, деятельность на первом уровне в настоящее время также является неэффективной.

Для повышения эффективности управления городским транспортным планированием на втором уровне необходим всесторонний анализ существующей транспортной сети города, включающей в себя все имеющиеся виды транспорта и существующую улично-дорожную сеть. Желаемая комбинация видов транспорта для конкретного города во многом зависит от его размера и особенностей. В малом городе выбор видов транспорта обычно не составляет особой проблемы. Индивидуальные перемещения —

пешком, на велосипеде или на автомобиле — могут удовлетворить большинство потребностей жителей города. Для городов с низким уровнем автомобилизации или с наличием большого количества жителей должны развиваться услуги общественного транспорта. Таким образом, малые города с высоким уровнем автомобилизации — это единственное место, где одномодальную систему «автомобиль-дорога», дополненную инфраструктурой для пешеходов, можно считать адекватной и эффективной.

В средних и больших городах возрастает потребность в общественном транспорте, обладающем значительными провозными возможностями. Таким транспортом могут быть вместительные автобусы, троллейбусы, сеть городского электрического железнодорожного транспорта (трамвай, метро). Одновременно растет острота проблем, связанных с использованием автомобилей, чрезмерным потреблением территориальных ресурсов города и негативными внешними эффектами. Поэтому такие города нуждаются во внедрении сбалансированной транспортной системы.

Без решения задач второго и первого уровня невозможно в полной мере решить транспортные проблемы города и сделать его по-настоящему удобным для жизни. Решение этих задач требует значительного вложения временных и материальных ресурсов, координации между всеми управляющими структурами города. Поэтому в целях смягчения существующих городских транспортных проблем и повышения мобильности жителей города, многие специалисты в транспортной сфере сосредоточили свое внимание на технологических системах, в частности на создании интеллектуальных транспортных систем (ITS, Intelligent transportation system, далее — ИТС).

**3. Инфомобильность.** ИТС нацелены на предоставление конечным потребителям (жителям города) инновационных сервисов, связанных с различными типами транспорта и управлением движения. Эти сервисы обеспечивают информирование пользователей о текущей дорожной ситуации, что позволяет им совершать более безопасные поездки и эффективнее использовать существующие транспортные сети региона. ИТС интегрируют телекоммуникационные, электронные и информационные технологии с целью планирования, разработки, поддержания и управления транспортными системами города. Применение информационных и коммуникационных технологий в сфере дорожного транспорта и его связи с другими типами транспорта осуществляет существенный вклад в повышение эффективности использования транспорта, окружающей среды,

увеличивает безопасность дорожного транспорта, а также значительно увеличивает мобильность пассажиров и грузов [4].

Одним из видов ИТС, обеспечивающих мобильность населения, являются системы обеспечения инфомобильности. Понятие «инфомобильность» относится к ИТС, предоставляющим пользователям мобильных устройств доступ к персонализированной информации и сервисам с учетом их текущего географического положения [5, 6]. Основная цель таких систем – повышение мобильности пользователей за счет информационной поддержки пользователя, осуществляемой как при планировании поездки, так и во время нее. В связи с этим, системы, обеспечивающие инфомобильность, предоставляют достаточно широкий набор сервисов, начиная от поиска точек интереса (Points of Interest, POI), таких как музеи, рестораны или достопримечательности на пути пользователя и заканчивая уведомлениями в реальном времени о событиях на дороге, таких как ДТП, отклонение поезда от расписания и т.д. Последний тип сервисов особо важен в интермодальной транспортной сети, в которой пользователь в ходе следования по маршруту может сменить несколько типов транспорта (например, часть пути пройти пешком, сесть на автобус, доехать до станции метро и пересесть на поезд и т.д.) [6].

Несмотря на новизну термина «инфомобильность», первые упоминания которого относятся к началу двухтысячных годов [5], на данный момент существует множество исследований, направленных на разработку систем, обеспечивающих инфомобильность, архитектур для них и требований к подобным системам. Кроме того, некоторые из систем, разработанных в рамках ИТС, также относятся к системам, обеспечивающим инфомобильность пользователей.

В ходе анализа работ, посвященных системам для обеспечения инфомобильности, был выявлен ряд характерных для подобных систем свойств [5-12]:

– Отображение карты. Карта может подгружаться из внутренней памяти или из внешних источников и должна быть обновляемой, для предоставления пользователю актуальной информации. Учитывая мобильность пользователя, карта должна охватывать весь мир и иметь высокую детализацию.

– Отображение точек интереса. Среди точек или мест интереса выделяются достопримечательности (памятники, музеи, мемориальные доски и т.п.), магазины, кафе, заправки и многое другое. Дополнительно, для каждого типа точек интереса может

выводиться контекстная информация, например, время работы музея, описание достопримечательности, фотографии пользователей с этого места, оценки пользователей и др.

– Построение и отображение маршрутов. Маршруты должны строиться как для всех видов транспортных средств по отдельности, так и для различной их комбинации (интермодальный маршрут).

– Отображение событий на карте. Заторы, ДТП, ремонты дороги и прочая актуальная информация, позволяющая скорректировать планируемый маршрут.

– Мобильность. Система должна полностью или частично (основная обработка информации производится в облаке, устройство пользователя используется только для сбора данных и отображения результата) работать на мобильном устройстве конечного пользователя.

– Поддержка пользователя в поездке. Отображение расписания общественного транспорта, навигационная информация, оповещения о событиях.

– Добавление и редактирование информации самими пользователями. В ходе поездки, пользователи могут редактировать уже имеющуюся информацию об объектах в системе, либо создавать новые объекты, связанные с определенным географическим положением.

– Дополнительные сервисы, такие как погода, бронирование отелей, прокат машин, наличие свободных мест на парковке, стоимость бензина на заправочных станциях по бренду и др.

– Учет предпочтений пользователя. Вся предоставляемая информация должна учитывать предпочтения пользователя.

– Рекомендации. Предоставляемая информация может быть дополнительно ранжирована, основываясь на отзывах других пользователей и близости их интересов к интересам пользователя системы.

**4. Обзор основных сервисов.** В настоящее время наибольший вклад в развитие инфомобильных сервисов осуществлен мировыми корпорациями, занимающимися поисковыми системами в сети Интернет. Многие из них достаточно давно предоставляют доступ к картографической информации, постепенно расширяя функциональность свойствами, представленными в предыдущем разделе. В таблице 1 представлено сравнение существующих картографических сервисов по основным параметрам, характерным для инфомобильных систем.

Таблица 1. Сравнение основных картографических сервисов

	Карты Google	Nokia Here	Яндекс	OpenStreetMap
	Точки интереса	+	+	Только Россия, страны СНГ и Турция
События на карте	+	+		Наиболее вероятные загоры
Мобильность	Android, Windows Phone, iOS			
Построение и отображение пути:			Отдельное приложение	Отдельные приложения
- Пешеход	Внутри и между городами	Внутри города	Только в интермодальном маршруте	Внутри и между городами
- Личный автомобиль		Внутри и между городами	Внутри и между городами	Внутри и между городами
- Общественный транспорт		Внутри города	Внутри города	Внутри города
- Интермодальные маршруты		Внутри города	Внутри города	Внутри города
Поддержка пользователя:				
- Навигация	+	+	+	Отдельные приложения
- Оповещения о событиях	-	-	+	В зависимости от приложения
- Динамическое изменение маршрута	-	-	+	
Добавление и редактирование информации пользователями	Имеется	Имеется	Имеется, Народная карта	Вся карта создается и редактируется пользователями
Дополнительные сервисы	Фотографии, панорамы, бронирование отелей, расписание пригородных поездов, расписание движения общественного транспорта	Фотографии, панорамы, отображение погоды	Фотографии, панорамы, Яндекс.Расписание, Яндекс.Транспорт, Яндекс.Такси	-

Сервис Google Maps впервые стал доступен широкой публике в 2005 году, предоставляя сначала только подробные карты Северной Америки. К настоящему времени на картах Google кроме картографической информации, доступной для всего мира, предоставляется доступ к большому числу сервисов, обеспечивающих пользователя дополнительной информацией и повышающих инфомобильность пользователя.

Сервис Nokia Here является развитием картографического проекта компании Navitq, выкупленного Nokia в 2007 году. Предоставляет подробные карты более чем для 180 стран мира, а также дополнительные сервисы навигации, поиска точек интереса и отображения расширенной информации о них.

Главный недостаток обоих представленных выше сервисов — неполный географический охват. Хотя общие карты доступны для всего мира, их подробность и список предоставляемых сервисов сильно отличается в зависимости от региона. Так, например, пользователям из России, стран СНГ, восточной Европы и Азии, недоступны многие события на карте (отображаются только заторы), не во всех городах имеется расписание движения транспорта или охвачен не весь имеющийся транспорт. Такая ситуация складывается из-за того, что оба сервиса используют сервисы третьей стороны для получения дополнительной информации, и обработка данных для собственных сервисов происходит в полуавтоматическом режиме.

Российской компанией Яндекс представлен набор отдельных приложений, которые совместно позволяют обеспечить инфомобильность: Яндекс.Карты (отображение карт, точек интереса, геокодирование, построение маршрутов, заторы и события), Яндекс.Навигатор (построение маршрутов, навигация по маршруту), Яндекс.Транспорт (отображение текущего местоположения общественного транспорта, прогноз времени ожидания на остановке), Яндекс.Расписание (расписания всех видов транспортных средств от маршрутных такси до самолетов), Яндекс.Такси (поиск и заказ такси). Однако географический охват сервисов достаточно мал. В списке регионов, в которых обеспечена полная и надежная работа каждого из сервисов (кроме карт и навигации, доступных по всему миру) значится только Россия, страны СНГ и Турция.

Картографический сервис OpenStreetMap предоставляет в свободном доступе наиболее подробную карту мира, позволяя разработчикам использовать картографические данные для построения собственных сервисов. К настоящему моменту разработаны приложения, использующие данные карт OpenStreetMap для поиска

достопримечательностей, построения маршрутов, навигации и как источник информации для картографических сервисов.

Помимо сервисов, перечисленных выше, существуют сервисы, предоставляющие ограниченный набор функций. Их можно поделить на два больших класса: навигационные приложения и туристические гиды. Навигационные программы (Навител, СитиГид и др.) имеют в целом однообразный функционал, который, помимо простого построения маршрута, позволяет в реальном времени получать информацию о заторах, различных событиях на дороге и, в случае необходимости, автоматически перестраивать маршрут с учетом текущей ситуации. Туристические гиды (Tripso, TripAdvisor, TAIS и т.д.) обеспечивают поддержку туриста дополнительной информацией, включающей в себя туристические карты городов, погоду, маршруты между основными достопримечательностями, описание достопримечательностей, фотографии пользователей, их отзывы и оценки.

Представленные выше сервисы покрывают большую часть потребностей пользователя, связанных с его инфомобильностью. Как видно из таблицы 1, ни один из сервисов не реализует полный набор ожидаемых функций в единой системе.

**5. Принципы построения систем, обеспечивающих инфомобильность.** Разработка системы для обеспечения инфомобильности, реализующей все необходимые пользователю функции, требует особого внимания как к реализации ее отдельных компонентов, так и к организации их взаимодействия. Реализация компонента необязательно предполагает разработку соответствующего ему сервиса с нуля. На сегодняшний день существует достаточное количество общедоступных сервисов, предоставляющих информацию, связанную с определенным географическим местоположением, например, погодные сервисы, выдающие текущую погоду по координатам, геолокационные сервисы, позволяющие определить объекты, расположенные вокруг указанных координат и т.д. В связи с этим, основной задачей разработчика системы для обеспечения инфомобильности является объединение различных сервисов в одной системе, организация их взаимодействия и предоставление результатов работы пользователю системы в форме, удобной для восприятия.

При построении подобной системы централизованная архитектура, в которой все функции выполняются на одном центральном вычислительном кластере, является неприемлемым решением в силу того, что каждая из функций требует обработки

достаточно большого объема данных и существенных затрат вычислительных ресурсов. Кроме того, централизованная архитектура существенно затрудняет масштабируемость и обеспечение поддержки большого количества пользователей.

Распределенная архитектура, предлагаемая авторами многих работ по инфомобильным системам [6, 8, 9, 10], позволяет реализовать каждую функцию системы как отдельный сервис. Подобный подход делает возможным поддержку большого количества разнообразных устройств, без необходимости существенной переработки системы. Добавление дополнительной функциональности осуществляется запуском нового сервиса, не влияющего на работу уже существующих сервисов и, возможно, использующего их результаты.

Однако в отличие от централизованной архитектуры, распределенная вносит дополнительные задачи, связанные с обеспечением безопасности личной информации пользователей. Преимуществом централизованной инфраструктуры является то, что обработка всей информации происходит в единой, замкнутой в себе среде. Это позволяет создать единый защищенный канал, через который будет передаваться вся обрабатываемая информация, без выхода за пределы среды. Все пользователи изолированы друг от друга, что препятствует получению неавторизованного доступа к их личным данным. В случае распределенной архитектуры необходима отправка и сбор данных сразу для нескольких сервисов, причем часть из них может быть представлена третьей стороной (например, сбор фотографий по заданным координатам из Flickr). В связи с этим, необходима дополнительная проработка механизмов, обеспечивающих сохранность личной информации пользователей системы.

Для поддержки пользователя во время поездки система должна постоянно контролировать среду, в которой находится пользователь, и адаптироваться к ее изменениям. Среда, в которой находится пользователь, описывается контекстом, который формируется как самим пользователем, так и независимо от него различными объектами среды. Контекстной информацией, необходимой для работы инфомобильного сервиса, чаще всего является:

– Тип пользователя в системе (турист, пассажир общественного транспорта, водитель, попутчик и др.). Так как одним из свойств инфомобильных систем является интермодальность маршрута, тип пользователя может динамически изменяться и, следовательно, система должна подстраиваться под каждый из типов (использовать различные виды уведомлений, выводить или не выводить точки интереса и др.);

– Профиль пользователя, который включает в себя личные предпочтения пользователя. Любая дополнительная информация должна выводиться с учетом пожеланий пользователя: музеи определенной направленности, магазины конкретных брендов и т.д.

– Текущие координаты пользователя. Вся информация подбирается с учетом текущего положения пользователя и направлена на его поддержку в текущей точке.

– Текущее время. От времени зависит доступность конкретного транспорта, доступность для посещения музеев, магазинов, и т.д.

Для оказания своевременной поддержки пользователю сбор контекстной информации должен вестись в режиме реального времени, без необходимости дополнительных действий со стороны пользователя. Это позволяет сократить время ожидания результатов и повысить отзывчивость сервиса для пользователя. Кроме реакции на изменение контекста, сервис может отслеживать динамику изменения ситуации и, собрав дополнительные данные, предложить пользователю сервис, который с наибольшей вероятностью будет полезен в складывающейся ситуации. Такое поведение называется проактивным и в настоящее время разработка многих информационных систем ведется с поддержкой проактивного режима действий [13, 14].

Резюмируя вышесказанное, можно выделить следующие принципы построения систем для обеспечения инфомобильности:

– Отображение не только карты, но и дополнительной информации, такой как точки интереса, события, фотографии, панорамы и т.д.

– Обеспечение возможности построения интермодальных маршрутов.

– Поддержка пользователей: уведомления, голосовые сообщения и другие способы предоставления информации, требующей внимания пользователя.

– Обеспечение возможности оценки объектов пользователями системы, с последующими рекомендациями на основе полученных оценок.

– Распределенность архитектуры, многоагентный подход при объединении отдельных сервисов в систему;

– Работа с контекстной информацией, персонализация при обработке и выводе информации;

– Адаптивность и проактивность при взаимодействии с пользователем.

**6. Заключение.** К настоящему времени для повышения мобильности населения во многих странах разработаны информационные транспортные системы, основная цель которых — обеспечение пользователей информацией о текущем состоянии транспортной сети и предложение вариантов передвижения между заданными точками с помощью мобильных устройств. Такие системы называются инфомобильными. Дополнительно в них может выводиться информация о точках интереса, погоде в текущем расположении, фотографии пользователей, а также могут предоставляться различные сервисы, например, бронирование отелей, покупка билетов на мероприятие в ближайшем концертном зале и т.д. Подобные системы чаще всего строятся с применением концепции повсеместных вычислений, которые на основе контекстной информации каждого пользователя, в проактивном режиме предлагают информацию и сервисы, которые с наибольшей вероятностью будут полезны пользователю в текущий момент.

Существующие ИТС реализуют большую часть функций, требуемых для обеспечения инфомобильности. Однако их анализ показал, что качество предоставляемой информации может быть повышено за счет объединения в одной системе функций, которыми обладают все рассмотренные системы. В ходе анализа работ, посвященных построению систем, обеспечивающих инфомобильность, были выведены принципы, которые следует учитывать при разработке подобных систем. Применение полученных принципов позволит построить единую систему, предоставляющую пользователям широкий спектр геоинформационных сервисов вместе с обеспечением проактивного режима их работы, обеспечением рекомендаций, и введением новых способов передвижения (совместное использование автотранспорта, карпул). Учитывая динамику роста количества транспорта на дорогах, разработка системы, обеспечивающей инфомобильность населения, является актуальной задачей, решение которой позволит повысить удобство передвижения по региону.

### **Литература**

1. Федеральная служба государственной статистики. Транспорт и связь. URL: [http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat\\_main/rosstat/ru/statistics/enterprise/transport/](http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/enterprise/transport/) (дата обращения 14.12.2014)
2. The World Bank group. Motor vehicles (per 1,000 people). URL: <http://data.worldbank.org/indicator/IS.VEH.NVEH.P3> (дата обращения 14.12.2014)
3. Вучик В. П. Транспорт в городах, удобных для жизни // Москва: Территория будущего. 2011. 574 с.
4. Directive 2010/40/EU of the European parliament and of the council of 7 July 2010 on the framework for the deployment of Intelligent Transport Systems in the field of road

transport and for interfaces with other modes of transport. URL: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2010:207:0001:0013:EN:PDF> (дата обращения 14.12.2014)

5. *Moraitis P., Petraki E., Spanoudakis N.I.* Providing Advanced, Personalised Infomobility Services Using Agent Technology // Applications and Innovations in Intelligent Systems XI. 2004. pp. 35-48.
6. *Canali C., Lancellotti R.* A distributed architecture to support infomobility services // Proceedings of the 2nd international workshop on Advanced architectures and algorithms for internet delivery and applications. ACM International Conference Proceeding Series. Pisa. Italy. 2006. vol. 198.
7. *Mazzucchelli L., Pace M.* Extensible Interfaces for Mobile Devices in an Advanced Platform for Infomobility Services // Proceedings of the working conference on Advanced visual interfaces. 2004. pp. 450-453.
8. *Moraitis P., Petraki E., Spanoudakis N.I.* An Agent-Based System for Infomobility Services // 3<sup>rd</sup> European Workshop on Multi-Agent Systems (EUMAS2005). 2005.
9. *Brennan S., Meier R.* STIS: Smart Travel Planning Across Multiple Modes of Transportation // Proceedings of 10<sup>th</sup> International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems (IEEE ITSC 2007). 2007. pp. 666-671.
10. *García C.R., Pérez R., Lorenzo A., Quesada-Arencibia A., Alayón F., Padrón G.* Architecture of a Framework for Providing Information Services for Public Transport // Sensors. 2012. vol. 12. issue 5. pp. 5290-5309.
11. *Smirnov A., Kashevnik A., Shilov N.* Infomobility for “car-driver” systems: Reference model and case study // IFIP Advances in Information and Communication Technology. 2014. vol. 434. pp. 739-748.
12. *Boccardo P., Arneodo P., Botta D.* Application of geomatic techniques in infomobility and intelligent transport systems (ITS) // European Journal of Remote Sensing. 2014. vol. 47. issue 1. pp. 95-115.
13. *Кашевник А.М., Корзун Д.Ж., Баландин С.И.* Разработка интеллектуальных систем на базе платформы Smart-M3: учебное пособие для студентов мат. и техн. специальностей вузов // Петрозаводск: Издательство ПетрГУ. 2013. 51 с.
14. *Korzun D., Galov I., Balandin S.* Proactive personalized mobile multiblogging service on SmartM3 // Journal of Computing and Information Technology. 2012. vol. 20. no. 3. pp. 175-182.

## References

1. Federal'naja sluzhba gosudarstvennoj statistiki. Transport i svjaz' [Federal State Statistics Service. Transport and communication]. Available at: [http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat\\_main/rosstat/ru/statistics/enterprise/transport/](http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/enterprise/transport/) (accessed 14.12.2014) (In Russ.).
2. The World Bank group. Motor vehicles (per 1,000 people) Available at: <http://data.worldbank.org/indicator/IS.VEH.NVEH.P3> (accessed 14.12.2014).
3. *Vuchic V.R.* *Transport v gorodah, udobnyh dlja zhizni* [Transportation for Livable Cities]. Moskva: Territorija budushhego. 2011. 574 p. (In Russ.).
4. Directive 2010/40/EU of the European parliament and of the council of 7 July 2010 on the framework for the deployment of Intelligent Transport Systems in the field of road transport and for interfaces with other modes of transport. Available at: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2010:207:0001:0013:EN:PDF> (accessed 14.12.2014)
5. *Moraitis P., Petraki E., Spanoudakis N.I.* Providing Advanced, Personalised Infomobility Services Using Agent Technology. Applications and Innovations in Intelligent Systems XI. 2004. pp. 35-48.

6. Canali C., Lancellotti R. A distributed architecture to support infomobility services. Proceedings of the 2nd international workshop on Advanced architectures and algorithms for internet delivery and applications. ACM International Conference Proceeding Series. Pisa. Italy. 2006. vol. 198.
7. Mazzucchelli L., Pace M. Extensible Interfaces for Mobile Devices in an Advanced Platform for Infomobility Services. Proceedings of the working conference on Advanced visual interfaces. 2004. pp. 450-453.
8. Moraitis P., Petraki E., Spanoudakis N.I. An Agent-Based System for Infomobility Services. 3<sup>rd</sup> European Workshop on Multi-Agent Systems (EUMAS2005). 2005.
9. Brennan S., Meier R. STIS: Smart Travel Planning Across Multiple Modes of Transportation. Proceedings of 10<sup>th</sup> International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems (IEEE ITSC 2007). 2007. pp. 666-671.
10. García C.R., Pérez R., Lorenzo A., Quesada-Arencibia A., Alayón F., Padrón G. Architecture of a Framework for Providing Information Services for Public Transport. Sensors. 2012. vol. 12. issue 5. pp. 5290-5309.
11. Smirnov A., Kashevnik A., Shilov N. Infomobility for “car-driver” systems: Reference model and case study. IFIP Advances in Information and Communication Technology. 2014. vol. 434. pp. 739-748.
12. Boccardo P., Arneodo F., Botta D. Application of geomatic techniques in infomobility and intelligent transport systems (ITS). European Journal of Remote Sensing. 2014. vol. 47. issue 1. pp. 95-115.
13. Kashevnik A.M., Korzun D.Z., Balandin S.I. *Razrabotka intellektual'nykh sistem na baze platformy Smart-M3: uchebnoe posobie dlja studentov mat. i tehn. special'nostej vuzov* [Intelligent system development based on the Smart-M3 platform: textbook for mathematics and technical student in universities]. Petrozavodsk: Izdatel'stvo PetrGU. 2013. 51 p. (In Russ.)
14. Korzun D., Galov I., Balandin S. Proactive personalized mobile multiblogging service on SmartM3. Journal of Computing and Information Technology, 2012. vol. 20. no. 3. pp. 175-182.

**Тесля Николай Николаевич** — младший научный сотрудник, лаборатория интегрированных систем автоматизации Санкт-Петербургского института информатики и автоматизации Российской академии наук (СПИИРАН). Область научных интересов: онтологии, интеллектуальные пространства, защита информации. Число научных публикаций — 22. teslya@ias.spb.su; 199178, Санкт-Петербург, 14 линия В.О., д. 39; п.т. +7(812)328-8071

**Teslya Nikolay Nikolaevich** — junior researcher, laboratory of computer aided integrated systems of St. Petersburg Institute for Informatics and Automation of Russian Academy of Sciences (SPIIRAS). Research interests: ontologies, smart-spaces, information security. The number of publications — 22. teslya@ias.spb.su; 39, 14-th Line V.O., St. Petersburg, 199178, Russia, SPIIRAS; office phone +7(812)328-8071

## РЕФЕРАТ

### *Тесля Н.Н.* **Принципы построения интеллектуальных транспортных систем для обеспечения инфомобильности.**

В настоящее время в Российской Федерации наблюдается устойчивый рост обеспеченности населения индивидуальными автомобилями. С последствиями данного процесса уже столкнулись многие крупные города: возросло количество заторов, возник дефицит парковочных мест, стало существенно сложнее использовать общественный транспорт. Решение этих проблем должно иметь комплексный характер и проводиться на всех уровнях государственного управления.

С целью смягчения существующих транспортных проблем и повышения мобильности населения, многие специалисты в транспортной сфере сосредоточили свое внимание на разработке интеллектуальных транспортных систем, нацеленных на предоставление конечным потребителям (жителям города) инновационных сервисов, связанных с различными типами транспорта и управлением движения. Такие системы также называются инфомобильными.

В статье рассматриваются основные свойства инфомобильных систем и принципы их построения. На основе анализа существующих исследований и инфомобильных сервисов выделяются следующие основные свойства: отображение карты; отображение точек интереса; построение и отображение маршрутов; отображение событий на карте; мобильность; поддержка пользователя в поездке; добавление и редактирование информации самими пользователями; дополнительные сервисы: погода, бронирование отелей, прокат машин, наличие свободных мест на парковке, стоимость бензина на заправочных станциях; учет предпочтений пользователя; рекомендации.

Сравнение существующих сервисов, обеспечивающих инфомобильность, показало, что ни один из сервисов не реализует полный набор функций в единой системе. Таким образом, актуальной является задача разработки системы для обеспечения инфомобильности, которая сочетала бы все необходимые сервисы и предоставляла пользователю доступ к сервисам с помощью мобильного устройства. Для этой цели в статье сформулированы принципы, которым необходимо следовать при разработке подобной системы.

## SUMMARY

### *Teslya N.N.* **The Development Principles of Intelligent Transportation Systems for Infomobility.**

Nowadays, there is a steady growth of amount of personal cars in the Russian Federation. Many cities have already met with the consequences of this process. The amount of traffic jams has increased, the amount of free parking places has reduced, and it has become much more complicated to use public transport. The solution of these problems must be comprehensive and take place at all levels of a government.

In order to mitigate the existing transport problems and increase the mobility of the citizens, many experts from the transportation sector have focused on the development of intelligent transportation systems. These systems are aimed to provide innovative services, related to different types of transport and traffic management, for end users (inhabitants of the city). Such systems are also known as infomobility systems.

The article discusses the basic properties of infomobility systems and principles of their construction. The following main characteristics has been detected based on the analysis of existing studies and infomobility services: the map displaying, displaying of points of interest, building and mapping routes, displaying events on the map, mobility, user support on the trip, adding and editing of information by users, additional services, such as weather , hotel reservations, car rental, availability in the parking lot, the petrol price at gas stations, the preferences of the user, and recommendations.

Existing infomobility services comparison has showed that no one of the services does implement the full set of features in an entire system. Thus, the development of the infomobility system that combines all the necessary services and provides for users access to services via a mobile device is an actual task. For this purpose, the article defines the principles to be followed in the development of the system.

А.Я. ФРИДМАН, В.Г. КУРБАНОВ  
**ФОРМАЛЬНАЯ КОНЦЕПТУАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ  
ПРОМЫШЛЕННО-ПРИРОДНОГО КОМПЛЕКСА КАК  
СРЕДСТВО УПРАВЛЕНИЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫМ  
ЭКСПЕРИМЕНТОМ**

---

*Фридман А.Я., Курбанов В.Г. Формальная концептуальная модель промышленно-природного комплекса как средство управления вычислительным экспериментом.* Аннотация. В работе представлена ситуационная концептуальная модель, предназначенная для исследования динамических пространственных объектов, в частности, промышленно-природных комплексов (ППК), которая обеспечивает автоматизацию всех этапов вычислительного эксперимента с возможностью равноправной обработки информации от расчетных модулей, имитирующих составные части ППК, и интегрированных с ней ГИС и экспертной системы. Особенности предложенного подхода состоят в широком применении экспертных знаний, поддержке современных сценарных подходов к моделированию, использовании ГИС-технологии не только для графического представления составных частей объекта и результатов моделирования, но также для постановки задачи и выполнения пространственно-зависимых расчетов.

**Ключевые слова:** динамический пространственный объект, ситуационное управление, концептуальная модель, имитационное моделирование, принятие решений.

*Fridman A.Ya., Kurbanov V.G. Formal Conceptual Model of Industry-Natural Complexes as a Mean to Organize Computing Experiments.*

**Abstract.** The paper introduces a situational conceptual model designed to investigate complicated spatial systems, Industry-Natural Complexes (INCs) in particular, that provides automation of every modelling stage with possibilities to equally treat information from calculating modules, which simulate parts of an INC, and from integrated GIS and expert system. This approach is featured with wide usage of expert knowledge, employment of the GIS not for object mapping only, but for task setting, spatial-dependent calculations and modelling results' displaying as well.

**Keywords:** dynamical spatial object, situational control, conceptual model, simulation, decision-making.

---

**1. Введение.** Актуальность работы связана с растущими требованиями по экологическому и экономическому обоснованию производственных и управленческих решений, влияющих на различные аспекты функционирования промышленно-природных комплексов (ППК) - территорий, экосистем, технологий и т.д. Непосредственные экспериментальные воздействия на ППК по различным причинам (ограниченные временные рамки, опасность необратимых изменений, высокая стоимость и др.) обычно невозможны или нежелательны, поэтому основным методом изучения и прогнозирования поведения ППК при изменениях его структуры, параметров и внешних условий служит моделирование.

Моделирование таких объектов с достаточной для получения практически значимых результатов многосторонностью заставляет

рассматривать их как сложные пространственные динамические системы с переменной структурой, множественными внешними и внутренними связями. При этом должны учитываться разнообразные информационные, финансовые, материальные, энергетические потоки, необходимо предусматривать анализ последствий изменения структуры объекта, возможных критических ситуаций и т.п.

Как следует из названия, любой ППК включает как природные, так и технические объекты. Каждый такой объект может представлять собой многоуровневую систему подобъектов, связанных различными сигналами, которые моделируются потоками данных и трактуются в нашем подходе как ресурсы, используемые и/или расходуемые объектами в ходе их жизнедеятельности. Изменения ресурсов внутри объектов описываются некоторым набором процедур или функций, именуемых процессами. Для анализа поведения ППК и сравнения различных наборов значений ресурсов между собой обычно используются один или несколько критериев качества – функционалов, определенных на тех или иных наборах ресурсов. Принципиальное различие между природными и техническими объектами состоит в том, что структура и поведение первых непосредственно не зависят от воли человека, в том числе лица, принимающего решения (ЛПР), особенно когда это касается улучшения жизнедеятельности таких объектов. Соответственно, непосредственное управление природными объектами в анализируемой проблематике не осуществляется и далее в работе не рассматривается. Управление же техническими объектами исследуется преимущественно на уровне принятия решений об изменении (или сохранении) их структуры в зависимости от общего состояния и имеющихся тенденций развития ППК. Аналогичные подходы в настоящее время развиваются для систем поддержки принятия решений (СППР) в чрезвычайных [1] и нештатных [2] ситуациях. СППР такого типа отличаются от описываемой далее системы тем, что из-за особенностей предметной области, во-первых, основной акцент делается на ликвидацию последствий уже реализовавшейся ситуации и, во-вторых, преимущественно ориентируются на сетевые приложения разрабатываемых СППР. Задача же принятия решений по результатам моделирования ППК более традиционна для теории управления, неформально она может быть поставлена как выбор (из набора альтернативных вариантов) предпочтительной структуры реализации технических объектов, обеспечивающей требуемые характеристики их функционирования при приемлемом состоянии природных объектов.

Ядром любого программного продукта, поддерживающего постановку и проведение моделирования, – далее такой продукт называется

ся системой моделирования (СМ) – является та или иная модель предметной области, формализующая представления разработчиков СМ об объекте моделирования. Принципиальная неполнота знаний о сложных объектах существенно ограничивает применимость классических аналитических моделей и определяет ориентацию на использование опыта экспертов, что, в свою очередь, связано с созданием соответствующих средств формализации экспертных знаний и их встраиванием в СМ. Поэтому в современном моделировании существенно возросла роль такого понятия, как концептуальная модель предметной области (КМПО) [3]. Основой КМПО является не алгоритмическая модель передачи и преобразования данных, как в аналитических моделях, а декларативное описание структуры объекта и взаимодействия его составных частей. Таким образом, КМПО изначально ориентирована на формализацию знаний экспертов. В КМПО определяются элементы исследуемой предметной области и описываются отношения между ними, которые задают структуру и причинно-следственные связи, существенные в рамках определенного исследования. Создание концептуальной модели является первичным и основным (по потребляемым ресурсам) этапом моделирования, так как для сложных задач с большим объемом данных эта модель во многом определяет реализацию алгоритмов, характер программ и способы общения исследователей с компьютером.

В ходе моделирования сложных объектов класса ППК могут изменяться и уточняться понятия и связи предметной области, что приводит к необходимости реконструкции концептуальной модели и исключает априорное планирование вычислений. Процесс организации и проведения моделирования включает в себя этапы, которые, как правило, реализуются специалистами различных профилей – от эксперта по конкретной предметной области до программиста.

В связи с изложенным далее описывается ситуационная система моделирования (ССМ), обеспечивающая автоматизированную разработку и сопровождение древовидной ситуационной концептуальной модели (СКМ) для целей моделирования ППК с ориентацией на использование экспертных знаний [4, 5]. Обоснование термина «ситуационный» приведено ниже в Заключение.

При постановке задачи и подготовке процесса моделирования концептуальная модель предназначена для представления знаний о структуре исследуемой предметной области. В обеспечение возможности автоматизации последующих этапов моделирования осуществляется отображение модели предметной области на адекватную ей формальную систему. Этот переход реализуется в ходе построения СКМ путем задания каждому ее элементу некоторого формального описа-

ния. В результате, завершение построения СКМ соответствует переходу от неформальных знаний об исследуемой предметной области к их формальному представлению, допускающему только однозначную процедурную трактовку. Так обеспечивается автоматическая генерация корректных заданий на имитацию всей СКМ или ее частей.

**2. Формальное описание СКМ.** Концептуальная модель в настоящей работе базируется на представлении объекта моделирования в виде древовидного И-ИЛИ графа, отображающего иерархическую декомпозицию структурных элементов ППК в соответствии с их организационными связями.

Чтобы избежать вычислительных проблем, связанных с малыми изменениями данных, и обеспечить поддержку совместной расчетно-логической обработки данных, в ССМ выходными данными процедур обработки (исключение составляют данные, вычисляемые ГИС) могут быть только данные с дискретным конечным множеством значений (типа списков). Если значения некоторого данного есть строковые константы, то такое данное называется параметром (категория PAR), а имеющее числовые значения именуется переменной (категория VAR), и над ним можно выполнять определенные математические операции. Если результат вычислений представляет собой значение переменной, то он округляется до ближайшего значения из списка допустимых значений. В дальнейшем, если сказанное относится к данным любого разрешенного в ССМ типа (и к переменным, и к параметрам), употребляется термин «данное». Таким образом, множество имен *данных* делится на множества имен *переменных и параметров*:

$$\begin{aligned} D &::= \langle Var, Par \rangle, \quad Var ::= \{var_i\}, \quad i = \overline{1, N_v}; \\ Par & ::= \{par_j\}, \quad j = \overline{1, N_p}, \end{aligned} \quad (1)$$

где:  $N_v$  и  $N_p$  – мощности этих множеств.

Символом  $::=$  здесь и далее обозначается равенство по определению. При необходимости используются также другие символы языка БНФ (металингвистических формул Бэкуса-Наура).

Данные являются ресурсами (количественными характеристиками) объектов или процессов (категория RES), переменные могут также использоваться как настроечные параметры функций (критериев) качества функционирования элементов СКМ (категория ADJ). Соответственно, множество имен переменных делится на подмножество имен *ресурсов* элементов КМПО и подмножество имен *настроечных параметров* критериев качества функционирования этих элементов:

$$Var ::= \langle Res, Adj \rangle \quad (2)$$

Отдельную категорию (категию GIS) составляют графические характеристики объектов СКМ, непосредственно вычисляемые средствами ГИС. Все они относятся к переменным, но не рассматриваются как списки, поскольку могут использоваться только как входные ресурсы элементов модели и не меняются в ходе имитации.

Объекты СКМ имеют три основные характеристики: имя, функциональный тип, который определяет структуру и функции объекта и используется в процессе анализа корректности СКМ, и имя суперобъекта, доминирующего данный объект в СКМ (отсутствует для объекта верхнего уровня). По положению в дереве объектов и на карте выделяются три категории объектов КМ: примитивы (категория LEAF), структурно неделимые с точки зрения глобальной цели моделирования, элементарные объекты (категория GISC), географически связанные с одним ГИС-элементом (полигоном, дугой или точкой какого-либо покрытия), и составные объекты (категория COMP), состоящие из элементарных и/или составных объектов. Структура объектов категории GISC в СКМ может быть достаточно сложной, но все их подобъекты имеют одну и ту же географическую привязку. Множество объектов имеет вид:

$$O = \left\{ \alpha o_{\beta\alpha}^{\gamma} \right\} ::= \sum_{\alpha=1}^{N_L} O_{\alpha}, \quad (3)$$

где:  $\alpha = \overline{1, N_L}$  – номер уровня дерева объектов, к которому относится данный объект ( $L$  - общее количество уровней декомпозиции);

$\beta_{\alpha} = \overline{1, N_{\alpha}}$  – порядковый номер объекта на его уровне декомпозиции;

$\gamma = \overline{1, N_{\alpha-1}}$  – порядковый номер суперобъекта, доминирующего данный на вышележащем уровне;

$O_{\alpha}$  – множество объектов, принадлежащих уровню с номером  $\alpha$ .

Для обеспечения связности СКМ принимается, что существует единственный суперобъект, доминирующий все объекты первого уровня декомпозиции, то есть справедливо соотношение:

$$O_1 ::= \left\{ \beta_1^0 \right\}, \beta_1 = \overline{1, N_1}. \quad (4)$$

Процессы в СКМ отображают преобразования данных и реализуются различными способами в зависимости от присвоенной процессу одной из трех следующих категорий: внутренние процессы (категория INNER), все их входные и выходные данные относятся к одному объекту); внутриуровневые процессы (категория INTRA), связываю-

щие объекты СКМ, не подчиняющиеся друг другу; межуровневые процессы (категория INTER), описывающие передачу данных между объектом и подобъектами или между объектом и суперобъектом. Введенное категорирование процессов несколько усложняет процесс создания СКМ (в некоторых случаях может потребоваться создавать фиктивные процессы, обеспечивающие такую типизацию), но позволяет сделать процедуры формального контроля СКМ значительно более полными и детальными.

Основными характеристиками процессов являются: уникальное имя, характеристика исполнителя процесса и функциональный тип процесса, который определяет тип преобразований, им осуществляемых, и используется в процессе анализа корректности СКМ; дополнительно используются список входных и выходных данных и их допустимых граничных значений. Исполнитель процесса определяет его динамические свойства и способ реализации в компьютере. Исполнитель можно задать либо непосредственно (в виде разностного уравнения), либо косвенно - ссылкой на имя реализующего этот процесс программного модуля.

*Схема концептуальной модели в ССМ имеет вид:*

$$S_{CCM} ::= \langle O, P, D^{CM}, H, OP, PO, U \rangle, \quad (5)$$

где:  $O$  – множество объектов КМПЮ, определенное в (3);

$P ::= \{p_n\}, n = \overline{1, N_p}$  – множество процессов КМПЮ;

$D^{CM} \subseteq D$  – множество данных концептуальной модели, где  $D$  задано соотношениями (1), (2), а структура множества  $D^{CM}$  поясняется ниже;

$H$  – отношение иерархии объектов, которое с учетом (3) и (4) принимает вид:

$$H = \sum_{\alpha=1}^{N_{L-1}} H_{\alpha},$$

где:  $H_{\alpha} \subseteq O_{\alpha-1} \times B'(O_{\alpha})$  – отношения иерархии для каждого из уровней дерева объектов, причем  $B'(O_{\alpha})$  есть разбиение множества  $O_{\alpha}$  ;

$OP \subseteq O \times B(P)$  – отношение «объект – порождающие его выходные данные процессы», причем  $B(P)$  есть разбиение множества  $P$ ;

$PO \subseteq P \times B(O)$  – отношение «процесс – создающие его входные данные объекты»;

$U ::= U_p \cup U_0$  – отношение, формализующее управление процессом вычислений на основе СКМ, имеет составляющие следующего вида:

$U_p \subseteq P \times B(Res)$  – отношение «процесс – управляющее данное»;

$U_o \subseteq O \times B(Res)$  – отношение «объект – управляющее данное».

Отношение «объект (процесс) – управляющее данное» ставит в соответствие некоторому объекту (процессу) модели данное, которое доопределяет этот объект при переходе к алгоритмической интерпретации. Передача данных между объектами осуществляется только через списки входных и выходных данных этих объектов, что согласуется с принципами инкапсуляции данных, принятыми в современном объектно-ориентированном программировании. Все процессы, приписанные к одному объекту, описываются отношением  $OA \subseteq O \times B(P)$  «объект – приписанные к нему процессы». Это отношение не входит в схему КМПО, поскольку, в отличие от отношений  $H$ ,  $OP$  и  $PO$ , не задается пользователем при конструировании модели, а формируется автоматически.

Отношения, определенные в модели, удобно представлять в форме функций (6), частично определенных на множествах  $O$  и  $P$ , областями значений которых являются  $B(P)$ ,  $B(O)$  или  $B'(O_\alpha)$ . Названия функций обозначены строчными символами, соответствующими прописным символам в названиях отношений:

$$\begin{aligned}
 h_\alpha : O_{\alpha-1} &\rightarrow B'(O_\alpha), (\forall o_j \in O_\alpha, \forall o_i \in O_{\alpha-1}) ((o_j = h_\alpha(o_i)) \Leftrightarrow o_j H_\alpha o_i); \\
 op : O &\rightarrow B(P), (\forall o_i \in O, \forall p_j \in P) ((p_j = op(o_i)) \Leftrightarrow o_i OP p_j); \\
 po : P &\rightarrow B(O), (\forall o_i \in O, \forall p_j \in P) ((o_i = po(p_j)) \Leftrightarrow p_j OP o_i); \\
 oa : O &\rightarrow B(P), (\forall o_i \in O, \forall p_j \in P) ((p_j = oa(o_i)) \Leftrightarrow o_i OA p_j); \\
 u_p : P &\rightarrow B(Res), (\forall p_i \in P, \forall res_j \in Res) ((res_j = u_p(p_i)) \Leftrightarrow p_i U_p res_j); \\
 u_o : O &\rightarrow B(Res), (\forall o_i \in O, \forall res_j \in Res) ((res_j = u_o(o_i)) \Leftrightarrow o_i U_o res_j).
 \end{aligned} \tag{6}$$

Множества значений функций (6), соответствующие сечениям областей значений введенных отношений по некоторому элементу областей их определения, обозначаются жирным шрифтом:

$$\begin{aligned}
 \mathbf{h}_\alpha(o_i) &::= \{o_j : o_j = h_\alpha(o_i)\}; \quad \mathbf{op}(o_i) ::= \{p_j : p_j = op(o_i)\}; \\
 \mathbf{po}(p_j) &::= \{o_i : o_i = po(p_j)\}; \quad \mathbf{oa}(o_i) ::= \{p_j : p_j = oa(o_i)\}; \\
 \mathbf{u}_p(p_i) &::= \{res_j : res_j = u_p(p_i)\}; \quad \mathbf{u}_o(o_i) ::= \{res_j : res_j = u_o(o_i)\}.
 \end{aligned} \tag{7}$$

Аналогично (7) обозначаются сечения введенных отношений по некоторым подмножествам их областей определения, которые опреде-

ляются как объединения всех сечений по элементам этих подмножеств. Например,  $h_\alpha(O_i)$ , где  $O_i \subseteq O_{\alpha-1}$ , есть множество объектов уровня  $\alpha$ , доминируемых данным подмножеством объектов  $o_i \in O_i$ , которые находятся на уровне  $\alpha - 1$ . Ниже в формулах также используется множество подчиненности объекта  $o_i$   $h^\alpha(o_i) ::= \bigcup_{\alpha \leq k \leq L} h_k^\alpha(o_i)$ .

Модель атрибутов СКМ образуется кортежем:

$$A_{CCM} ::= \langle N, \mathbf{T}, \mathbf{n}, \mathbf{E}, \mathbf{T}_e, \mathbf{t}, \mathbf{t}_e, T_h, t_{ho} \rangle,$$

где:  $N ::= \langle N_p, N_o, N_r \rangle$  и  $\mathbf{T} ::= \langle T_p, T_o, T_r \rangle$  – множества имен и типов процессов, объектов и ресурсов соответственно;

$\mathbf{E} ::= \langle E_p, E_o, E_r \rangle$  и  $\mathbf{T}_e ::= \langle T_{ep}, T_{eo}, T_{er} \rangle$  – множества имен и типов исполнителей процессов, объектов и ресурсов соответственно;

$\mathbf{n} ::= \langle n_p, n_o, n_r \rangle$ ,  $\mathbf{t} ::= \langle t_p, t_o, t_r \rangle$ ,  $\mathbf{t}_e ::= \langle t_{ep}, t_{eo}, t_{er} \rangle$ , где:

$$n_p : P \rightarrow N_p; \quad n_o : O \rightarrow N_o; \quad n_r : D^{CM} \rightarrow N_r;$$

$$t_p : P \rightarrow T_p; \quad t_o : O \rightarrow T_o; \quad D^{CM} \rightarrow T_r;$$

$$t_{ep} : P \rightarrow T_{ep}; \quad t_{eo} : O \rightarrow T_{eo}; \quad t_{er} : D^{CM} \rightarrow T_{er}$$

– функции, описывающие текущий набор элементов СКМ;

$T_h ::= \{\&, \vee, *\} \cup N$  ( $N$  – множество натуральных чисел) – множество типов отношений иерархии объектов, причем в качестве отношения классификации используется строго дизъюнктивное «или»;

$t_{ho} : O \rightarrow T_h$  – функции, задающие отношения иерархии объектов.

Разработанные алгоритмы присвоения категорий элементам СКМ используют вышеописанные отношения и выявляют все возможные ошибки категоризирования элементов модели [4]. Процедуры контроля правильности назначений исполнителей элементов СКМ используют следующие ограничения (доказательства даны в [4]).

*Теорема 1.* В конечной СКМ не может иметь места рекурсивная декомпозиция типов исполнителей объектов, то есть ни один объект, входящий во множество подчиненности некоторого объекта, не может иметь исполнителя того же типа, что и исходный объект.

*Теорема 2.* В конечной СКМ не может иметь места инверсия подчиненности исполнителей объектов, то есть ни один объект, входящий во множество подчиненности некоторого объекта с исполнителем типа  $e_1$ , не может иметь исполнителя того же типа, что и любой другой объект, во множестве подчиненности которого содержится какой-либо объект с исполнителем типа  $e_1$ .

**3. Модели подсистем ССМ.** Проведенная параметризация схемы СКМ дает возможность уточнить основные характеристики объекта исследования, а также более детально описать модели основных подсистем ССМ, к которым относятся ГИС, ЭС, база данных предметной области и библиотека «вычислительных» программных модулей, обеспечивающих реализацию процессов и ресурсов СКМ в ходе имитации. Эта подсистема называется библиотекой исполнителей элементарных задач (БИЭЗ).

*Формализация подсистемы ГИС.* Одно из достоинств ГИС в рамках рассматриваемой задачи заключается в том, что с каждым графическим элементом можно связать дополнительные поля БД, доступные для модификации внешними вычислительными модулями, в отличие от графических атрибутов. В частности, эти поля можно использовать для хранения атрибутов концептуальной модели, относящихся к данному элементу, и других параметров, необходимых для организации и проведения моделирования.

Множество данных (1), (2) с учетом (5) можно разбить на следующие попарно не пересекающиеся подмножества:

$$D ::= D^{CM} \cup D^{ES} \cup D^{GIS} \cup D^{DB} \cup D^C ::= D^{LIST} \cup D^{GIS}, \quad (8)$$

где:  $D^{CM}$  – данные, описывающие концептуальную модель ППК;

$D^{ES}$  – внутренние данные ЭС, встроенной в ССМ;

$D^{GIS}$  – графические характеристики объектов модели, поступающие от ГИС;

$D^{DB} ::= D^{ED} \cup D^{SC}$  – внешние данные, состоящие из экспериментальных данных и данных сценариев;

$D^C$  – подмножество общих данных (“common”), используемых и СКМ, и ЭС;

$D^{LIST}$  – подмножество данных, имеющих списковый формат.

Все элементы множества  $D^{GIS}$  по определению относятся к множеству Res (2), элементы остальных перечисленных подмножеств множества данных могут относиться как к переменным, так и к параметрам (см. (1)).

Множество  $D^C$  разбивается на два непересекающихся подмножества, в первое из которых входят ресурсы, исполнителем которых является ЭС, а во второе – входные и выходные ресурсы процессов, исполняемых экспертной системой:

$$D^C ::= D^{CR} \cup D^{CP}, \quad D^{CR} \cap D^{CP} = \emptyset, \quad \text{где:}$$

$$\begin{aligned}
D^{CR} &::= \{d_k \in D : t_{er}(d_k) = ES\}; \\
D^{CP} &::= \{d_k \in D : d_k \in (list\_in(p_1 : t_{ep}(p_1) = ES) \vee \\
&\vee list\_out(p_m : t_{ep}(p_m) = ES))\}
\end{aligned} \tag{9}$$

а обозначения  $list\_in(*)$  и  $list\_out(*)$  здесь и далее определяют множества входных и выходных ресурсов элементов модели, заданных условиями внутри скобок.

В свою очередь, последнее множество можно представить как объединение двух, возможно, пересекающихся подмножеств входных и выходных переменных СКМ:

$$D^{CP} ::= D_{in}^{CP} \cup D_{out}^{CP}. \tag{10}$$

В базу данных предметной области (БДПО) входят все элементы подмножества  $D^{DB}$  (они имеют тип исполнителя DB или GEN) и те элементы подмножества  $D^{CM}$ , которым присвоен тип исполнителя SMP, а также элементы множества  $D^{GIS}$ , но в режиме «только для чтения», как и экспериментальные данные. В частности, в БДПО сохраняются элементы множества  $D^{CM}$ , представляющие собой характеристики модификации ГИС-элементов СКМ (параметры допустимых операций над ГИС-элементами). Эти параметры используются для представления и сопоставления результатов моделирования на картографической основе. Указанная специфическая возможность ввода данных в ГИС показана ниже на рис. 1 стрелкой от  $D^{CM}$  к ГИС.

Множество объектов (4) разбивается на попарно не пересекающиеся подмножества по категориям объектов:

$$O ::= O^{LEAF} \cup O^{COMP} \cup O^{GISC}. \tag{11}$$

Если к множеству (11) добавить множество элементарных объектов ГИС, то получим все множество объектов КМПО:

$$O' ::= O \cup O^{ELEM},$$

причем множество ГИС-элементов, типы которых должны начинаться со стандартных типов элементов ГИС (обозначено символом  $\infty$ ), задается соотношением:

$$O^{GIS} ::= O^{GISC} \cup O^{ELEM} ::= \{o_i \in O' : t_o(o_i) \in ("dot" \vee "arc" \vee "pol")\}. \tag{12}$$

Каждый из ГИС-элементов (элементов множества (12)) в ГИС хранится в виде двух- или трехмерного (в зависимости от типа ГИС)

конечного массива координат. Далее без потери общности рассматривается двумерная ГИС, все объекты которой задаются на декартовом произведении конечных множеств координат  $X \times Y$ . Конечность этих множеств (наряду со списковым форматом данных) обосновывает возможности анализа ППК в классе дискретных систем. Структура ГИС-элементов описывается отношением «объект ГИС – координаты объекта»  $OC$ , ставящим в соответствие каждому элементу множества (12) декартово произведение некоторых равномошных подмножеств множеств  $X$  и  $Y$ , и функцией определения типа ГИС-элемента, аналогичной функции  $t_o$  (см.(9)). Однако при формировании этого отношения следует учесть две дополнительные особенности представления информации в ГИС:

— множество координат, соответствующее некоторому объекту ГИС, зависит от масштаба  $m_i \in M$  карты ( $M$  – заданное множество масштабов), на которой он рассматривается (с уменьшением масштаба растет размерность множеств  $X$  и  $Y$ );

— ГИС-тип некоторого объекта, заданный в определении множества (12), также в принципе зависит от  $m_i$  (с уменьшением масштаба точка или линия могут превратиться в полигон, а полигон может превратиться в полигон с анклавами).

Поэтому функция определения типа для ГИС-элементов задается соотношением (13), а отношение  $OC$  имеет вид (14):

$$t_o^{GIS} : O^{GIS} \times M \rightarrow T_o^{GIS}, \quad (13)$$

где:  $T_o^{GIS}$  – разрешенное множество типов ГИС-элементов, которое в общем случае определяется типом используемой ГИС.

$$OC \subseteq O^{GIS} \times M \times B(X) \times B(Y). \quad (14)$$

Для отношения (14) аналогично функциям (8) можно ввести частичную функцию (15), возвращающую множество точек отображения заданного объекта в ГИС на карте заданного масштаба:

$$oc : O^{GIS} \times M \rightarrow B(X) \times B(Y) \quad (15)$$

для которой можно определить сечения аналогично (7).

Разрешенные типы данных ГИС, поступающих в другие подсистемы ССМ, зависят от типа и количества объектов, для которых вычисляются эти данные. Далее без потери общности рассматривается наиболее распространенный на практике случай, когда графические

характеристики вычисляются только для одиночных ГИС-элементов и пар таких элементов. Тогда по аналогии с функцией  $t_r$  (9) для ГИС-элементов необходимо ввести две функции описания типов графических данных: первую для одиночных объектов ГИС, а вторую – для их пар:

$$t_{r1}^{GIS} : T_o^{GIS} \rightarrow T_r^{GIS}; \quad (16)$$

$$t_2^{GIS} : T_o^{GIS} \times T_o^{GIS} \rightarrow T_r^{GIS}, \quad (17)$$

где  $T_r^{GIS}$  - разрешенное множество типов графических характеристик ГИС-элементов, которое в общем случае определяется типом и макроязыком используемой ГИС.

Функции (16), (17) дают исходную информацию для формирования наборов одно- и двухместных стандартных функций ГИС  $F_1^{GIS}$  и  $F_2^{GIS}$  соответственно, использование которых при конструировании СКМ формализуется отношениями «ГИС-объект (или пара ГИС-объектов) – графическая характеристика»:

$$OD_1^{GIS} \subseteq oc(O^{GIS}, M) \times F_1^{GIS};$$

$$od_2^{GIS} : oc(O^{GIS}, M) \times oc(O^{GIS}, M) \rightarrow F_2^{GIS}.$$

для которых также можно ввести (в общем случае неоднозначные) частичные функции, возвращающие значения той или иной графической характеристики:

$$od_1^{GIS} : oc(O^{GIS}, M) \rightarrow F_1^{GIS} \quad (18)$$

$$od_2^{GIS} : oc(O^{GIS}, M) \times oc(O^{GIS}, M) \rightarrow F_2^{GIS}. \quad (19)$$

Функции (18), (19) дают макроописание библиотеки стандартных функций и макрокоманд ГИС, с их помощью текущее значение любого ресурса категории  $GIS$  может быть представлено в виде (20) или (21), где  $o_i, o_j \in O^{GIS}$ ,  $m_i \in M$  :

$$res_{1k} \in D^{GIS} = od_1^{GIS}(oc(o_j, m_i)); \quad (20)$$

$$res_{2k} \in D^{GIS} = od_2^{GIS}(oc(o_j, m_i), oc(o_l, m_i)) \quad (21)$$

С помощью введенных выше отношений иерархии любой составной объект СКМ однозначно сопоставляется с некоторым подмножеством множества (12). Показано, что множество подчиненности

$\underline{h}^a(o_i)$  (см. (7)) любого объекта, не относящегося к ГИС-элементам, можно представить как объединение «основного подмножества» подчиненных ему ГИС-элементов, которые присутствуют в любой альтернативной структуре этого объекта, и множества альтернативных ГИС-элементов, появляющихся при той или иной реализации объекта:

$$\left(\forall o_i \in O \setminus O^{GIS}\right) \left(\underline{h}^a(o_i) = O_0(o_i) \cup Alt(o_i)\right),$$

где символом  $\setminus$  обозначена операция вычисления разности множеств, а

$$Alt(o_i) ::= \bigcup_{j=1}^n O_j(o_i),$$

причем  $O_j(o_i) \subset O^{GIS}$ ,  $j = \overline{0, n}$ ;  $O_0(o_i) \cap O_j(o_i) = \emptyset$ ,  $j = \overline{1, n}$ .

Во множество  $O_0$  входят те ГИС-элементы, которые не имеют суперобъектов, атрибутированных типом декомпозиции ИЛИ. ГИС-представление любой конкретной структуры ППК реализуется множеством  $O_0$  и одним из множеств  $O_j$ :

$$Alt_j(o_i) ::= O_0(o_i) \cup O_j(o_i).$$

Можно утверждать, что для природных объектов, входящих в состав ППК, альтернативы реализации отсутствуют, то есть:

$$Alt(o_i) ::= \emptyset \tag{22}$$

Соотношение (22) рассматривается как ограничение на допустимые структуры ГИС-представлений природных объектов в отличие от технических объектов, для которых допустимы (и обычно представляют интерес для сопоставительного моделирования) альтернативные структуры ГИС-реализации.

Следующим и основным по сложности компонентом ССМ является комплекс сопровождения «вычислительных» программных модулей, обеспечивающих моделирование объекта в динамическом режиме. В него входят средства анализа корректности заданных описаний, планирования процесса моделирования (дополняющие возможности ГИС), выбора (формирования) и анализа сценариев развития исследуемого объекта, а также сама библиотека программных модулей для реализации моделей предметной области на компьютере.

*Формальное описание БИЭЗ и ЭС.* БИЭЗ содержит функции и программные модули, реализующие в ходе имитации процессы СКМ согласно их описаниям в пространстве состояний. В качестве управлений на входы этих исполнителей поступают элементы множеств  $D^{CR}$

(9),  $D_{in}^{CP}$  (10), и может поступать часть элементов множеств  $D^{GIS}$  и  $D^{DB}$  (8), а результатом их работы являются элементы множества  $D^{CM}$  (8). Поэтому для описания выполняемых БИЭЗ преобразований данных аналогично (14) введено отношение «управляющие данные – выходные данные» (или просто «вход-выход»):

$$IO^{EXEC} \subseteq D^{CR} \times D_{in}^{CP} \times D^{GIS} \times D^{DB} \times F^{EXEC} \quad (23)$$

и частичная функция, возвращающая имена векторов текущих значений выходных переменных:

$$io^{EXEC} : D^{CR} \times D_{in}^{CP} \times D^{GIS} \times D^{DB} \rightarrow F^{EXEC}, \quad (24)$$

где:  $F^{EXEC} \subseteq list\_out(P_{cyu})$  – множество выходов набора процессов  $P_{cyu} \subseteq oa(O)$ , существенных для функционирования модели. Тогда элементы множества  $D^{CM}$  представляют собой выходы функции (24):

$$\left( \forall res_k \in D^{CM} \right) \left( res_k = io^{EXEC} (*) \right) \quad (25)$$

для некоторого корректного набора входных данных, условно обозначенных в (25) символом \*.

Описание преобразований данных в ЭС строится так же, как для БИЭЗ, за тем отличием, что входными сигналами ЭС являются элементы множества  $D_{out}^{CP}$  (10) и множества внутренних данных ЭС  $D^{ES}$  (8), а выходными сигналами - элементы множеств  $D^{CR}$  (9) и  $D_{in}^{CP}$  (10). Аналогично (23) – (25) имеем:

$$IO^{ES} \subseteq D_{out}^{CP} \times D^{ES} \times \left( D^{CR} \cup D_{in}^{CP} \right); \quad io^{ES} : D_{out}^{CP} \times D^{ES} \rightarrow F^{ES}, \quad (26)$$

где:  $F^{ES}$  – множество нелистевых данных ЭС. Элементы множества  $D^{CR} \cup D_{in}^{CP}$  представляют собой выходы функции (26):

$$\left( \forall d_k \in \left( D^{CR} \cup D_{in}^{CP} \right) \right) \left( d_k = io^{ES} (*) \right)$$

Отношение множеств и элементов, описанных выше, иллюстрируется на рисунке 1.

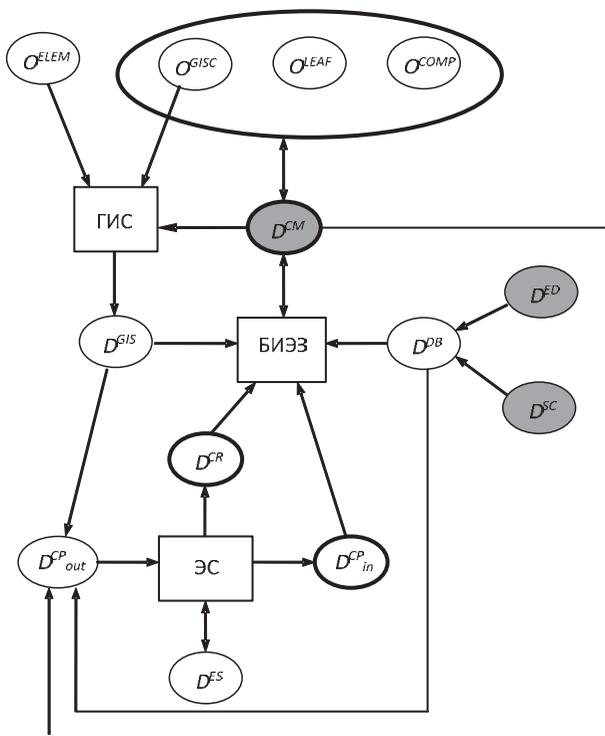


Рис. 1. Схема преобразования данных подсистемами ССМ

На рисунке 1 затенены элементы, структурно входящие в БДПО, а жирными рамками обведены элементы СКМ. Часть элементов множества  $D^{CM}$  (8) относится к БДПО, а часть – к СКМ.

**4. Основные принципы контроля корректности КМПО.** В дальнейшем автоматическом анализе СКМ используются новые понятия и отношения между элементами модели [4], вводимые следующими определениями. Доказательства свойств этих отношений для корректной СКМ здесь не приводятся ввиду ограничений объема настоящей публикации.

*Определение 1.* Отношением порождения объектов называется отношение «объект – порождающие его выходные ресурсы объекты»  $OO \subseteq O \times B(O)$ , ставящее в соответствие каждому объекту СКМ все другие объекты, ресурсы которых непосредственно (без участия других промежуточных объектов) используются для порождения выходных ресурсов данного объекта.

*Теорема 3.*  $oo(o_i) = po(oo(o_i)) \setminus \{o_i\}$ .

*Определение 2.* Отношением порождения процессов называется отношение «процесс – непосредственно необходимые для его функционирования процессы»  $PP \subseteq P \times B(P)$ , ставящее в соответствие каждому процессу СКМ все другие процессы, выходные ресурсы которых непосредственно (без участия других промежуточных процессов) используются для порождения входных ресурсов данного процесса.

*Теорема 4.*  $pp(p_i) = op(po(p_i) \setminus \{oa^{-1}(p_i)\})$

Для выявления имеющихся в модели циклов предложены алгоритмы контроля корректности отношений порождения [4]. В отличие от основного прототипа рассматриваемой СКМ – концептуальной модели [6], где любые циклы в отношениях порождения запрещались, поскольку не предусматривался учет количества ресурсов, – в данной СКМ нарушения в работе объекта, вызванные цикличностью, выявляются в имитационном режиме, и сама по себе цикличность не всегда является конфликтом. Более того, в ряде приложений, например, моделирующих экономические отношения между объектами модели, цикличность взаимодействия элементов предметной области является их естественным или типичным свойством. Поэтому выявленные циклы утверждаются или запрещаются пользователем в зависимости от семантики предметной области. Безусловно запрещаются только пути между объектами или процессами, реализующими альтернативные варианты структуры предметной области, объектами-синонимами и объектами из их множеств подчиненности. Но иерархическая структура отображения объекта исследования, принятая в ССМ, накладывает несколько иные ограничения, отражающие базовые требования теории иерархических систем к организации взаимодействий между компонентами модели. Так, в силу необходимости реализации принципа приоритета действия суперобъектов [7] на их подобъекты для объектов СКМ запрещается наличие путей (для потоков материальных ресурсов) между объектами, связанными отношениями подчинения, поскольку такие пути идут «в обход» межуровневых процессов настройки и агрегирования данных и могут привести к неконтролируемому нарушению условий координации работы элементов иерархии. Для корректной реализации того же принципа контролируются отношения следования между параметрами межуровневых процессов. Кроме того, ниже вводятся дополнительные ограничения для реализации выбранного метода декомпозиции глобального объекта (стратификации, слойного или пошелонного разделения).

Все алгоритмы контроля отношений порождения используют транзитивные замыкания отношений порождения объектов и процессов (Определения 1 и 2), которые далее обозначаются  $OO^*$  и  $PP^*$  соответственно. По аналогии с введенными выше обозначениями, например, запись  $o_i \in oo^*(o_j)$  означает, что  $o_i \in oo(o_j)$  или существуют  $o_k, o_1, \dots, o_n$ , такие, что  $o_k \in oo(o_j), o_1 \in oo(o_k), \dots, o_i \in oo(o_n)$ .

Поскольку среди всех элементов СКМ именно процессы играют определяющую роль в моделировании и порождении различных ресурсов объекта исследования, для каждого из них выполняется специальная процедура контроля, гарантирующая нормальное функционирование модели процесса в имитационном режиме. В этой группе алгоритмов используется новое определение шаблона некоторого процесса модели как подструктуры СКМ. Шаблон описывает процесс преобразования минимального набора ресурсов, поступающих из других объектов в объект, к которому приписан процесс-владелец шаблона, и необходимых для функционирования этого процесса.

Схема шаблона в ССМ, как часть схемы СКМ, имеет аналогичный (5) вид:

$$S_{\text{ш}} ::= \langle O_{\text{ш}}, P_{\text{ш}}, H_{\text{ш}}, OP_{\text{ш}}, PO_{\text{ш}}, U_{\text{ш}} \rangle, \quad (27)$$

где:

$$O_{\text{ш}} \subset O; P_{\text{ш}} \subset P; H_{\text{ш}} \subset H; U_{\text{ш}} \subseteq U;$$

$$OP_{\text{ш}} \subseteq O_{\text{ш}} \times B(P_{\text{ш}}) \subset OP; PO_{\text{ш}} \subseteq P_{\text{ш}} \times B(O_{\text{ш}}) \subset PO.$$

*Теорема 5:*

$$O_{\text{ш}} = po(pp(p_i)); \quad (28)$$

$$P_{\text{ш}} = pp(p_i) \cup (oa(po(p_i)) \cap (pp^*(p_i) \cup (pp^*)^{-1}(p_i)))$$

*Теорема 6.* Корректные относительно правил назначения имен и отношений концептуальные модели ССМ разрешимы, если разрешимы все входящие в их состав шаблоны процессов категории INTRA и процессов агрегирования.

Следующий этап анализа СКМ предусматривает контроль неявно заданных отношений следования, который в ССМ особенно ответственен для межуровневых процессов, обеспечивающих существование иерархии объектов и ответственных за решение основных для иерархических систем вопросов согласования и координации взаимодействий между подсистемами объекта исследования.

Исходным при анализе отношений следования является не объект или процесс, как в представленных ранее процедурах анализа, а конкретный ресурс (настроечный параметр или выход процесса вычисления функции качества некоторого объекта), и цель анализа состоит в контроле и запрете наличия циклов по этому ресурсу, поскольку ресурсы рассматриваемой группы являются чисто информационными и не предполагают итеративных процессов вычисления. Анализ отношений следования проводится путем построения сечений транзитивных замыканий отношений порождения процессов (Определение 2), причем начальным процессом служит процесс, порождающий исследуемый ресурс. На каждом шаге построения сечений множество процессов, для которых строятся сечения отношения порождения процессов (см. теорему 4), пополняется процессами, полученными на предыдущем шаге. Соотношения (29) задают подмножества процессов  $P_k(p_i) \subset B(P)$ , для которых должны строиться сечения отношения порождения процессов на  $k$ -том шаге ( $k := 0, 1, 2, \dots, n_i$ ) анализа для процесса  $p_i \in P$ :

$$\begin{aligned} P_0(p_i) &::= \{p_i\}; \\ P_{k+1}(p_i) &::= P_k(p_i) \cup \mathbf{pp}(P_k(p_i)). \end{aligned} \quad (29)$$

На некотором шаге  $k$  процесс построения сечений (29) прерывается и диагностируется конфликт, если на этом шаге во множестве  $P_k(p_i)$  найдены процессы, удовлетворяющие заранее заданному условию. В противном случае процесс продолжается до момента, когда множества  $P_k(p_i)$  и  $P_{k+1}(p_i)$  совпадут, это условие трактуется как отсутствие конфликтов по заданному ресурсу.

Основное условие констатации конфликта, гарантирующее корректную реализацию принципа приоритета действий, в этом случае имеет вид:

$$(\exists p_m \in P_{k+1}(p_i)) \left( (oa^{-1}(p_m) \in O_\alpha) \wedge (oa^{-1}(p_i) \in O_\beta) \wedge (\beta < \alpha) \right), \quad (30)$$

Для дополнительных условий констатации конфликта пользователь может выбрать различные опции, например:

— дополнительно запретить использование информации от объектов равного ранга, при этом строгое неравенство в условии (30) заменяется знаком «меньше или равно»:

$$(\exists p_m \in P_{k+1}(p_i)) \left( (oa^{-1}(p_m) \in O_\alpha) \wedge (oa^{-1}(p_i) \in O_\beta) \wedge (\beta \leq \alpha) \right);$$

— запретить обмен информацией между объектами различного подчинения, тогда во множествах (29) допускаются только процессы, приписанные к таким объектам, которые связаны с исходным объектом отношениями подчинения. Дополнительное условие констатации конфликта для этой опции принимает вид:

$$(\exists p_m \in P_{k+1}(p_i)) \left( oa^{-1}(p_m) \notin \underline{h}(oa^{-1}(p_i)) \right);$$

— разрешить обмен информацией только между объектами, отстоящими от исходного не более чем на  $\Delta\alpha$  уровней, тогда во множествах (29) допускаются только процессы, приписанные к таким объектам. Дополнительное условие констатации конфликта для этой опции аналогично (30), но в нем вместо неравенства  $\beta < \alpha$  используется: другое неравенство:

$$(\exists p_m \in P_{k+1}(p_i)) \left( (oa^{-1}(p_m) \in O_\alpha) \wedge (oa^{-1}(p_i) \in O_\beta) \wedge (\beta > \alpha + \Delta\alpha) \right).$$

Допускается совместное использование перечисленных дополнительных условий, если они не противоречат друг другу. Полученные результаты позволяют установить описательные возможности СКМ:

*Теорема 7.* СКМ описывает все основные типы иерархий, рассматриваемые общей теорией иерархических систем (стратифицированные, многослойные и многоэшелонные иерархии) [7].

**5. Заключение.** Для организации вычислительного эксперимента над представленной выше СКМ ситуационный подход [8] распространен одним из авторов на проблему моделирования нестационарных ППК [4] с возможностью анализа надежности и безопасности таких систем [5]. Для СКМ даны формальные определения факта и ситуации. Они выходят за рамки данной работы и приведены в публикациях [4, 5]. Здесь следует лишь отметить некоторые методические отличия выполненной разработки от прототипов:

иерархическая КМПО применяется не только для фиксации структуры объекта и статического контроля взаимосвязей компонентов объекта, но и как основное средство обработки ситуаций на всех этапах моделирования. На этапе постановки задачи моделирования КМПО управляет выбором релевантных исходных данных, участвует в процедурах пополнения и доопределения ситуаций. При реализации имитационного режима КМПО диспетчирует вызов программных модулей и управление потоками данных. По завершении расчетов эта

модель организует распределение результатов по модулям хранения и представление результатов моделирования;

относительное пространственное расположение составных частей объекта, отображаемое средствами ГИС, используется как естественная основа при построении иерархии объектов КМПО, графические атрибуты ГИС-представления объекта входят в критерии качества компонентов КМПО и участвуют в определении концептуального уровня реализации текущей ситуации;

знания экспертов используются не только при построении КМПО, но и непосредственно управляют логическим выводом в ходе доопределения, обобщения и классификации ситуаций;

предусмотрена возможность назначения экспертной системы исполнителем процессов и ресурсов КМПО, это позволяет непосредственно применять экспертные знания для создания «быстрых прототипов» ССМ, а также повысить детальность и адекватность формального анализа СКМ;

разработанные структуры и интерфейсы данных позволили унифицировать процедуры обработки числовых и ранжированных данных в процессе моделирования, то есть организовать совместную логико-аналитическую обработку данных;

СКМ по терминологии ситуационного управления относится к семиотическим моделям, для обработки ситуаций в ее рамках разработаны три группы логико-трансформационных правил, хранимых в ЭС ССМ и используемых при реализации предложенных методов пополнения, классификации и обобщения ситуаций.

Область применимости ССМ ограничена комплексами, допускающими древовидную декомпозицию и представление их компонентов в виде ограниченного множества ГИС-элементов.

ССМ предоставляет ЛПР алгоритмическую поддержку для обоснования его решений об изменении или сохранении структуры подчиненного ему объекта и в этом смысле является альтернативой экспертному совету. Подобные обоснования целесообразны как в случае отсутствия достаточного количества экспертов, так и при ограниченных возможностях их приглашения (по временным, финансовым или иным соображениям). По мнению авторов, ССМ может служить оболочкой при создании современных систем административного управления на различных организационных уровнях. В исследовательских целях ССМ применима для разработки сектора Интернета (Modelling WEB), обеспечивающего автоматизированный поиск и интегра-

цию в ССМ требующихся в текущей задаче моделей, созданных специалистами различных профилей для решения своих задач.

### Литература

1. *Кравченко Б.В., Черкасов Д.Н.* Системы интеллектуальной поддержки принятия управляющих решений при ликвидации последствий ЧС // URL: <http://mars.biophys.msu.ru/awse/CONFER/MCE99/149.htm> (дата обращения: 06.09.2014).
2. *Геловани В.А., Бритков В.Б.* Системы поддержки принятия решений в нештатных ситуациях с использованием современной информационной технологии // URL: <http://sr.isa.ac.ru/sr-95-96/gelbrit3.html> (дата обращения: 06.09.2014).
3. *Цаленко М.Ш.* Моделирование семантики в базах данных // М.: Наука. 1989. 288 с.
4. *Фридман А.А., Фридман О.В., Зуенко А.А.* Ситуационное моделирование природно-технических комплексов // СПб.: Изд-во Политехн. ун-та. 2010. 436 с.
5. *Фридман А.А., Курбанов В.Г.* Ситуационное моделирование надежности и безопасности промышленно-природных систем // Информационно-управляющие системы. 2014. № 4(71). С. 68–77.
6. *Бржезовский А.В., Фильчаков В.В.* Концептуальный анализ вычислительных систем // СПб: Изд. ЛИАП. 1991. 78 с.
7. *Месарович М., Мако Д., Такахара И.* Теория иерархических многоуровневых систем // М.: Мир. 1973. 344 с.
8. *Поспелов Д.А.* Ситуационное управление: теория и практика // М.: Наука. 1986. 288 с.

### References

1. *Kravchenko B.V., Cherkasov D.N.* *Sistemy intellektual'noj podderzhki prinjatija upravljajushhij reshenij pri likvidacii posledstvij ChS* [The intellectual support of decision-making control during emergency response]. Available at: <http://mars.biophys.msu.ru/awse/CONFER/MCE99/149.htm> (accessed 06.09.2014) (In Russ.).
2. *Gelovani V.A., Britkov V.B.* *Sistemy podderzhki prinjatija reshenij v neshtatnykh situacijah s ispol'zovaniem sovremennoj informacionnoj tehnologii* [Decision support systems in emergency situations using modern information technology] Available at: <http://sr.isa.ac.ru/sr-95-96/gelbrit3.html> (accessed 06.09.2014) (In Russ.).
3. *Tsalenko M.Sh.* *Modelirovanie semantiki v bazakh dannyx* [Modeling semantics in databases]. Moscow: Pub.Nauka. 1989. 288 p. (In Russ.).
4. *Fridman A. Ya., Fridman O. V., Zuenko A. A.* *Situacionnoe modelirovanie prirodno-tehnicheskikh kompleksov* [Situational Modeling of Nature-Technical Complexes]. Saint-Petersburg: Polytechnic Univ. Publ. 2010 436 p. (In Russ.).
5. *Fridman A.Ia., Kurbanov V.G.* [Situational Modeling of Reliability and Safety for Industry-Natural Systems]. *Informatsionno-upravliaiushchie sistemy – Information and Control Systems*. 2014. vol. 4(71). pp. 68–77. (In Russ.).
6. *Brzhezovskii A.V., Fil'chakov V.V.* *Kontseptual'nyi analiz vychislitel'nykh sistem* [Conceptual analysis of computer systems]. Saint-Petersburg: Pub. LIAP. 1991. 78 p. (In Russ.).
7. *Mesapovich M., Mako D., Takakhara I.* *Teoriia ierarkhicheskikh mnogourovnevnykh sistem* [The theory of hierarchical multilevel systems]. Moscow: Pub. Mir. 1973. 344 p (In Russ.).
8. *Pospelov D.A.* *Situatsionnoe upravlenie: teoriia i praktika* [Contingency management: theory and practice]. Moscow: Pub.Nauka, 1986. 288 p. (In Russ.).

**Фридман Александр Яковлевич** — д-р техн. наук, ведущий научный сотрудник лаборатории информационных технологий управления промышленно-природными системами, Институт информатики и математического моделирования технологических процес-

сов Кольского научного центра Российской академии наук. Область научных интересов: моделирование комплексных технологий и их воздействия на окружающую среду, прикладные интеллектуализированные системы. Число научных публикаций — 230. fridman@iimm.kolasc.net.ru; 184209, Мурманская обл., г.Апатиты, ул.Ферсмана, 24а; р.т. +7(81555) 79782.

**Fridman Alexander Jakovlevich** — Ph.D., Dr. Sci., leading researcher of Laboratory of Information Technologies for Nature-Industrial Systems Control, Institute for Informatics and Mathematical Modelling of Technological Processes of the Kola Science Center of Russian Academy of Sciences. Research interests: modeling of complex technologies and their impact on the environment, application intellectualized system. The number of publications — 230. fridman@iimm.kolasc.net.ru; 24A, Fersman st., 184209, Apatity, Murmansk Region, Russian Federation; office phone +7(81555) 79782.

**Курбанов Вугар Гариб оглы** — к-т техн. наук, старший научный сотрудник, Институт проблем машиноведения Российской Академии Наук (ИПМАШ РАН). Область научных интересов: общие вопросы математики, математическая кибернетика, математическое моделирование, оптимальные системы. Число научных публикаций — 60. vugar\_borchali@yahoo.com; 196135, Санкт - Петербург, Большой пр., 61, В.О.; р.т. +7(812)3219007.

**Kurbanov Vugar Garib ogli** — Ph.D., senior researcher, Institute of Problems in Mechanical Engineering of Russian Academy of Sciences (IPME RAS). Research interests: general questions of mathematical cybernetics, mathematical modeling, optimum systems. The number of publications — 60. vugar\_borchali@yahoo.com; 61, V.O., Bol'shoi av., 199178, Saint-Petersburg, Russian Federation; office phone +7(812)3219007.

**Поддержка исследований.** Работа выполнена при поддержке РФФИ (проекты №№ 14-07-00256-а, 14-07-00257-а, 14-07-00205-а, 13-07-00318-а, 12-07-00689-а, 12-07-000550-а, 12-07-00302-а) и Президиума РАН (проект 4.3 Программы № 16).

**Acknowledgements.** This research is supported by RFBR (grant 14-07-00256-a, 14-07-00257-a, 14-07-00205-a, 13-07-00318-a, 12-07-00689-a, 12-07-000550-a, 12-07-00302-a) and Presidium RAS (project 4.3 of the program #16).

## РЕФЕРАТ

### **Фридман А.Я., Курбанов В.Г. Формальная концептуальная модель промышленно-природного комплекса как средство управления вычислительным экспериментом.**

В работе представлена ситуационная концептуальная модель, предназначенная для исследования динамических пространственных объектов, в частности, промышленно-природных комплексов (ППК), которая обеспечивает автоматизацию всех этапов вычислительного эксперимента с возможностью равноправной обработки информации от расчетных модулей, имитирующих составные части ППК, и интегрированных с ней ГИС и экспертной системы.

Эта модель базируется на представлении объекта моделирования в виде древовидного И-ИЛИ графа, отображающего иерархическую декомпозицию структурных элементов ППК, также называемых объектами, в соответствии с их организационными связями. Модель включает в себя три множества компонентов: объекты, процессы и ресурсы (данные), – на которых определены связи и отношения. Каждому объекту может приписываться набор процессов, моделирующих преобразование входных ресурсов в выходные. В качестве ресурса рассматривается любой материальный или информационный сигнал, которым обмениваются элементы модели. С помощью отношений иерархии любой объект однозначно сопоставляется с некоторым подмножеством ГИС-элементов, отображаемых геоинформационной системой и формирующих его графическое представление, что позволяет автоматически измерять графические характеристики для использования в расчетах. Экспертная система, в частности, используется для моделирования тех частей ППК, для которых отсутствуют математические модели.

Особенности предложенного подхода состоят в широком применении экспертных знаний, поддержке современных сценарных подходов к моделированию, использовании ГИС-технологии не только для графического представления составных частей объекта и результатов моделирования, но также для постановки задачи и выполнения пространственно-зависимых расчетов.

## SUMMARY

### *Fridman A.Ya., Kurbanov V.G.* **Formal Conceptual Model of Industry-Natural Complexes as a Mean to Organize Computing Experiments.**

The paper introduces a situational conceptual model (SCM) designed to investigate complicated spatial systems, Industry-Natural Complexes (INCs) in particular, that provides automation of every modelling stage with possibilities to equally treat information from calculating modules, which simulate parts of an INC, and from integrated GIS and expert system.

The model requires for representing the object under investigation as a tree-like AND/OR graph that reflects the hierarchical decomposition of INC structural elements (we call them “objects” as well) according to their organizational links. The SCM includes three sets of components, they are objects themselves, processes describing transformations of input resources into output ones, and resources (data), which can correspond to any material or informational signal transferred among objects and/or processes. The model also contains relations linking elements of these sets. By means of hierarchical relations, we can identically assign any SCM element with a subset of GIS-elements defined in a GIS, thus forming its graphical representation. This way we automate measuring graphic parameters of SCM elements to consider them in calculations. The expert system is particularly used for modelling those parts of an INC having no mathematical models.

Our approach is featured with wide usage of expert knowledge, employment of the GIS not for object mapping only, but for task setting, spatial-dependent calculations and modelling results' displaying as well.

В. П. БУБНОВ, А. В. ТЫРВА, А. С. ЕРЕМИН  
**КОМПЛЕКС МОДЕЛЕЙ НЕСТАЦИОНАРНЫХ СИСТЕМ  
ОБСЛУЖИВАНИЯ С РАСПРЕДЕЛЕНИЯМИ ФАЗОВОГО ТИПА**

---

*Бубнов В. П., Тырва А. В., Еремин А. С. Комплекс моделей нестационарных систем обслуживания с распределениями фазового типа.*

**Аннотация.** Представлен комплекс нового класса моделей нестационарных систем обслуживания с источником конечного числа заявок. В отличие от традиционных моделей теории массового обслуживания они позволяют моделировать процессы обслуживания на заданном (директивном) временном интервале при общих предположениях о законах распределения временных интервалов между поступлениями и обслуживаниями заявок. Определены принципы построения этих моделей, их графическая интерпретация, расчет вероятностно-временных характеристик, выведены системы дифференциальных уравнений Чепмена — Колмогорова.

**Ключевые слова:** нестационарная система обслуживания, распределения фазового типа, вероятности состояний.

*Bubnov V.P., Tyrva A.V., Eremin A.S. A Set of Non-stationary Queuing System Models with Phase-Type Distributions.*

**Abstract.** A complex of new models of non-stationary queuing systems with finite source is presented. In contrast to traditional models of queuing theory the proposed models allow to describe the processes of customers servicing in the specified time interval under general assumptions on the time distribution between customer arrival and service. The article presents the principles of such models development, their graphical interpretation and formulae for computation of probabilistic and time characteristics as well as Chapman—Kolmogorov differential equations systems.

**Keywords:** non-stationary queuing system, phase-type distribution, states probability.

---

**1. Введение.** Большинство авторов [1–4] используют модели теории массового обслуживания (ТМО) в предположении, что существует стационарный режим вероятности состояний системы массового обслуживания (СМО) не являются функциями времени. В этом случае коэффициент загрузки СМО не превышает единицы [5]. Однако наибольший практический и теоретический интерес представляют нестационарные модели ТМО, учитывающие поведение аппаратно-программных комплексов в контуре управления технологическими процессами и объектами, функционирующими в условиях перегрузок на заданном (директивном) временном интервале. К данным комплексам можно отнести средства наземного автоматизированного комплекса управления подвижными объектами [6]. Под моделью нестационарной системы обслуживания (НСО) понимается модель системы обслуживания с переменными во времени вероятностями состояний, каждое из которых определяет вероятность числа находящихся в НСО заявок и числа получивших обслуживание заявок. Число заявок, поступающих на обслуживание в рассматриваемых моделях, конечно.

**2. Базовая модель.** Подход построения моделей НСО продемонстрируем на примере достаточно простой модели. Пусть на вход одноканальной системы обслуживания последовательно поступает  $N$  заявок на обслуживание. Распределения длительности интервалов между моментами поступления и обслуживания заявок описываются экспоненциальными законами с интенсивностями, зависящими от номера заявки  $\{\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_N\}$  и  $\{\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_N\}$  соответственно. Такая система представляется цепью Маркова с дискретным множеством состояний и непрерывным временем [7]. Состояние системы в каждый момент времени характеризуется парой  $(i, j)$ , где  $i$  — число поступивших, но еще не обслуженных заявок ( $i = \overline{0, N}$ ), а  $j$  — число уже обслуженных заявок ( $j = \overline{0, N - i}$ ). Переход из состояния  $(i, j)$  в состояние  $(i + 1, j)$  означает, что в систему поступила  $(i + j + 1)$ -я заявка. Переход из состояния  $(i, j)$  в состояние  $(i - 1, j + 1)$  означает, что была обслужена  $(j + 1)$ -я заявка. Общее число состояний  $N_c$  вычисляется по формуле:  $N_c = (N + 1)(N + 2)/2$ . Система из  $N_c$  линейных однородных дифференциальных уравнений Чепмена — Колмогорова с постоянными коэффициентами имеет вид [8]:

$$\frac{dP_{i,j}(t)}{dt} = H(i)(P_{i-1,j}(t)\lambda_{i+j} - P_{i,j}(t)\mu_{j+1}) + H(j)P_{i+1,j-1}(t)\mu_j - \quad (1)$$

$$- H(N - i - j)P_{i,j}(t)\lambda_{i+j+1},$$

где  $H(k)$  — функция Хевисайда, равная 0 при  $k \leq 0$  и 1 при  $k > 0$ ;  $P_{i,j}(t)$  — вероятность нахождения в НСО  $i$  заявок при  $j$  обслуженных в момент времени  $t$ .

В качестве начальных условий выбирают обычно нахождение в состоянии  $(0,0)$ , то есть  $P_{i,j}(0) = 1 - H(i + j)$ . Для каждого момента времени  $t$  должно соблюдаться условие нормировки вида  $\sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^{N-i} P_{i,j}(t) = 1$ . Вероятность нахождения в НСО ровно  $i$  заявок в каждый момент времени  $P_i(t) = \sum_{j=0}^{N-i} P_{i,j}(t)$ . Значение вероятности обслуживания ровно  $j$  заявок  $P_j(t) = \sum_{i=0}^{N-j} P_{i,j}(t)$ , а значение вероятности обслуживания не менее  $q$  заявок может быть определено из выражения  $P_q(t) = \sum_{j=q}^N P_j(t)$ .

Число состояний НСО конечно. Есть начальное состояние, и есть конечное (поглощающее) состояние. Все состояния невозвратные. Процесс однородный, не эргодический, для него не существует стационарного режима. Для любой НСО невозможны переходы:

- из состояния  $(i, j)$  в состояние  $(i - k, j)$ ,  $k = \overline{1, N}$ ;
- из состояния  $(i, j)$  в состояние  $(i, j - k)$ ,  $k = \overline{1, N}$ ;

- из состояния  $(i, j)$  в состояние  $(k, j)$ , если  $k > i + 1$ ;
- из состояния  $(i, j)$  в состояние  $(i, k)$ , если  $k > j + 1$ .

Введена система обозначения моделей НСО  $G_k(i)/G_k(j)/N$ , дополняющую систему обозначений Кендалла, где  $G$  определяет вероятностный закон распределения временных интервалов между поступлениями или обслуживанием заявок. В статье рассматриваются законы:  $M$  — экспоненциальный,  $E$  — Эрланга,  $H$  — гиперэкспоненциальный,  $C$  — Кокса, причём  $k$  — число этапов в рассматриваемых распределениях  $E$ ,  $H$  и  $C$ . Обозначения  $(i)$  и  $(j)$  указывают на то, что интенсивности поступления и обслуживания зависят от номера заявки. Общее число заявок в источнике —  $N$ .

**3. Аппроксимация распределениями фазового типа.** Для учета произвольного закона распределения временных интервалов в моделях НСО проведено обобщение метода аппроксимации произвольной плотности распределения вероятностей плотностью вида:

$$f(t) \approx \sum_{i=1}^k \theta_i \mu_i e^{-\mu_i t}, \quad (2)$$

где  $f(t)$  — произвольная плотность распределения вероятностей;  $\theta_i$ ,  $\mu_i$ ,  $k$  — параметры аппроксимирующего распределения.

Известно, что плотности многих распределений, за исключением некоторых (в частности, логарифмического нормального распределения), при определенных, обычно выполняемых условиях однозначно определяются своими начальными моментами. Потребовав равенства первых  $N$  начальных моментов плотности  $f(t)$  и аппроксимирующей плотности, получим систему нелинейных алгебраических уравнений для определения неизвестных  $\theta_i$  и  $\mu_i$ :

$$\sum_{i=1}^k \frac{\theta_i}{\mu_i^j} = \frac{v_j}{j!}, \quad j = \overline{0, N},$$

где  $v_j$  —  $j$ -й начальный момент аппроксимируемой плотности распределения  $f(t)$ .

Если  $\theta_i$  — положительные числа, удовлетворяющие условиям  $0 \leq \theta_i \leq 1$ ,  $\sum_{i=1}^k \theta_i = 1$ , то правая часть (2) представляет собой плотность гиперэкспоненциального распределения, коэффициент вариации которого  $\eta > 1$ . В частном случае, когда  $\mu_i$  равны между собой, а  $\theta_i = \frac{1}{k}$ , получается экспоненциальное распределение с  $\eta = 1$ .

Если  $\theta_i = \prod_{l=1}^k \frac{\mu_l}{\mu_l - \mu_i}$ ;  $l, i = \overline{1, k}$ ;  $i \neq l$ ;  $\mu_i \neq \mu_l$ , то правая часть (2) соответствует неоднородному эрланговскому распределению

порядка  $k$ . Коэффициент вариации такого распределения  $\frac{1}{\sqrt{k}} < \eta < 1$ . В этом случае  $\theta_i$  могут принимать отрицательное значение, однако условие  $\sum_{i=1}^k \theta_i = 1$  должно сохраняться.

Положив  $\theta_i = \sum_{l=1}^k a_1 a_2 \dots a_{l-1} b_l \prod_{n=1}^l \frac{\mu_n}{\mu_n - \mu_i}$ ;  $n \neq i$ ;  $\mu_n \neq \mu_i$ ;  $a_i + b_i = 1$ ;  $i \neq l$ , получим плотность распределения Кокса. Коэффициент вариации такого распределения  $\eta > \frac{1}{\sqrt{k}}$ .

Кокс показал [9], что параметры аппроксимирующего распределения могут быть комплексными, тогда чисто формально, можно исследовать процесс как марковский и составить уравнения Чепмена — Колмогорова обычным путем. В этом случае, несмотря на то, что значения вероятности, связанные с фиктивными фазами, могут быть комплексными, все же вероятности, связанные с реальными состояниями исследуемой системы, будут вещественными. Использование комплексно-сопряженных параметров позволяет аппроксимировать выше перечисленными распределениями произвольные плотности с коэффициентами вариации, находящимися в диапазоне  $0 < \eta < \infty$ .

В комплексе моделей НСО реализованы следующие:  $M(i)/H_2(j)/N$ ,  $H_2(i)/M(j)/N$ ,  $M(i)/E_2(j)/N$ ,  $E_2(i)/E_2(j)/N$ ,  $C_2(i)/C_2(j)/N$ . Наибольшей общностью обладает модель с двухэтапным коксовским поступлением и двухэтапным коксовским обслуживаем заявок  $C_2(i)/C_2(j)/N$  [10]. В случае использования одного из аппроксимирующих распределений ( $E$ ,  $H$ ,  $C$ ) для описания вероятностей состояний модели НСО вводится еще один параметр — номер этапа аппроксимирующего распределения. При аналогичной аппроксимации законов распределения временных интервалов как между поступлением, так и между обслуживанием заявок потребуется уже четыре переменных: число заявок в системе, число обслуженных заявок, номер этапа аппроксимирующего распределения временных интервалов между поступлениями заявок и номер этапа аппроксимирующего распределения временных интервалов обслуживания. Это приводит к значительному расширению числа состояний моделей НСО и, как следствие, к увеличению числа дифференциальных уравнений Чепмена — Колмогорова. Порядок разработки таких моделей продемонстрируем на примере модели с двухэтапным коксовским поступлением и двухэтапным коксовским обслуживаем заявок  $C_2(i)/C_2(j)/N$ . Граф переходов и состояний для такой НСО представлен на рисунке 1.

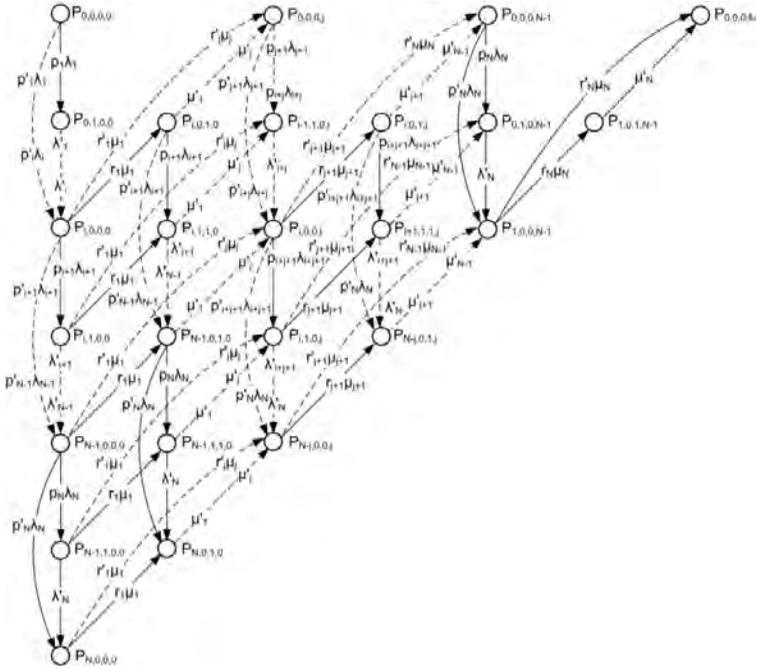


Рис. 1. Граф переходов и состояний  $C_2(i)/C_2(j)/N$

Состояние  $(i, k, l, j)$  модели НСО  $C_2(i)/C_2(j)/N$  в каждый момент времени характеризуется количеством поступивших (еще не обслуженных) заявок  $i$  ( $i = 0, N$ ), обслуженных заявок  $j$  ( $j = 0, N - i$ ), этапом  $k$  ( $k = 0, H(N - i - j)$ ) и  $l$  ( $l = 0, H(i)$ ) распределения Кокса длины интервалов времени между моментами поступления и обслуживания заявок. Поведение такой системы описывается однородной системой дифференциальных уравнений Чепмена — Колмогорова с постоянными коэффициентами:

$$\begin{aligned} \frac{dP_{i,k,l,j}(t)}{dt} = & -H(1-k)H(N-i-j)P_{i,k,l,j}(t)\lambda_{i+j+1} - \\ & -H(k)P_{i,k,l,j}(t)\lambda'_{i+j+1} + H(k)P_{i,0,l,j}(t)p_{i+j+1}\lambda_{i+j+1} + \\ & +H(1-k)H(i)(P_{i,1,l,j}(t)\lambda'_{i+j} + P_{i-1,0,l,j}(t)(1-p_{i+j})\lambda_{i+j}) - \\ & -H(i)H(1-l)P_{i,k,l,j}(t)\mu_{j+1} - H(l)P_{i,k,l,j}(t)\mu'_{j+1} + \\ & +H(1-l)H(j)(P_{i+1,k,1,j-1}(t)\mu'_j + P_{i+1,k,0,j-1}(t)(1-r_j)\mu_j) + \\ & +H(l)P_{i,k,0,j}(t)r_{j+1}\mu_{j+1}, \end{aligned}$$

где  $\lambda_i, \lambda'_i, p_i, p'_i$  — параметры распределения Кокса временного интервала между поступлением  $i - 1$  и  $i$  заявок;  $\mu_j, \mu'_j, r_j, r'_j$  — параметры распределения Кокса временного интервала обслуживания  $j$ -й заявки.

Для каждого момента времени  $t$  должно соблюдаться условие нормировки вида  $\sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^{N-i} \sum_{k=0}^{H(N-i-j)} \sum_{l=0}^{H(i)} P_{i,k,l,j}(t) = 1$ .

Задав начальные условия к системе в виде:

$$P_{i,k,l,j}(0) = \begin{cases} 0, & \text{если } i + j + k + l \neq 0, \\ 1, & \text{если } i + j + k + l = 0, \end{cases}$$

можно найти численное решение соответствующей задачи Коши для произвольного значения времени  $t$ .

**4. Результаты численного моделирования.** На рисунке 2 представлены графики функций распределения времени обслуживания  $FN(t)$  для различных значений коэффициента вариации временных интервалов поступления заявок  $invar$  и обслуживания заявок  $outvar$ .

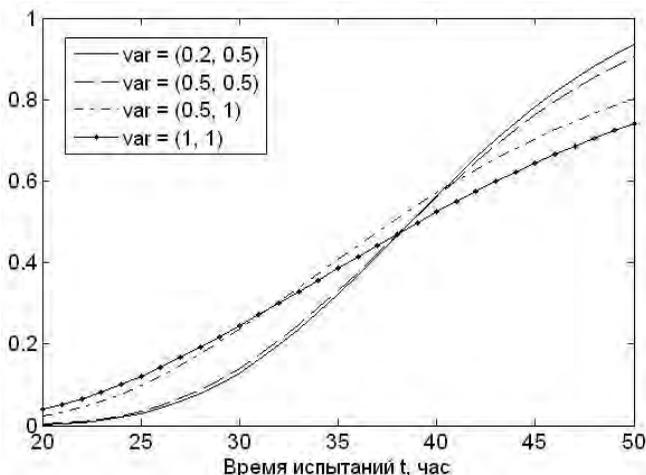


Рис. 2. Функции распределения вероятностей времени обслуживания всех заявок

В таблице 1 приведены рассчитанные значения времени испытаний, которое требуется для обслуживания всех заявок с вероятностью 0.95.

Таблица 1. Время, требуемое для обслуживания всех заявок

$invar \backslash outvar$	0.2	0.5	1.0
0.2	50	51	64
0.5	51	53	67
1.0	56	59	73

Описанные модели НСО  $G(i)/G(j)/N$  являются наиболее общими, так как не ограничены конкретным видом распределения временных интервалов между поступлением и обслуживанием заявок.

**5. Программная реализация моделей и оценка их достоверности.** Авторы выполнили программную реализацию комплекса моделей нестационарных систем обслуживания [11]. В комплексе программ реализованы следующие модели НСО:  $M(i)/M(j)/N$ ,  $H_2(i)/M(j)/N$ ,  $M(i)/E_2(j)/N$ ,  $E_2(i)/E_2(j)/N$ ,  $C_2(i)/C_2(j)/N$ . Для всех моделей реализованы расчеты вероятностно-временных показателей обслуживания заявок, представленных во втором разделе настоящей статьи. Программы содержат следующие основные функции:

– ErlangApproximation, CoxApproximation, H2Approximation — функции расчета параметров аппроксимации двухэтапным распределением Эрланга (неоднородным), Кокса, гиперэкспоненциальным распределением соответственно. Параметры: первые два (три) начальных момента исходного распределения.

– StateQuantity — функция расчета числа состояний модели. Параметр: общее число заявок.

– PIndex — функция расчета порядкового номера (индекса) состояния модели. Параметры: вектор, описывающий состояние системы (число поступивших, но необслуженных заявок, число обслуженных заявок, фаза поступления и обслуживания заявок).

– PIndex2ij — функция выполняет обратное преобразование. Параметр: индекс состояния.

– DeSMO — функция составления системы дифференциальных уравнений. Параметры: векторы интенсивностей поступления и обслуживания заявок, матрица состояний (содержит индексы состояний, для которых производится расчет, это необходимо для моделирования различных стратегий испытаний), время моделирования, вектор вероятностей состояний системы в текущий момент времени.

– SummP — функция расчета вероятностных характеристик процесса обслуживания (функции распределения времени обслуживания заданного числа заявок, вероятности поступления и обслуживания заданного числа заявок, среднее число поступивших и обслуженных заявок). Параметры: вектор вероятностей пребывания в различных состояниях системы в различные моменты времени моделирования.

– CalculateStates — функция решения системы дифференциальных уравнений (вызов функций ode45 и DeSMO) и расчета показателей обслуживания (вызов функции SummP).

– PFaultLess — функция расчета вероятности свободного состояния в течение заданного времени после проведения испытаний.

Параметры: вектор вероятностей пребывания в различных состояниях системы в моменты времени моделирования, время функционирования, интенсивности поступления заявок.

– Main — основная функция, готовит исходные данные, обращается к функции CalculateStates для решения системы дифференциальных уравнений и представляет результаты (графики, выходной файл).

Для решения системы дифференциальных уравнений используется стандартная функция ode45 для численного интегрирования систем обыкновенных дифференциальных уравнений с использованием формул Рунге — Кутты 4-го и 5-го порядков. Для обоснования достоверности расчетов выполнена проверка полученных результатов с использованием различных разработанных моделей НСО. Схема выполнения взаимной проверки результатов моделирования иллюстрируется на рисунке 3.



Рис. 3. Схема взаимной проверки результатов моделирования

Реализованные модели показаны по степени общности от базовой экспоненциальной (крайний левый столбец) до наиболее общей с использованием двухэтапного распределения Кокса (крайний правый столбец). Модели, расположенные на схеме правее, являются более общими и используются для проверки результатов частных моделей, расположенных, соответственно, левее. Взаимная проверка моделей НСО показала совпадение полученных результатов.

**6. Заключение.** Представленный комплекс моделей НСО и их программная реализация могут быть использованы для расчета характеристик надежности и пропускной способности аппаратно-программных комплексов, функционирующих в условиях изменяющейся рабочей нагрузки на заданном (директивном) временном интервале.

### Литература

1. Клейнрок Л. Теория массового обслуживания // М. 1979. 432 с.
2. Хомоненко А. Д. Численные методы анализа систем и сетей массового обслуживания // Л. 1991. 196 с.

3. *Osogami T., Raymond R.* Analysis of transient queues with semidefinite optimization // *Queueing Systems*. 2013. vol. 73. pp. 195–234.
4. *Wolff R.W., Yao Y.-C.* Little's law when the average waiting time is infinite // *Queueing Systems*. 2014. vol. 76. pp. 267–281.
5. *Баширин Г. П., Бочаров П. П., Коган Я. А.* Анализ очередей в вычислительных сетях: Теория и методы расчета // М. 1989. 336 с.
6. *Калинин В. Н., Соколов Б. В.* Многомодельное описание процессов управления космическими средствами // *Теория и системы управления*. 1995. № 1. С. 149–156.
7. *Вентцель Е. С., Овчаров Л. А.* Теория случайных процессов и ее инженерные приложения // М. 1991. 384 с.
8. *Бубнов В. П., Сафонов В. И., Смагин В. А.* О загрузке вычислительной системы с изменяющейся интенсивностью поступления заданий // *Автоматика и вычислительная техника*. 1987. №6. С. 19–22.
9. *Cox. D.R.* A use of complex probabilities in the theory of stochastic processes // *Proc. Cambr. Phil. Soc.* 1955. vol. 51. no 2. pp. 313–319.
10. *Bubnov V.P., Khomonenko A.D., Tyrva A.V.* Software Reliability Model with Coxian Distribution of Length of Intervals Between Errors Detection and Fixing Moments // *Proceedings of 35<sup>th</sup> Annual IEEE Computer Software and Applications Conference (COMPSAC 2011)*. 2011. pp. 310–314.
11. *Тырва А. В., Хомоненко А. Д., Бубнов В. П.* Комплекс программ расчета надежности и планирования испытаний программных средств // Федеральная служба по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам. Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2010615617. Москва. 2010.

## References

1. Kleinrock L. *Teorija massovogo obsluzhivaniya* [Queueing Systems]. М. 1979. 432 p. (In Russ.)
2. Khomonenko A.D. *Chislennyye metody analiza sistem i setej massovogo obsluzhivaniya* [Numerical methods of queuing systems and networks analysis]. L. 1991. 196 p. (In Russ.).
3. Osogami T., Raymond R. Analysis of transient queues with semidefinite optimization. *Queueing Systems*. 2013. vol. 73. pp. 195–234.
4. Wolff R.W., Yao Y.-C. Little's law when the average waiting time is infinite. *Queueing Systems*. 2014. vol. 76. pp. 267–281.
5. Basharin G.P., Bocharov P.P., Kogan Ya.A. *Analiz ocheredey v vychislitel'nykh setyakh: Teoriya i metody rascheta* [Analysis of queues in computer networks: Theory and computational methods]. М. 1989. 336 p. (In Russ.)
6. Kalinin V.N., Sokolov B.V. [A many-model approach to description of space means control processes]. *Teorija i sistemy upravleniya – Theory and control system*. 1995. vol 1. pp. 149–156. (In Russ.)
7. Wentzel E.S., Ovcharov L.A. *Teorija sluchajnykh processov i ee inzhenernye prilozheniya* [Theory of random processes and its engineering applications]. М. 1991. 384 p. (In Russ.)
8. Bubnov V.P., Safonov V.I., Smagin V.A. [The load of a computational system with varying customer arrival rate]. *Avtomatika i Vychislitel'naya Tekhnika – Automation and Computer Engineering*. 1987. vol 6. pp. 19–22. (In Russ.).
9. Cox. D.R. A use of complex probabilities in the theory of stochastic processes. *Proc. Cambr. Phil. Soc.* 1955. vol. 51. no. 2. pp. 313–319.
10. Bubnov V.P., Khomonenko A.D., Tyrva A.V. Software Reliability Model with Coxian Distribution of Length of Intervals Between Errors Detection and Fixing Moments. *Proceedings of 35<sup>th</sup> Annual IEEE Computer Software and Applications Conference (COMPSAC 2011)*. 2011. pp. 310–314.
11. Tyrva A.V., Khomonenko A.D., Bubnov V.P. [The program complex for software reliability computation and tests planning]. Russian Federal Service for Intellectual Property (Rospatent). Certificate of the state registration of a computer program № 2010615617. М. 2010. (In Russ.).

**Бубнов Владимир Петрович** — д-р техн. наук, профессор, кафедра информационных и вычислительных систем факультета автоматизации и интеллектуальных технологий Петербургского государственного университета путей сообщения императора Александра I (ПУПС). Область научных интересов: вероятностные модели аппаратно-программных комплексов, марковские процессы, дифференциальные уравнения. Число научных публикаций — 150. [bubnov1950@yandex.ru](mailto:bubnov1950@yandex.ru), <http://www.pgups.ru>; Московский пр., д. 9, г. Санкт-Петербург, 190031, РФ; р.т. +79052807904, факс +7(812)457-8606.

**Bubnov Vladimir Petrovich** — Ph.D., Dr. Sci., professor, Informatics and computer systems department of Petersburg state transport university. Research interests: probabilistic models of hardware and software complexes, Markovian processes, differential equations. The number of publications — 150. [bubnov1950@yandex.ru](mailto:bubnov1950@yandex.ru), <http://www.pgups.ru>; Moskovsky pr., 9, Saint-Petersburg, 190031, Russian Federation; office phone +79052807904, fax +7(812)457-8606.

**Тырва Алексей Владимирович** — к-т техн. наук, доцент, кафедра информационных и вычислительных систем факультета автоматизации и интеллектуальных технологий Петербургского государственного университета путей сообщения императора Александра I (ПУПС). Область научных интересов: математическое моделирование, разработка программного обеспечения. Число научных публикаций — 10. [altyr@mail.ru](mailto:altyr@mail.ru), <http://www.pgups.ru>; Московский пр., д. 9, г. Санкт-Петербург, 190031, РФ; р.т. +7(812)457-8606, факс +7(812)457-8606.

**Tyrva Alexey Vladimirovich** — Ph.D., associate professor, Informatics and computer systems department of Petersburg state transport university. Research interests: software reliability modeling, probabilistic models. The number of publications — 10. [altyr@mail.ru](mailto:altyr@mail.ru), <http://www.pgups.ru>; Moskovsky pr., 9, Saint-Petersburg, 190031, Russian Federation; office phone +7(812)457-8606, fax +7(812)457-8606.

**Еремин Алексей Сергеевич** — к-т техн. наук, доцент, кафедра информационных систем факультета прикладной математики — процессов управления Санкт-Петербургского государственного университета (СПбГУ). Область научных интересов: численные методы решения дифференциальных уравнений, уравнения с запаздывающим аргументом, вероятностные модели. Число научных публикаций — 13. [ereminh@gmail.com](mailto:ereminh@gmail.com), <http://www.spbu.ru>; Университетский пр. 35, Петергоф, г. Санкт-Петербург, 198504, РФ; р.т. +7(812)428-7159, факс +7(812)428-7159.

**Eremin Alexey Sergeevich** — Ph.D., associate professor, Department of Information systems of the Faculty of Applied Mathematics and Control Processes of the Saint-Petersburg State University. Scientific interests: numerical solution of differential equations, delay differential equations, probabilistic models. The number of publications — 13. [ereminh@gmail.com](mailto:ereminh@gmail.com), <http://www.spbu.ru>; Universitetskii prospekt 35, Petergof, Saint-Petersburg, 198504, Russian Federation; office phone +7(812)428-7159, fax +7(812)428-7159.

**Поддержка исследований.** Работа выполнена при финансовой поддержки фундаментальных научных исследований ОНИТ РАН: Проект № 2.11: «Комплексное моделирование, многокритериальное оценивание и анализ рисков при выработке управленческих решений в катастрофоустойчивой информационной системе».

**Acknowledgements.** This research is financially supported by fundamental scientific research support of Nano- and Information technologies department of Russian Academy of Sciences: Project №2.11 «Complex modeling, multi-criterion estimation and risk analysis during control decisions in catastrophe proof information systems».

## РЕФЕРАТ

### **Бубнов В. П., Тырва А. В., Еремин А. С. Комплекс моделей нестационарных систем обслуживания с распределениями фазового типа.**

Представлен комплекс нового класса моделей нестационарных систем обслуживания (НСО) с источником конечного числа заявок. В отличие от традиционных моделей теории массового обслуживания, они позволяют моделировать процессы обслуживания на заданном (директивном) временном интервале при общих предположениях о законах распределения временных интервалов между поступлениями и обслуживаниями заявок.

Для учета произвольного закона распределения вероятностей временных интервалов в моделях НСО проведено обобщение метода аппроксимации произвольной плотности распределения вероятностей плотностью вида:  $f(t) \approx \sum_{i=1}^k \theta_i \mu_i e^{-\mu_i t}$ , где  $f(t)$  — произвольная плотность распределения вероятностей;  $\theta_i, \mu_i, k$  — параметры аппроксимирующего распределения.

Для аппроксимации используются распределения фазового типа 2-го порядка (гиперэкспоненциальное —  $H_2$ , Эрланга —  $E_2$ , Кокса —  $C_2$ ). В разработанном комплексе программ реализованы следующие модели НСО:  $M(i)/M(j)/N$ ,  $H_2(i)/M(j)/N$ ,  $M(i)/E_2(j)/N$ ,  $E_2(i)/E_2(j)/N$ ,  $C_2(i)/C_2(j)/N$ . Определены принципы построения этих моделей, их графическая интерпретация, расчет вероятностно-временных характеристик, выведены системы дифференциальных уравнений Чепмена — Колмогорова.

Для решения системы дифференциальных уравнений использована стандартная функция ode45 для численного интегрирования систем обыкновенных дифференциальных уравнений с использованием формул Рунге — Кутты 4-го и 5-го порядков. Для обоснования достоверности расчетов выполнена проверка полученных результатов с использованием различных разработанных моделей НСО.

## SUMMARY

### **Bubnov V.P., Tyrva A.V., Eremin A.S. A Set of Non-stationary Queuing System Models with Phase-Type Distributions.**

A complex of new models of non-stationary queuing systems (NSQS) with finite source is presented. In contrast to traditional models of queuing theory the proposed models allow to describe the processes of customers servicing in the specified time interval under general assumptions on the time distribution between customer arrival and service.

In order to approximate general distribution laws for time intervals in NSQS models the way to approximate the probability density with the expression  $f(t) \approx \sum_{i=1}^k \theta_i \mu_i e^{-\mu_i t}$  is generalized.  $\theta_i, \mu_i, k$  are the approximating distribution parameters.

Phase type distributions of order 2 are used (namely Hyperexponential  $H_2$ , Erlang  $E_2$ , and Cox  $C_2$ ). The developed software provides the following models:  $M(i)/M(j)/N$ ,  $H_2(i)/M(j)/N$ ,  $M(i)/E_2(j)/N$ ,  $E_2(i)/E_2(j)/N$ ,  $C_2(i)/C_2(j)/N$ . The principles of their construction, their graphical interpretation, calculation of the probability-time characteristics are given. The system of Chapman—Kolmogorov equations is derived.

The ordinary differential equations system is solved with MatLab standard ode45 procedure, which uses embedded Runge—Kutta pair of orders 4 and 5. The results are verified by comparing the results obtained with different NSQS models.

## ПОДХОДЫ К ПРИМЕНЕНИЮ МОДЕЛИ ИНТЕГРИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ МЕНЕДЖМЕНТА ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ АУДИТОВ СЛОЖНЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОБЪЕКТОВ – АЭРОПОРТОВЫХ КОМПЛЕКСОВ

---

*Лившиц И.И. Подходы к применению модели интегрированной системы менеджмента для проведения аудитов сложных промышленных объектов – аэропортовых комплексов.*

**Аннотация.** Для сложных промышленных объектов обеспечение комплексной безопасности является крайне важной проблемой и особо актуальной для современных аэропортовых комплексов (АК). Особенности АК являются учет значительного множества требований: авиационной безопасности (АБ), безопасности персонала, сохранности воздушных судов (ВС), а также инженерной инфраструктуры. Для обеспечения безопасного функционирования АК применяются комплексные системы управления, в состав которых входят системы менеджмента (СМ), соответствующие различным стандартам, в т.ч. международным (ISAGO, ISO, ISO/IEC и пр.). Оценка результативности таких СМ представляет известную проблему. Поставленную задачу представляется целесообразным рассмотреть на основе модели ИСМ, дополненной блоком проведения комплексных аудитов с учетом специфики АБ. В публикации приведены результаты расчетов по представленной модели ИСМ с учетом расширенного состава критериев для АК. По согласованному мнению экспертов, требования «базовых» стандартов ISO значительно уступают по приоритету «профильным» для АК требованиям ISAGO (IATA).

**Ключевые слова:** система менеджмента (СМ), система менеджмента информационной безопасности (СМИБ), интегрированная система менеджмента (ИСМ), информационная безопасность (ИБ), стандарт, аудит, метрики.

*Livshits I.I. Approaches to the Application of the Integrated Management System Model for Carrying out Audits for Complex Industrial Objects – Airport Facilities.*

**Abstract.** For complex industrial facilities providing integrated security is extremely and very important problem for airport facilities (AF). Features AF is a significant set of requirements: aviation security (AS), personnel security, aircraft security and engineering infrastructure. To ensure the functioning of AF for security purposes apply integrated management system (IMS), consisting of the management system set, in accordance with various standards, including international (ISAGO, ISO, ISO/IEC and other). The task seems appropriate to consider a model-based IMS, supplemented both by AS block and comprehensive audits block. In this issue presents the results of calculations according to the presented model IMS with regard to expanded criteria for AF. By a consensus of experts, the requirements of the "base" ISO much lower on the priority of "profile" for AF requirements ISAGO (IATA).

**Keywords:** management system (MS), IT-security management system (ISMS), integrated management system (IMS), IT-security, standard, audit, metrics.

---

**1. Введение.** Для сложных промышленных объектов достаточно актуальной является проблема обеспечения комплексной безопасности и получения оценок уровня обеспечения безопасности (текущих и/или прогнозов). Особенно актуально эта проблема проявляется при оценке

безопасности функционирования современных аэропортовых комплексов (АК). Особенности АК являются, помимо учета требований большого числа служб, приоритет требований авиационной безопасности (АБ), в том числе требований безопасности деятельности персонала (как показал ряд авиационных происшествий в 2014 г. в аэропорту «Кольцово» и «Внуково»), сохранности воздушных судов (ВС), груза и багажа, специального транспорта, а также топливной, светотехнической и инженерной инфраструктуры.

Для обеспечения функционирования АК применяются современные системы управления, в состав которых входят системы менеджмента (СМ), соответствующие международным стандартам, в т.ч. (ISAGO, ISO) [1, 2]. Например, на соответствие требованиям ISO серии 9001 сертифицированы: ОАО «Международный аэропорт Шереметьево», Международный аэропорт «Кольцово», ТОО «Международный аэропорт Алматы». Соответственно, управление и оптимизация деятельности АК может быть выполнена на основе полученных оценок (метрик) в единой интегрированной системе менеджмента (ИСМ).

Для этих целей необходимо, во-первых, проектировать ИСМ на базе современных риск-ориентированных стандартов, а во-вторых, сформировать требования к процессам АК в четких измеримых метриках, и, в-третьих – обеспечить комплексный аудит в АК. В порядке дополнения требований аудитов отметим, что в АК применимы требования к аудитам всех типов (в нотации [3] – внутренние (1-й стороной), внешние (2-й стороной и 3-й стороной) [4].

**2. Постановка задачи.** Для решения проблемы обеспечения комплексной безопасности АК и получения оценок уровня обеспечения безопасности (текущих и/или прогнозов) необходимо, предпочтительно, оперировать численными оценками (метриками). Одно из направлений решения данной проблемы может быть реализовано при применении в составе ИСМ «целевого» стандарта системы менеджмента информационной безопасности (СМИБ), точнее стандарта по измерениям ISO/IEC 27004:2009 [5]. В указанном стандарте предложены определения терминов: «мера» (*measure*) и «измерение» (*measurement*), соответственно, п. 3.9 и 3.10 ([5]). Приведем примеры объектов измерений в различных СМ:

- результативность реализованных мер и средств контроля;
- состояние активов, защищенных мерами и средствами контроля;

- результативность процессов, реализованных в СМ;
- деятельность служб организации, ответственных за безопасность;
- степень удовлетворения заинтересованных сторон.

Для целей обеспечения комплексной безопасности АК могут использоваться различные источники данных, например [1, 2, 7]:

- результаты анализа риска и оценки риска;
- отчеты о внутренних и (или) внешних аудитах;
- записи событий, такие как журналы регистрации, отчеты;
- сообщения об инцидентах;
- результаты тестирования функциональных подсистем;
- записи, взятые из процедур и программ организации, касающихся безопасности, например, результаты обучения.

Таким образом, может быть сформулирована постановка задачи как формирование модели ИСМ для проведения аудитов сложных промышленных объектов – АК с целью измерения и получения оценок уровня обеспечения безопасности (текущих и/или прогнозов). Численная оценка результативности по модели ИСМ соответствует численной оценке уровня обеспечения безопасности.

**3. Базовая модель для аудитов ИСМ.** На основании поставленной задачи необходимо предложить модель ИСМ, которая содержит все базовые сущности для выполнения аудитов (критерии, объект, наблюдения аудита) и позволяет генерировать оценки уровня обеспечения безопасности [6–9]. Важное замечание – любая СМ содержит обязательное требование проведения внутреннего аудита [3]. Процесс аудитов дает важную составляющую общей (интегрированной) оценки результативности ИСМ, т.е. насколько запланированные цели были достигнуты; соответственно, представляется рациональным выполнять декомпозицию «общих» целей ИСМ на специфические цели – например, оценки уровня обеспечения безопасности. Причем эта специфическая цель тоже может быть агрегированной, например, содержать интегральную оценку иных подцелей: информационной, промышленной, экологической и иной безопасности. На рисунке 1 представлена базовая модель для аудитов ИСМ, необходимая как концептуальная база для описания подходов к поставленной задаче.

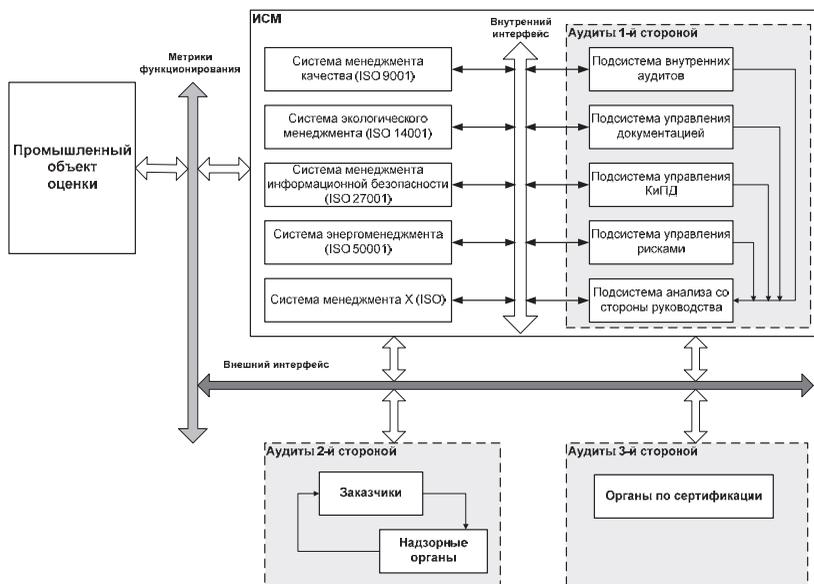


Рис. 1 Базовая модель аудитов ИСМ

Необходимо предоставить общие пояснения к базовой модели ИСМ:

1. Аудит ИСМ предполагает использование единого множества метрик функционирования, но на разных интерфейсах: для внутреннего аудита и для внешних аудитов;
2. Внутренние аудиты обязательно учитывают данные внешних аудитов, справедливо и обратное утверждение;
3. Воздействие на объект оценки реализуется через подсистему анализа со стороны руководства (в соответствии с циклом Plan-Do-Check-Act (PDCA), являющимся требованием всех СМ).

**4. Ограничения для базовой модели ИСМ.** Оценка уровня обеспечения безопасности объекта оценки (АК) возможна через формирование численные оценок, получаемых в процессе аудитов ИСМ. Как отмечено в постановке задачи, результативность ИСМ – это оценка, насколько организация (точнее конкретное множество СМ в составе ИСМ) соответствует установленным критериям аудита (например, требованиям стандартов, бизнес-партнеров, регулирующих органов) – PAS99 [10]. В определенном смысле, эта задача формирования матрицы аудита размерности  $[N_a, M_a]$ , где  $N_a$  – количество служб АК на аудите, а  $M_a$  – количество наблюдений аудита, выявленных по каждой службе [11, 12]. Но в действительности

практическая задача формирования матрицы аудита сложнее в силу следующих важных факторов:

— не все службы  $n_i$  конкретного АК могут быть «под аудитом», т.к. область аудита не всегда распространяется на весь АК, соответственно, наблюдается:

$$\{n_{scope}\} < \{N_a\},$$

где  $n_{scope}$  – кол-во служб, включенных в область сертификации;  $N_a$  – кол-во всех служб АК.

— не все наблюдения аудита рассматриваются только лишь как несоответствия, т.е. для формирования непредвзятых и объективных выводов аудита должны быть приняты, в равной мере, и свидетельства подтверждения выполнения требований и свидетельства невыполнения, суть несоответствие, т.е.:

$$\{M_a\} = \{m_{conform}\} + \{m_{nonconform}\},$$

где  $M_a$  – кол-во наблюдений на аудите;  $m_{conform}$  – кол-во наблюдений соответствия требованиям;  $m_{nonconform}$  – кол-во наблюдений несоответствия требованиям;

— в рамках одного аудита может выполняться проверка соответствия требованиям нескольких стандартов (комплексный аудит в терминах [3]) и, следовательно, по каждой службе могут быть получены различные наблюдения аудита, соответственно конкретному применимому стандарту.

Предложенная методика использует количественные метрики оценки уровня безопасности АК с целью представления этой оценки (равно как и представление оценок при моделировании – в хронологическом порядке) для анализа со стороны руководства (см. рисунок 1). Общая оценка результативности ИСМ конкретного промышленного объекта  $P_{ИСМ}$ , определяется по формуле (1):

$$P_{ИСМ} = \sum_{i=1}^{i=k_{ПС}} \alpha_i P_{ПС_i}, \quad (1)$$

где  $P_{ИСМ}$  – Общая оценка результативности по модели ИСМ;  
 $P_{ПС_i}$  – Оценка результативности  $i$ -подсистемы в модели ИСМ;  
 $k_{ПС}$  – Количество подсистем в модели ИСМ.  
 $\alpha_i$  – нормированный коэффициент  $i$ -подсистемы в модели ИСМ.

Заметим, что общая (интегральная) оценка  $P_{ИСМ}$  может учитывать произвольное количество оценок функциональных подсистем. В модели используются шкалы зрелости ИСМ (см. таблицу 1).

Таблица 1. Шкалы зрелости ИСМ

Уровень	Степень зрелости ИСМ	Основные характеристики ИСМ	Значение $R_{ИСМ}$
0	Отсутствует	Реализация отдельных требований	$0,1 \geq R_{ИСМ} > 0$
1	Определенная	Реализация всех требований СМ ИСМ документирована	$0,25 \geq R_{ИСМ} > 0,1$
2	Управляемая	ИСМ документирована Поддерживается цикл PDCA	$0,5 \geq R_{ИСМ} > 0,25$
3	Установленная	Реализация всех требований в ИСМ ИСМ сертифицирована	$0,75 \geq R_{ИСМ} > 0,5$
4	Предсказуемая	ИСМ сертифицирована Управление по целям	$0,8 \geq R_{ИСМ} > 0,75$
5	Оптимизируемая	ИСМ прошла 1 цикл сертификации Определены цели улучшения Управление эффективностью	$R_{ИСМ} > 0,8$

Оценка результативности каждой подсистемы  $P_{ПСi}$  в модели ИСМ определяется по формуле (2):

$$P_{ПСi} = \sum_{j=1}^{j=m_{ПСi}} \beta_{ij} A_{ПСi}, \quad (2)$$

где  $P_{ПСi}$  – Оценка результативности  $i$ -подсистемы в модели ИСМ  
 $m_{ПСi}$  – Кол-во атрибутов, учитываемых в  $ПСi$  модели ИСМ  
 $A_{ПСi}$  – Атрибут, учитываемый в  $ПСi$  в модели ИСМ  
 $\beta_{ij}$  – нормированный коэффициент  $j$ -атрибута  $ПСi$  модели ИСМ

В предложенной модели ИСМ предполагается предельное значение для  $R_{ИСМ}$  и каждой  $P_{ПСi}$  равное 1. Также рекомендуется ограничивать максимально  $k_{ПС} \leq 9$  (в формуле 1); т.е. предполагается ограничение конкретных СМ по требованиям стандартов [13–16]) в ИСМ. Это ограничение установлено в методе анализа иерархий (МАИ) Т. Саати [12]; МАИ потребует для определения коэффициентов предпочтения ( $\alpha$  и  $\beta$ ) в формулах (1) и (2). Например, для ИСМ, состоящей из 3 СМ: система менеджмента качества (СМК), система менеджмента информационной безопасности (СМИБ) и система энергоменеджмента (СЭНМ), и учитывающей 3 параметра (кол-во несоответствий  $A_{н/с}$ , степень выполнения целей в ИСМ  $A_{цели}$ , и результативность корректирующих действий  $A_{корр.}$ ) по формулам (2), (1) получаем следующую аналитическую оценку:

$$\begin{aligned} P_{ПС СМК} &= (\beta_{11} A_{н/с} + \beta_{21} A_{цели} + \beta_{31} A_{корр.}), \\ P_{ПС СМИБ} &= (\beta_{12} A_{н/с} + \beta_{22} A_{цели} + \beta_{32} A_{корр.}), \\ P_{ПС СЭНМ} &= (\beta_{13} A_{н/с} + \beta_{23} A_{цели} + \beta_{33} A_{корр.}), \end{aligned}$$

и

$$P_{ИСМ} = \alpha_{1СМК} P_{ПС СМК} + \alpha_{2СМИБ} P_{ПС СМИБ} + \alpha_{3СЭНМ} P_{ПС СЭНМ}.$$

**5. Формирование расширенного набора критериев для аудитов ИСМ.** Известно, что любой комплексный аудит проводится в соответствии с утвержденными критериями [17, 18]. Например, внешний авиационный аудит в АК может проводиться на соответствие требованиям ISAGO [19–21], аудит по требованиям АБ может проводиться на соответствие требованиям Aviation Security Procedure (*Процедура авиационной безопасности*), или Air Carrier Security Program (*Программа безопасности авиане перевозчика*) для международных авиакомпаний, а аудит СМК (СМИБ) – на соответствие требованиям международных стандартов ISO.

Помимо общеизвестных международных стандартов – например, ISO или ISAGO, необходимо предусмотреть расширение базы критериев для проведения комплексных аудитов ИСМ. Таким образом, центральным вопросом становится обеспечение фазы «контроля» (*check*) – в цикле PDCA, который базируется на процессах управления документами и записями в терминах стандартов [13–16]. Это требование также отражено в базовой модели ИСМ (см. рисунок 1). Для планирования аудитов, как уже отмечалось, необходимо определить приоритет критериев аудита – т.е. формирования такого оптимального набора критериев аудита ИСМ (на базе стандартов ISO, ГОСТ и пр.), который позволит наилучшим образом решить поставленную задачу – формирование оценки уровня обеспечения безопасности АК. Совокупность требований, изложенных в представленных выше международных стандартах ISO, рассмотрена в работах [6, 8 9, 17–18]. В данной публикации будут дополнительно рассмотрены требования по безопасности с целью отражения специфики функционирования АК относительно базовой модели аудитов ИСМ (рис. 1). К таким требованиям могут быть отнесены и, соответственно, оценены как метрики функциональных подсистем:

- *Степень документирования требований АБ;*
- *Степень соответствия персонала АК требованиям компетентности в вопросах АБ;*
- *Количество инцидентов в АК (в т.ч. динамика изменения);*
- *Степень технической оснащенности службы АБ в АК;*
- *Количество пресеченных попыток нарушения АБ в АК;*
- *Количество предписаний (замечаний), выданных при внешних проверках АК в части обеспечения АБ.*

**6. Дополнительные нормативные документы ISAGO.** Для целей данной публикации рассмотрены дополнительно нормативные документы [19–21]. Документ «ISAGO Standards Manual Effective

January 2014 3<sup>rd</sup> Edition» [19] содержит 7 секций требований, наибольшее значение имеют следующие секции:

- Секция 2. *Documentation and Records (Документации и записи)*
- Секция 3. *Safety and Quality Management (Менеджмент защиты и качества)*
- Секция 6. *Security Management (Менеджмент безопасности)*

Важное требование по управлению функциями аутсорсинга (стр. 53 [19]) отражает функциональные спецификации ISAGO по получению подтверждений от «провайдеров» по документированию, мониторингу и удовлетворению установленных требований по безопасности и наземному обслуживанию. Это требование соответствующим образом учтено в базовой модели ИСМ (см. рисунок 1, блок аудитов 2-й стороной). Отметим, что в Секции 1 «ORGANIZATION AND MANAGEMENT» присутствуют разделы, например, Management Commitment (*Приверженность руководства*), Management Review (*Анализ со стороны руководства*), Risk Management (Управление риском), соответствующие требованиям стандартов ISO [13–16].

В документе «IATA Reference Manual for Audit Programs (IRM) Effective November 2012 3<sup>rd</sup> Edition» [20] представлены все основные сущности и артефакты процесса проведения аудитов, в том числе – пояснения по требованиям обучения, поддержания записей, формирования отчета по результатам аудитов, требования к квалификации, требования к формированию чек-листов (*checklist*). Обратим внимание на формулировку термина «несоответствие» (*Non-conformity*), как отношение к спецификации, установленной в нормативных документах (в частности, ISARPs / GOSARPs), определенное аудитором в терминах применимых и/или документированных оператором или провайдером.

В документе «ISAGO & IGOM & GDDDB Integrated solution for improved Ground Safety, Joseph Suidan Head of Ground Operations, ULD Care, May 2013» [21] представлены концептуальные пояснения к процессу обеспечения безопасности при наземном обслуживании в методических «разрезах»:

— Что должно быть сделано (подтверждается предоставлением документированных политик, стандартов и руководств по безопасности – для менеджеров);

— Как должно быть сделано (подтверждается предоставлением документированных процедур, инструкций и рабочих карт – для перронного персонала).

В документе также изложены спецификации к «сообществу аудиторов ISAGO» (*ISAGO Audit Pool Membership*), которое проводит аудиты на объектах АК (*station audits*) на ежегодной основе и обеспечивает свободный доступ к отчетам уже выполненных аудитов. Всего ISAGO Audit Pool включает 38 авиакомпаний (на дату публикации [21]), среди которых «Аэрофлот». В системе аудитов ISAGO для наземных служб (*Ground Service Providers*) принят 2-х летний цикл аудитов (в отличие от 3-х летнего цикла, принятого в системе ISO [4]). Особенностью является цикл постоянного улучшения, реализованный на базе отраслевых требований (в т.ч. ISAGO), которому отводится важная роль – верификация через процесс аудита. Эта особенность представляется крайне важной для целей данной публикации, т.к. цикл PDCA, применимый в стандартах ISO включает фазу постоянного улучшения и содержит требование – проведение периодических и независимых аудитов. На рисунке 2 показан пример цикла постоянного улучшения, принятый в IATA, на котором отражены все 4 фазы, специфицированные по соответствующим стандартам. Этот цикл соответствует в целом циклу PDCA, принятому в качестве методологии для всех стандартов ISO. В частности, фазе «*Check*» (в цикле PDCA) соответствует фаза «*Verification*» (в цикле IATA) и определен стандарт ISAGO.



Рис. 2. Цикл постоянного улучшения IATA

В обоих рассматриваемых циклах на этой фазе выполняется аудит, центральной задачей которого является выявление фактов, свидетельствующих о степени выполнении установленных критериев аудита (например, стандартов ISO или стандарта ISAGO), т.е. оценка применительно к исследуемым процессам АК.

**7. Дополнительные нормативные документы ГОСТ.** Как показывает практика выполненных проектов [17, 18], только лишь внутренних процедур по управлению документацией и записями недостаточно и этот «дефицит» предполагается покрыть за счет применения дополнительных стандартов. Для темы представленной публикации представляется целесообразным расширить базовый набор критериев (требования стандартов ISO) двумя национальными стандартами ГОСТ – [22] и [23]. Важно отметить, что эти ГОСТ оперируют понятием риска, что точно соответствует концепции современных риск-ориентированных стандартов ISO и, что более важно, позволяют получить модель для формирования численной оценки соответствия множеству требований, применимых для АК.

Положения стандарта [22] могут применяться при формировании модели ИСМ и, соответственно, модель ИСМ для цели проведения аудитов сложных промышленных объектов – АК, дополняется 3-мя аспектами, учитывающими численные оценки в процессе аудита:

- что может выйти из строя (идентификация опасности);
- с какой вероятностью это может произойти (анализ частоты);
- каковы последствия этого события (анализ последствий).

Эти положения точно соответствуют основным требованиям процедуры *Business Impact Analyses*, указанным в стандарте [16] и процедуры *Information security risk assessment*, указанной в стандарте [14]. Кроме того, в [22] (п. 4.1) содержится важное методическое требование – *«необходимым требованием является скрупулезное знание системы и используемых методов анализа. В том случае, если имеются результаты анализа риска для похожей системы, они могут быть использованы в качестве справочного материала»*. Далее, в [22] (п. 4.4.1) отмечается, что *«Анализ частот используется для оценки вероятности каждого нежелательного события, идентифицированного на стадии идентификации опасности»*. Следующий важный элемент в [22] – прямое указание в п. 6.3 в таблице 2 *«Перечень дополнительных методов, используемых при анализе риска»* на применение метода парных сравнений, который реализуется как способ оценки и ранжирования совокупности рисков путем попарного сравнения; отметим, что требования [22] весьма логично и органично дополняют подходы к оценке принятия решений по методу анализа иерархий (метод Т. Саати), который применяется, в том числе и для оценок СМИБ и ИСМ [17, 18].

В [23] предложены важные определения, которые расширяют методическую область предложенной модели ИСМ для оценки АК, по сравнению, например с [14]. Рассмотрим 3 определения:

— *безопасность защищаемого объекта*: Состояние защищенности объекта от угроз причинения ущерба (вреда) жизни или здоровью людей; имуществу физических или юридических лиц; государственному или муниципальному имуществу; техническому состоянию, инфраструктуре жизнеобеспечения; окружающей природной среде (п. 3.1 [23]);

— *латентность защищаемого объекта*: Скрытые, не поддающиеся непосредственному измерению свойства и особенности объекта, определяющие условия его комплексной защиты и потенциально опасные последствия от возникновения угрожающей или чрезвычайной ситуации на объекте (п. 3.9 [23]);

— *латентность фактора угрозы нанесения ущерба (вреда) защищаемому объекту*: Свойства и особенности фактора угрозы защищаемому объекту, трудно поддающиеся (или не поддающиеся) своевременному, объективному и достоверному прогнозированию и непосредственному измерению последствий при реализации угрозы (п. 3.10 [23]).

Соответственно, предлагается к изучению объективный параметр, специфицирующий не только вопрос комплексной безопасности промышленного объекта (*защищаемого объекта* – как указано выше), но и формирующий «логическую цепочку» в процессе управления аудитом в АК – выявлению системных закономерностей в ИСМ и, как частный случай аудиторских наблюдений – выявление несоответствий, в том числе, в силу определенных причин «латентного» характера [23], что будет показано далее при анализе документации ИСМ. Весьма важно, что [23] устанавливает (п. 5.3.1) в фазе «Проектирование» необходимость выполнения экспертного обследования объекта, что является по сути, одной из известных техник проведения аудитов [3, 4].

**8. Модель ИСМ для проведения аудитов в АК.** Рассмотренные выше требования (базовые и расширенные) относятся к АК, которые в полной мере могут считаться промышленными объектами критичной инфраструктуры, и которые, во-первых, требуют строгого выполнения комплекса нормативных требований и, во-вторых, требуют периодического контроля как именно выполняются в конкретном АК установленные требования [1, 2, 6, 7, 9]. В аспекте требований аудитов в ИСМ актуален практический вопрос о преимуществе какого-либо критерия (стандарта, требования, регламента и пр.) над иными. В условиях многокритериальных задач, к которым можно отнести и задачу проведения комплексных аудитов ИСМ для АК, необходимо применять специальный, математически обоснованный и достоверный метод. Известно, что МАИ среди методов многокритериальной теории полезности по ориентировочным оценкам уже более 20 лет удерживает

ведущие позиции в применении к решению слабоструктурированных многокритериальных задач [11].

Соответственно, поставленную задачу целесообразно решать на основе базовой модели аудитов ИСМ (см. рисунок 1), дополненной специальным блоком оптимизации (см. рисунок 3) – для целей получения оценки уровня безопасности. С учетом указанных выше особенностей проведения комплексного аудита в АК, центральное внимание должно быть уделено блоку оптимизации модели ИСМ в АК.



Рис. 3 Модель ИСМ для целей аудита АК

Блок оптимизации учитывает («на входе») степень результативности бизнес-процессов АК, и отрабатывает необходимые изменения в модели ИСМ («на выходе»), т.е. позволяет вносить управляющие воздействия (блок оптимизации) в цикле PDCA по каналам обратной связи: от базовой модели ИСМ промышленного объекта – через оценку результативности (степени достижения метрик) – через необходимую оптимизацию и периодический анализ ИСМ со стороны руководства. Поставленная задача решается через оценку результативности (оценку уровня обеспечения безопасности) как для отдельных подсистем ИСМ (формула 2), так и ИСМ (формула 1).

**9. Формирование перечня атрибутов для аудита ИСМ.** Для выполнения результативного аудита АК представляется рациональным формировать перечень атрибутов (т.е., в терминах данной публикации, список требований, которые могут быть проверены и измерены на соответствие критериям – стандартам ISO, ГОСТ и пр.), причем

количество этих критериев может составлять несколько сотен [2]. В качестве базы для создания перечня, может быть взято Приложение Б из [22] «*Примерная схема оценки, идентификации и подтверждения соответствия КСБ и ИСБ защищаемых объектов (ЗО) положениям настоящего стандарта*». Представляется полезным сопоставить указанное выше приложение [22] для стандартов ГОСТ Р ИСО/МЭК 27001 и ГОСТ Р ИСО 9001, данные представлены в таблице 2.

Таблица 2. Пример перечня атрибутов аудита ИСМ

№ пп.	Примеры положений из Приложения Б	ГОСТ Р ИСО 9001	ГОСТ Р ИСО 27001
1	Определяют и документируют классификационную категорию ЗО. Устанавливают: - факторы латентности и угрожающих ОЗ факторов; - характер, стоимость (или значимость без стоимостной оценки), латентные свойства и концентрация защищаемых ценностей; - факторы, определяющие экономическую и неэкономическую ответственности ЗО	6.3 6.4 7.1	4.1 4.2 4.3
2	Проверяют виды служб безопасности ЗО, оценивается наличие на ЗО собственной технической службы.	7.5.1	5.3 7.2
3	Определяют: перечень потенциальных угроз (опасностей), от которых необходимо защищать ЗО; территориальные распределения угроз (опасностей), их потенциал; вероятные ущербы (потери) на ЗО в случае практической реализации отдельных видов угроз или их совокупности.	6.3 6.4	6.1 8.2
4	Осматривают и оценивают контрольные зоны на ЗО с размещением технических средств подсистем.	8.2.2	9.1 9.2
9	Проверяют паспортизацию ЗО (наличие, виды, содержание, условия хранения, каллиграфия, актуализация паспортов).	8.2.2 4.2	7.5 9.2
11	Проверяют наличие на ЗО технических документов (планов, схем, маршрутов, методик тренировок) по эвакуации людей в чрезвычайных обстоятельствах.	5.5.3 4.2	7.3 7.5
14	Экспертно оценивают организацию технического обслуживания (ТО) на ЗО. Проверяют: наличие планов работ; принятые виды и периодичность ТО; квалификацию и техническую оснащенность персонала; ведение документации по ТО.	6.2 6.3 6.4 4.2	6.1 7.1 7.2 7.5
16	Экспертно оценивают проведение технического надзора за состоянием ЗО, ведение журналов регистрации работ, обучение персонала объекта.	7.5 6.2	7.2 8.1

**10. Анализ данных аудитов ИСМ – АК.** В течение 2013-2014 гг. автор принимал участие в проведении аудитов ИСМ в нескольких АК. По всем аудитам группой экспертов были надлежащим образом

оформлены свидетельства аудита, анализ которых позволил выявить закономерности, применение которых позволяет обоснованно подойти к вопросу определения весовых коэффициентов ( $\alpha$  и  $\beta$ ). Для этого важно определить какие замечания (несоответствия) были выявлены в различных службах АК. Основное внимание предлагается уделить количеству несоответствий по «профильным» службам АК, в той или иной мере обеспечивающих безопасность в АК (см. таблицу 3).

Таблица 3. несоответствия при внешнем аудите ИСМ (фрагмент)

Служба	9001	14001	18001	Всего
АС	5	8	8	21
ГСМ	6	3	2	11
САБ	2	3	13	18
СПАСОП	3	9	8	20
ССТ	6	7	5	18
ТТСТО	2	1	11	14
ЭСТОП	3	5	8	16
...	...	...	...	...
<i>Общий итог</i>	<i>101</i>	<i>65</i>	<i>153</i>	<i>319</i>

Группа внешних аудиторов также проверила (2012-2013 гг.) состояние планирования и фактических результатов разработки (актуализации) документации ИСМ в АК (см. таблицу 4). На основе полученных данных, внешние аудиторы зафиксировали объективно улучшение ситуации с разработкой внутренних нормативных документов (ВНД) по плану (81,2% против 5,8% годом ранее) и общим снижением количества вновь разрабатываемых ВНД (149 против 465).

Таблица 4. Разработка ВНД (фрагмент)

Категория ВНД	2012 год			2013 год		
	Всего разработано	По плану	Сверх плана	Всего разработано	По плану	Сверх плана
Методические инструкции	21	14	7	15	10	5
Рабочие инструкции	14	5	9	49	30	19
Должностные инструкции	164		164	77	77	
Инструкции СБ	247		247	2	2	
...	...	...	...	...	...	...
<i>Всего</i>	<i>465</i>	<i>27</i>	<i>438</i>	<i>149</i>	<i>121</i>	<i>25</i>
Доля %	100 %	5,8 %	99,94 %	100 %	81,20%	18,79 %

Отметим резкий «сброс» количества разработанных новых инструкций СБ против общего количества инструкций иных

категорий, что отражает метрику результативности степени документирования конкретной функциональной подсистемы.

Сопоставление данных, полученных внутренними и внешними аудиторами, всегда представляют определенный интерес, т.к. при том же объекте исследования и методах [3–5] получаются расхождения, объективный и беспристрастный анализ которых может улучшить методики аудита, применяемые в конкретной ИСМ (см. таблица 5). В докладе [24], представленном известным международным органом по сертификации DQS предложена оценка ожидаемых несоответствий СМК по разделам стандарта [13].

Таблица 5. Сопоставление данных аудитов

Раздел стандарта ИСО 9001	Данные DQS, %	Данные внутреннего аудита, %	Данные внешнего аудита, %
4.	26	57	45
5.	9	11	11
6.	19	8	17
7.	17	8	21
8.	29	16	6
<i>Всего, %</i>	<i>100</i>	<i>100</i>	<i>100</i>

Результаты, представленные в таблице 5, были получены в ходе сопоставления данных внутренних и внешних аудитов (применительно только к СМК по ISO 9001), а также применения представленных выше оценок DQS.

**11. Пример расчета модели ИСМ для оценки уровня обеспечения безопасности АК.** На основании постановки задачи, расширенной системы критериев (ISAGO и ГОСТ), а также предложенной модели ИСМ для аудитов АК (рисунок 3), представляется возможным выполнить моделирование и определить весовые коэффициенты ( $\alpha$  и  $\beta$ ). Дополнительно при формировании иерархической структуры атрибутов в модели ИСМ для аудитов АК учитываются данные: внешних и внутренних аудитов, о составе документации, внешние требования (IATA, ISAGO) и иные объективные свидетельства. При выполнении расчетов в МАИ применялась программа MPriority версии 1.0 (авторы: Абакаров А.Ш., Сушков Ю.А.). Общая структура модели ИСМ для реализации МАИ – определения коэффициентов ( $\alpha$  и  $\beta$ ) показана на рис. 4. Показан уровень функциональных подсистем; всего в представленной модели 4 уровня иерархии и 5 возможных альтернатив – стандартов ISO и ISAGO (IATA). На рисунке 5. представлен расчет коэффициентов  $\beta$

для одной из функциональной подсистемы: *Avia*, (нормированных к 1 – 0,62; 0,27 и 0,11 соответственно).

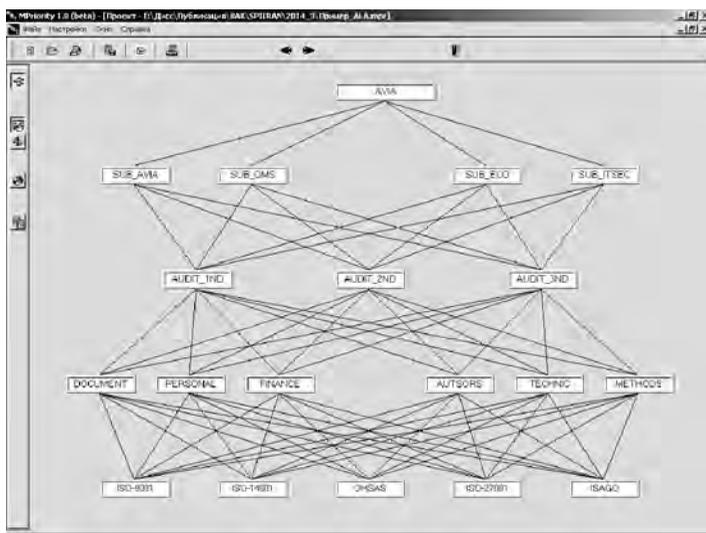


Рис. 4. Общая структура модели ИСМ для реализации МАИ

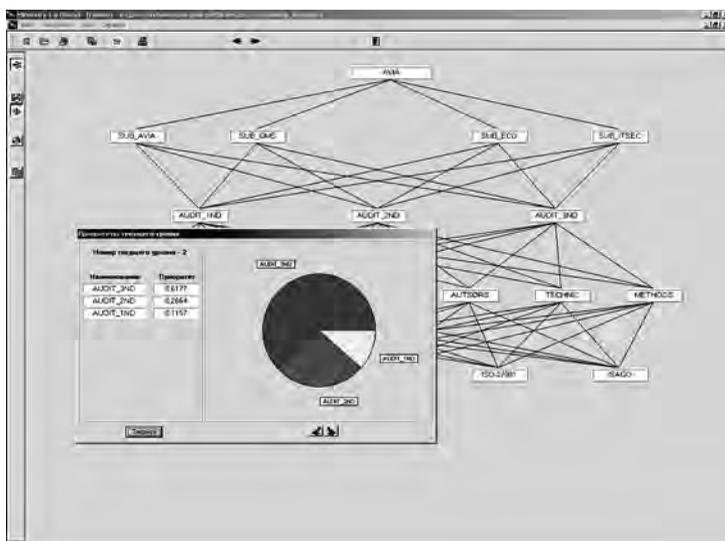


Рис. 5. Расчет коэффициентов  $\beta$  для подсистемы Sub\_Avia

Результат расчета коэффициентов  $\alpha$  для всех функциональных подсистем модели аудитов ИСМ для АК представлен на рисунке 6.

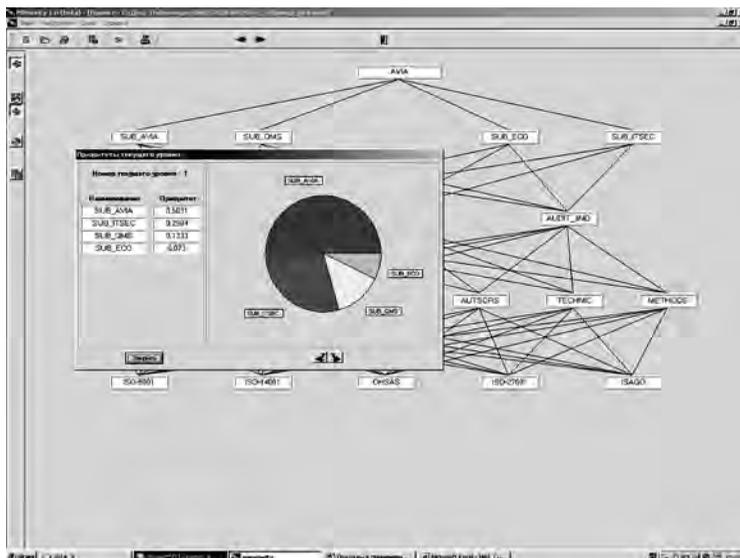


Рис. 6. Расчет коэффициентов  $\alpha$  для подсистем модели ИСМ в АК

С учетом полученных коэффициентов ( $\alpha$  и  $\beta$ ) выполнен расчет по формулам (1) и (2) модели аудитов ИСМ для АК. В модели учтены 4 подсистемы (*Avia*, *QMS*, *ECO*, *ITSec*) и 3 параметра (метрики), агрегированные по различным видам аудитов (*1-ND*, *2-ND*, *3-ND*, соответственно, 1-й, 2-й и 3-й стороной). В силу ограничения объема публикации расчет результативности подсистем по модели ИСМ для АК будет представлен по агрегированным 3-м параметрам:

$$P_{PC\ Avia} = (\beta_{11} A_{1-ND} + \beta_{21} A_{2-ND} + \beta_{31} A_{3-ND});$$

$$P_{PC\ QMS} = (\beta_{12} A_{1-ND} + \beta_{22} A_{2-ND} + \beta_{32} A_{3-ND});$$

$$P_{PC\ ECO} = (\beta_{13} A_{1-ND} + \beta_{23} A_{2-ND} + \beta_{33} A_{3-ND});$$

$$P_{PC\ ITSec} = (\beta_{14} A_{1-ND} + \beta_{24} A_{2-ND} + \beta_{34} A_{3-ND});$$

и

$$P_{ИСМ} = \alpha_{Avia} P_{PC\ Avia} + \alpha_{QMS} P_{PC\ QMS} + \alpha_{ECO} P_{PC\ ECO} + \alpha_{ITSec} P_{PC\ ITSec}.$$

Предположим, что все аудиты 1-й стороной выполнены в срок, выявлены несоответствия по подсистемам *Avia*, *ITSec* и *QMS* (соответственно,  $A_{1-ND}$  равен 0,6; 0,8 и 0,7); по аудитам 2-й стороной в части касающейся АБ есть 4 замечания из 14

авиакомпаний, 1 из 2 повторных предписаний экологического государственного надзора (соответственно,  $A_{2-ND}$  равен 0,88 и 0,5), по аудитам 3-й стороной всего выявлено 7 несоответствий, их них в части касающейся АБ (*Avia*) – 1, в СМК (*QMS*) – 3, в СМИБ (*ITSec*) – 1 и в СЭМ (*ECO*) – 2 (соответственно,  $A_{3-ND}$  равен 0,86; 0,57; 0,71; 0,86).

Получаем по (2):

$$\begin{aligned}P_{PC\ Avia} &= 0,62 * 0,6 + 0,27 * 0,71 + 0,11 * 0,86 = 0,66; \\P_{PC\ QMS} &= 0,62 * 0,8 + 0,27 + 0,11 * 0,57 = 0,83; \\P_{PC\ ECO} &= 0,62 + 0,27 * 0,5 + 0,11 * 0,71 = 0,83; \\P_{PC\ ITSec} &= 0,62 * 0,7 + 0,27 + 0,11 * 0,86 = 0,80;\end{aligned}$$

и получаем по (1):

$$P_{ИСМ} = 0,51*0,66 + 0,13*0,83 + 0,07*0,83 + 0,29*0,80 = 0,73.$$

Общее заключение – модель ИСМ для проведения аудитов АК позволяет получить оценку уровня обеспечения безопасности как расчет результативности по модели ИСМ в целом и для каждой подсистемы отдельно. По Табл. 1 при  $P_{ИСМ} = 0,73$  уровень зрелости равен 4, степень зрелости ИСМ – «Предсказуемая». Применение широкого перечня критериев аудита хорошо укладывается в иерархическую модель ИСМ для реализации в МАИ (например, как альтернативы), а также позволяет определять весовые коэффициенты, необходимые при расчете численных метрик для оценки уровня обеспечения безопасности (текущего или прогнозного).

**12. Заключение.** В результате проведенных исследований были сформулированы следующие выводы:

1. Оценка уровня обеспечения безопасности для сложных промышленных объектов – АК формируется по модели ИСМ для аудитов АК как оценка результативности по множеству возможных критериев МАИ, оцениваемых в процессе комплексного аудита различных видов (1, 2 или 3-й стороной). Мерой оценки результативности в предложенной модели аудитов ИСМ служат метрики (численные оценки), предложенные командой экспертов и утвержденные высшим менеджментом АК.

2. Применение моделей ИСМ для проведения аудитов сложных промышленных объектов – АК способствует получению численных оценок, применимых для формирования обоснованного управленческого решения, направленного на повышение уровня авиационной безопасности, оптимизации существующей системы управления и общей экономической эффективности АК. Представленный пример расчета положительно характеризует адекватность работы экспертов по представленной модели ИСМ для

аудита АК – подтверждена значимость сертификации в ISAGO для конкретного АК, что позволяет существенно снизить количество обязательных внешних аудитов 2-й стороной со стороны авиакомпаний, сократить издержки и повысить репутацию АК в условиях жесткой конкуренции.

3. Входными данными, имеющими наибольшую ценность как при проведении комплексного аудита ИСМ на реальном объекте – АК, являются данные о результатах проведения аудитов всех типов (внутренних и внешних), а также информация о структуре, составе и динамике системы документации. Применение системы единых метрик для оценки «разделяемых» общих процессов СМ в составе ИСМ позволяет обеспечить значительную экономию ресурсов, и обеспечить достоверные и оперативные оценки об уровне безопасности АК на дату проведения оценки.

4. Выходные данные, полученные на основе модели аудитов ИСМ, являются численными, сформированными на основе достоверного известного математического аппарата (МАИ), обладающего встроенными функциями строгой самопроверки. По согласованному мнению экспертов, прошедшего строгие математические проверки на оценку однородности и нарушения транзитивности, требования стандартов ISO значительно уступают по приоритету «профильным» для АК требованиям ISAGO (IATA).

### **Литература**

1. *Корень А.В.* Пути повышения эффективности наземного обслуживания в аэропортах России. Стратегический подход и лучшая практика // 1-я международная конференция «Наземное обслуживание в аэропортах». 2010. URL: <http://www.aex.ru/docs/2/2010/9/22/1160>.
2. *Гущин А.* Система контроля качества аэропортовых услуг как механизм увеличения доли на рынке аэропортового обслуживания и эффективный способ снижения затрат. URL: <http://www.aex.ru/docs/2/2009/9/2/801>.
3. ГОСТ Р ИСО 19011:2011. Руководящие указания по проведению аудитов систем менеджмента // М.: Госстандарт России. 2012.
4. ГОСТ Р ИСО/МЭК 17021:2011. Оценка соответствия. Требования к органам, осуществляющим аудит и сертификацию систем менеджмента // М.: Госстандарт России. 2012.
5. ISO/IEC 27004:2009 Information technology. Security techniques. Information security management. Measurement.
6. *Понов А.В., Семенюк А.П., Еременко Н.В.* Моделирование бизнес-процессов обслуживания пассажиров аэропорта // Радиоелектронні і комп'ютерні системи. 2011. no. 4 (52).
7. *Cook R.* Transforming Airport Business Models. URL: <http://www.forbes.com/sites/wheelsup/2010/09/02/transforming-airport-business-models>.
8. *Frank L.* Business models for airports in a competitive environment. One sky, different stories // Research in Transportation Business & Management. 2011. vol. 1. issue 1. pp. 25–35
9. *Rampersad H. K.* Total Quality Management: An Executive Guide to Continuous Improvement Hardcover // Springer Berlin Heidelberg. 2001

10. PAS-99:2012 «Specification of common management system requirements as a framework for integration».
11. *Лившиц И.И.* Подходы к решению проблемы учета потерь в интегрированных системах менеджмента // Информатизация и Связь. 2013. Вып. 1. С. 55–60
12. *Лившиц И.И.* Применение моделей СМИБ для оценки защищенности интегрированных систем менеджмента // Труды СПИИРАН. 2013. Вып. 8(31). С. 147–163.
13. ГОСТ Р ИСО 9001-2008. Системы менеджмента качества. Требования // М.: Госстандарт России. 2008.
14. ГОСТ Р ИСО/МЭК 27001-2006. Информационная технология. Методы и средства обеспечения безопасности. Системы менеджмента информационной безопасности. Требования // М.: Госстандарт России. 2008.
15. ISO 50001:2011. Energy management systems. Requirements with guidance for use.
16. ISO 22301:2012. Societal security. Business continuity management systems. Requirements.
17. *Лившиц И.И.* Совместное решение задач аудита информационной безопасности и обеспечения доступности информационных систем на основании требований международных стандартов BSI / ISO // Информатизация и Связь. 2013. Вып. 6. С. 48–51.
18. *Лившиц И.И., Танатарова А.Т.* Ценность внутренних аудитов интегрированной системы менеджмента для проведения результативного анализа со стороны руководства // Стандарты и Качество. 2014. Вып. 8. С. 86–88.
19. ISAGO Standards Manual Effective (3rd Edition) // 2014.
20. IATA Reference Manual for Audit Programs (3rd Edition) // 2014.
21. ISAGO & IGOM & GDDB Integrated solution for improved Ground Safety // Joseph Suidan Head of Ground Operations, ULD Care, May 2013;
22. ГОСТ Р 51901.1-2002. Менеджмент риска. Анализ риска технологических систем // М.: Госстандарт России. 2002.
23. ГОСТ Р 53704-2009. Системы безопасности комплексные и интегрированные. Общие технические требования // М.: Госстандарт России. 2009.
24. Макух М. Роль аудита в формировании добавленной стоимости при оценке бизнеса // Международная научно-практическая конференция «Многогранность оценки бизнеса: проблемы и перспективы в условиях формирования наукоемкой экономики. КазЭУ им Т. Рыскулова, Алматы. 2014.

## References

1. Koren' A.V. [Ways to improve the efficiency of ground handling services at airports in Russia. Strategic approach and best practice]. *1-ya konferenciya Nazemnoe obsluzhivanie v aeroportah* [1st International Conference "Ground Handling". 2010. Available at: <http://www.aex.ru/docs/2/2010/9/22/1160>. (In Russ).
2. Gushin A. *Sistema kontrolya kachestva aeroportovyyh uslug kak mechanism uvelichenia doli na rynke aeroportovogo obsluzhivaniya i effektivnyy sposob snizhenia zatrat* [The quality control system of airport services as a mechanism for increasing the market share of airport services and effective way to reduce costs]. Available at: <http://www.aex.ru/docs/2/2009/9/2/801>. (In Russ).
3. ISO19011:2011. [Guidelines for auditing management systems]. М.: Gosstandart Rossii. 2012. (In Russ.).
4. ISO 17021:2011. [Conformity assessment -Requirements for bodies providing audit and certification of management systems]. М.: Gosstandart Rossii. 2012. (In Russ.).
5. ISO/IEC 27004:2009 Information technology. Security techniques. Information security management. Measurement.
6. Popov A.V., Semenyk A.P., Eremenko N. V. [Business process modeling passenger service airport]. *Radioelektronnie i komputernie sistemy – Radio and Computer Systems*. 2011. vol. 4(52). (In Russ).

7. Cook R. Transforming Airport Business Models. Available at: <http://www.forbes.com/sites/wheelsup/2010/09/02/transforming-airport-business-models>.
8. Frank L. Business models for airports in a competitive environment. One sky, different stories. *Research in Transportation Business & Management*. 2011. vol. 1. issue 1. pp. 25–35
9. Rampersad H. K. Total Quality Management: An Executive Guide to Continuous Improvement Hardcover. Springer Berlin Heidelberg, 2001
10. PAS-99:2012 «Specification of common management system requirements as a framework for integration».
11. Livshits I.I. [Approaches to solving the problem of accounting losses in the integrated management system]. *Informatistia i Svyaz' – Informatization and Communication*. 2013. vol. 1. pp 55–60 (In Russ).
12. Livshits I.I. [The use of models to assess the security ISMS integrated management systems]. *Trudy SPIIRAN – SPIIRAS Proceedings*. 2013. vol. 8(31). pp. 147–163 (In Russ).
13. ISO 9001:2008. [Quality management systems. Requirements]. M.: Gosstandart Rossii. 2008. (In Russ.).
14. ISO/IEC 27001:2005. [Information technology. Security techniques. Information security management systems. Requirements]. M.: Gosstandart Rossii. 2008. (In Russ.).
15. ISO 50001:2011. Energy management systems. Requirements with guidance for use.
16. ISO 22301:2012. Societal security. Business continuity management systems. Requirements.
17. Livshitz I.I. [Joint problem solving information security audit and ensure the availability of information systems based on the requirements of international standards BSI / ISO]. *Informatistia i Svyaz' – Informatization and Communication*. 2013. vol. 6. pp. 48–51(In Russ).
18. Livshitz I.I., Tanatarova A. [The value of the internal audit of the integrated management system for effective management review]. *Standarty i Kachestvo – Standards & Quality*. 2014. vol. 8. pp. 86–88. (In Russ).
19. ISAGO Standards Manual Effective (3rd Edition). 2014.
20. IATA Reference Manual for Audit Programs (3rd Edition). 2014.
21. ISAGO & IGOM & GDDB Integrated solution for improved Ground Safety, Joseph Suidan Head of Ground Operations, ULD Care, May 2013;
22. GOST R 51901.1-2002. [Risk management. Risk analysis of technological systems]. M.: Gosstandart Rossii. 2002. (In Russ.).
23. GOST R 53704-2009. [Complex and integrated security systems. General technical requirements]. M.: Gosstandart Rossii. 2009. (In Russ.).
24. Makukh M. [The role of audit in the formation of added value in the assessment of business]. *Mezhdunarodnaja nauchno-prakticheskaja konferencija «Mnogogrannost' ocenki biznesa: problemy i perspektivy v usloviyah formirovaniya naukoemkoj jekonomiki* [International conference «Business assessment: problem and perspectives with forming scientific economy conditions». KazEU named T. Ryskulov. Almaty. 2014. (In Russ).

**Лившиц Илья Иосифович** — к-т техн. наук, ведущий аналитик, ООО "Газинформсервис". Область научных интересов: системный анализ, защита информации, риск-менеджмент. Число научных публикаций — 50. [Livshitz\\_il@hotmail.ru](mailto:Livshitz_il@hotmail.ru); 198188, г. Санкт-Петербург, а/я 35; п.т. +7(812) 677-20-50, факс +7(812) 677-20-51.

**Livshitz Ilya Iosifovich** — Ph.D., lead analyst, LLC "Gasinformservice". Research interests: system analyses, IT-security, risk-management. The number of publications — 50. [Livshitz\\_il@hotmail.ru](mailto:Livshitz_il@hotmail.ru); 198188, Saint-Petersburg, a/ja 35; office phone +7(812) 677-20-50, fax +7(812) 677-20-51.

## РЕФЕРАТ

### **Лившиц И.И. Подходы к применению модели интегрированной системы менеджмента для проведения аудитов сложных промышленных объектов – аэропортовых комплексов.**

Для сложных промышленных объектов, таких как современные аэропортовые комплексы (АК), достаточно актуальным является проблема обеспечения комплексной безопасности. Особенности АК являются, помимо требований авиационной безопасности (АБ), требования безопасности персонала (как собственных работников и пассажиров, так и представителей подрядных организаций), сохранности воздушных судов (ВС), груза и багажа, специального транспорта, а также топливной, светотехнической и инженерной инфраструктуры. Для обеспечения функционирования АК в процессном аспекте применяются комплексные системы управления, в состав которых входят системы менеджмента (СМ), соответствующие различным международным стандартам (ISAGO, ISO, ISO/IEC и пр.).

Соответственно, оптимизация деятельности АК на основе оценок (метрик) и функционирования в целом АК может быть выполнена на базе процедур, присущих всем современным СМ, в единой интегрированной системе менеджмента (ИСМ). Для этих целей необходимо, во-первых, формировать ИСМ на базе современных риск-ориентированных стандартов, а во-вторых, сформировать требования к процессам АК в четких измеримых метриках, и, в-третьих – обеспечить комплексный аудит в АК. Поставленную задачу представляется целесообразным рассмотреть на основе модели ИСМ, дополненной МАИ и специальным блоком оптимизации. В данной публикации дополнительно рассмотрен блок АБ, который, существенно расширяет требования к модели ИСМ с целью отражения специфики функционирования АК.

По представленной модели ИСМ получены результаты расчетов с учетом расширенного состава критериев для АК. По согласованному мнению экспертов, прошедшего строгие математические проверки на оценку однородности и нарушения транзитивности, а также данные внутренних и внешних аудитов, требования стандартов ISO значительно уступают по приоритету «профильным» для АК требованиям ISAGO (IATA). Этот факт положительно характеризует адекватность работы экспертов и представленной модели ИСМ в целом – значимость сертификата ISAGO для конкретного АК, т.к. сертификация позволяет существенно снизить количество обязательных внешних аудитов со стороны авиакомпаний, что позволяет существенно сократить издержки и повысить репутацию АК на рынке в условиях конкуренции.

## SUMMARY

### ***Livshits I.I. Approaches to the Application of the Integrated Management System Model for Carrying out Audits for Complex Industrial Objects – Airport Facilities.***

For complex industrial objects, such as modern airport facilities (AF), is quite relevant is the problem of integrated security. Features of AF are, in addition to the requirements of the aviation service (AS), security personnel (both their own employees and passengers, and representatives of contractors), security of aircraft, cargo and baggage, vehicles, and fuel, lighting and engineering infrastructure. To ensure the functioning of AF in a process aspect involves complex control system, which includes management system (MS), corresponding to different standards, including international (ISAGO, ISO, ISO/IEC and other).

Accordingly, optimization of the activity of AF on the basis of estimates (metric) and functioning as a whole AF can be made on the basis of procedures that are inherent in all modern MS, in a single integrated management system (IMS). For these purposes it is necessary, first, to form the IMS on the basis of modern risk-based standards, and secondly, to establish requirements for processes AF in clear measurable metrics, and, thirdly, to provide a comprehensive audit in AF. The task seems appropriate to consider a model-based IMS, supplemented Analytical Hierarchy Process (AHP) and block special optimization.

This issue further considered block AS, which significantly expands the requirements model IMS to reflect the specifics of AF. According to the presented model IMS results of calculations, taking into account the enlarged criteria for AF. By a consensus of experts, held a strict mathematical test to assess the homogeneity and violations of transitivity, as well as data from internal and external audits, ISO much lower on the priority of "profile" for AF requirements ISAGO (IATA). This fact is a positive indicator of the adequacy of the work of the experts and presents models of the ISM in general – the importance of the ISAGO certificate for a particular AF, because certification can significantly reduce the number of required external audits conducted by the airlines that allows you to significantly reduce costs and increase the reputation of AF on the market in terms of competition.

А.А. КУЗЬКИН  
**МЕТОДИКА ОБЕСПЕЧЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ СТРАТЕГИИ  
РАЗВИТИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В  
ОРГАНИЗАЦИИ**

---

*Кузькин А.А.* **Методика обеспечения устойчивости стратегии развития информационных технологий в организации.**

**Аннотация.** Представлен подход к обеспечению устойчивости стратегии развития информационных технологий в организации, заключающийся в разработке процедуры формирования требований к значениям ключевых показателей эффективности ИТ-процессов на основе балансировки их согласованного влияния на прогнозируемые уровни достижения ИТ-целей с применением методов эволюционных вычислений. Данная процедура осуществлена посредством разработанной методики в три этапа, отличительной особенностью которой является формирование требований к уровням достижения ИТ-целей организации на основе оценок их относительной важности для обеспечения требуемого уровня ИТ-стратегии организации, а также применение высоко робастного генетического алгоритма Холланда с введением в него условий адаптации на основе выделенных контуров влияния на целевые концепты нечеткой когнитивной модели. Результаты применения методики позволяют скорректировать ИТ-стратегию и обеспечить ее устойчивость на заданном интервале планирования, что в перспективе снижает степень рассогласования между текущим и требуемым состоянием ИТ-архитектуры организации.

**Ключевые слова:** эффективность, устойчивость, информационные технологии, ИТ-стратегия, ИТ-цель, ИТ-процесс, ключевой показатель эффективности.

*Kuzkin A.A.* **Technique Providing Stability of Information Technology Development in the Organization.**

**Abstract.** An approach of providing stability of information technology development in the organization is presented. The essence of the approach is to develop the key efficiency index requirements of IT-processes on the base of balancing their influence on predictable levels of achieving IT purposes by using evolutionary computation methods. This procedure is performed by applying three stages of the developed technique. The specific feature of the procedure is to develop requirements of IT-strategy achievement by estimating their relevance in order to provide a required IT-strategy level and highly robust Holland genetic algorithm with introducing adaptation conditions in terms of assigned outlines influencing the target concepts of the fuzzy cognitive model. The results of using the technique are also demonstrated allowing to adjust IT-strategy and ensure its stability in the given interval of planning and decrease the miscoordination degree between current and required IT architecture state in perspective.

**Keywords:** efficiency, stability, information technologies, IT strategy, IT-purposes, IT-process, Key Performance Indicator.

---

**1. Введение.** В современных условиях любая организация использует широкий спектр информационных технологий (ИТ) для решения стоящих перед ней задач. Именно поэтому важным элементом перспективного развития является разработка стратегии развития ИТ в организации (ИТ-стратегия), которая представляет собой стратегиче-

ский план управления развитием ИТ организации, направленный на удовлетворение потребностей бизнеса и достижение поставленных целей (ИТ-целей) по развитию используемых в организации информационных технологий [1].

Оценка эффективности используемых в организации ИТ реализуется в рамках комплексного аудита, неотъемлемой частью которого является аудит ИТ-стратегии. Согласно [2] эффективность ИТ-стратегии определяется степенью достижения ИТ-целей, которые в свою очередь зависят от уровня развития процессов, функционирующих в ИТ-архитектуре организации (ИТ-процессов). Об уровне развития ИТ-процессов можно судить по соответствующим ключевым показателям эффективности (КПЭ).

В ряде работ описаны предложения по общей методике оценки ИТ-стратегии. Так, например, в работе [3] представлены предложения по оценке ИТ-стратегии на основе значения КПЭ ИТ-процессов в подразделении с использованием процедуры нечеткого вывода. Основу работы [4] составляет интеграция системы сбалансированных показателей для ИТ-службы – *IT BSC* и стандарта *COBIT 4.1*, позволяющая получить иерархическую структуру признаков (показателей) оценки эффективности стратегических решений в области ИТ.

Вместе с тем, обращает на себя внимание недостаточная степень проработки подходов к обеспечению устойчивости ИТ-стратегии, под которой будем понимать сохранение значений уровней достижения ИТ-целей относительно требуемого на заданном интервале планирования. Это связано с недостаточной формализацией процедуры, которая позволила бы построить зависимости между КПЭ ИТ-процессов и ИТ-целями, а также большой размерностью решаемой задачи.

**2. Процедура обеспечения устойчивости ИТ-стратегии организации.** Предлагаемый подход к обеспечению устойчивости ИТ-стратегии организации заключается в разработке процедуры формирования требований к значениям КПЭ ИТ-процессов на основе балансировки их согласованного влияния на прогнозируемые уровни достижения ИТ-целей с применением методов эволюционных вычислений. Разработанный подход предполагает учет ограничений на общий объем ИТ-ресурсов, которыми располагает организация.

Функционально процедура обеспечения устойчивости ИТ-стратегии организации в соответствии с [2] может быть представлена в виде последовательного выполнения трех этапов (рисунок 1).

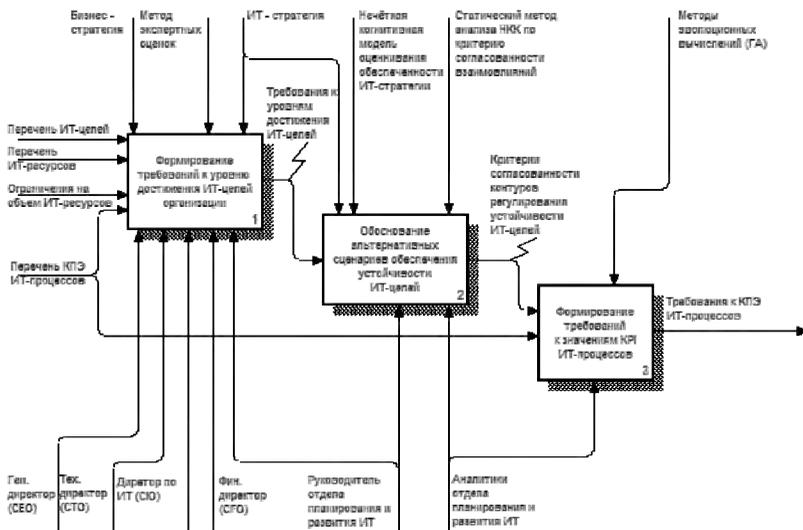


Рис. 1. Функциональная модель процедуры обеспечения устойчивости ИТ-стратегии организации.

Первый этап заключается в формировании требований к уровню достижения ИТ-целей организации. Решение этой задачи включает процедуру ранжирования типовых ИТ-целей по критерию важности и введение ограничений на относительный уровень приращений их значений на заданном интервале планирования для обеспечения управляемости траектории изменения ИТ-стратегии во времени.

Исходными данными являются:

$n$  – число ИТ-целей организации;

$m$  – число видов ИТ-ресурсов, которые задействуются для обеспечения ИТ-целей организации;

$a_{ij}$  – коэффициент, который показывает потребность  $i$ -й ИТ-цели, в  $j$ -м типе ИТ-ресурса для изменения уровня оценки  $i$ -й ИТ-цели на одну условную единицу;

$b_j$  – ограничение на общий объем ИТ-ресурса  $j$ -го типа;

$q_i$  – оценка относительной важности  $i$ -й ИТ-цели для обеспечения требуемого уровня ИТ-стратегии организации;

$x_j$  – управляющие переменные, определяющие оценку  $i$ -й ИТ-цели по  $j$ -му типу ИТ-ресурса в условных единицах.

Задача формирования требований к уровню достижения ИТ-целей организации может быть сформулирована следующим образом: найти план распределения ИТ-ресурсов  $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ , максимизирующий суммарный выигрыш:

$$F(X) = \sum_{i=1}^n \phi_i(x_i). \quad (1)$$

Область допустимых решений определяется ограничениями по типам ресурсов для обеспечения ИТ-целей в организации и условиями не отрицательности управляющих переменных:

$$\begin{cases} a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n \leq b_1, \\ a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2n}x_n \leq b_2, \\ \dots \\ a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \dots + a_{mn}x_n \leq b_m; \\ x_i \geq 0, i = \overline{1, n}, j = \overline{1, m}. \end{cases}, \quad (2)$$

Задача в такой постановке решается известными методами [5, 6]. В самом простейшем частном случае, когда параметр  $q_i$  интерпретируется как доход от достижения  $i$ -й ИТ-цели, можно задать критерий оптимальности и выражение (1) упростить к виду:

$$Q(x_1, x_2, \dots, x_n) = \sum_{i=1}^n q_i x_i \rightarrow \max. \quad (3)$$

Система уравнений (2) содержит  $n$  неизвестных (управляющих переменных) и  $m$  ограничений, не считая условий не отрицательности переменных  $x_i$ .

Для получения решения необходимо произвести параметрическую идентификацию введенных показателей  $a_{ij}$ ,  $q_i$  и  $x_i$ . На этом этапе существенной проблемой является наличие неопределенности, связанной с необходимостью сопоставления с качественным уровнем ИТ-целей количественных значений потребности в ресурсах. Необходимо определить абсолютное значение приращения ресурса для обеспечения качественного уровня ИТ-цели. Решение поставленной задачи определения относительного уровня ресурса для изменения частной оценки ИТ-цели на одну градацию может быть выполнено на основе

построения функций принадлежности, формируемых группой экспертов, и операций над нечеткими множествами.

Оценки относительной важности ИТ-целей  $q_i$  получены с помощью метода анализа иерархий (МАИ), предложенного Т. Саати [7] и позволяющего назначить "веса" конечному набору  $n$  сравниваемых объектов на основе матрицы парных сравнений [8, 9]. В соответствии с МАИ экспертами формируется так называемая матрица парных сравнений  $A$ , а весовой вектор-столбец  $q = (q_1, q_2, \dots, q_n)^T$  вычисляется как собственный вектор этой матрицы, отвечающий максимальному собственному значению. Найденный таким способом вектор  $q$  имеет положительные компоненты и является искомым весовым вектором.

В результате получаем весовые коэффициенты, позволяющие ранжировать перечень ИТ-целей в соответствии с критерием важности для обеспечения ИТ-стратегии. Этот результат определяет приоритет в распределении ресурсов на поддержание ИТ-процессов, которые формируют наиболее значимые ИТ-цели организации.

При этом при решении (3) возникают проблемы, т. к. параметры  $q_i$  не могут быть определены точно. Проанализируем теперь ситуацию, когда решение задачи формулируется в терминах нечеткой математики. Для описания меры неопределенности каждого нечеткого значения оценки  $q_i$  относительной важности  $i$ -й ИТ-цели вводится функция принадлежности  $\mu_i(q_i), i = \overline{1, n}$ . Таким образом, сформулированная выше задача (3) преобразуется к виду нечеткой задачи линейного программирования, решение которой в общем виде сводится к следующему [10, 11].

Выберем некоторый уровень принадлежности  $\delta$  и для всех нечетких параметров задачи  $q_i$  найдем интервалы значений такие, что:

$$\mu_i(q_i) \geq \delta, i = \overline{1, n}. \quad (4)$$

Поскольку функции принадлежности нечетких чисел  $q_i$  – выпуклы вверх, то левые и правые границы интервалов возможных значений  $q_i$ , удовлетворяющих (4), отыскиваются из уравнений, имеющих по два корня:

$$q_i = \mu_i^{-1}(\delta), i = \overline{1, n}. \quad (5)$$

Теперь задача сводится к следующей четкой задаче математического программирования: найти наборы  $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ ,

$Q = (q_1, q_2, \dots, q_n)$ , максимизирующие (3) и удовлетворяющие ограничениям (1), (2) и, кроме того, ограничениям:

$$q_i \in [q_{i\min}(\delta), q_{i\max}(\delta)], \quad (6)$$

где  $\mu_i(q_{i\min}(\delta)) = \mu_i(q_{i\max}(\delta)) = \delta, i = \overline{1, n}$ .

Тогда, если задана задача линейного программирования с целевой функцией (3), которую нужно максимизировать, и ограничениями (2), то ее можно преобразовать к нечеткому виду. В результате чего параметры  $q_i, i = \overline{1, n}$ , целевой функции задаются нечетко своими функциями принадлежности:

$$\mu_i(q_i) = \exp\left\{-\frac{(q_i - \bar{q}_i)}{2\sigma^2}\right\}, i = \overline{1, n}. \quad (7)$$

Требуется найти решение  $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$  задачи (2)-(3), обеспечивающее заданную степень принадлежности получаемого нечеткого значения целевой функции.

Используя подход, предложенный в работе [12] получим численное решение нечеткой задачи линейного программирования с заданным уровнем принадлежности значения целевой функции на оптимальном наборе:

$$x_i^* = \frac{\bar{q}_i / \sigma_i^2}{\sum_{i=1}^n a_i q_i / \sigma_i^2} b, i = \overline{1, n}. \quad (8)$$

**3. Обоснование альтернативных сценариев обеспечения устойчивости ИТ-целей.** Второй этап заключается в обосновании альтернативных сценариев обеспечения устойчивости ИТ-целей. Данный этап призван разрешить проблему наличия множества несогласованных контуров регулирования целевых показателей ИТ-стратегии организации, которые определяются уровнями достижения ИТ-целей. Структурная устойчивость системы может быть установлена путем анализа циклов когнитивной карты [13]. Для этого применяется статический метод анализа когнитивной карты, на основе результатов которого осуществляется формирование базового множества альтернативных сценариев обеспечения устойчивости ИТ-стратегии организации.

Статическое моделирование, в рамках которого производится вычисление и анализ значений целевых показателей ИТ-стратегии организации на заданном интервале планирования, связано с исследованием силы и согласованности взаимовлияний между концептами [14] нечеткой когнитивной модели при условии наличия или отсутствия непосредственной взаимосвязи между концептом и системой. Для решения этой задачи необходимо учесть все опосредованные взаимовлияния концептов друг на друга на основании применения операции нечеткого транзитивного замыкания.

Результатом данной операции является переход, от когнитивной матрицы  $W$  к транзитивно замкнутой матрице  $V$ , элементами которой являются пары  $(v_{ij}, \bar{v}_{ij})$ . На основе матрицы  $V$  могут быть рассчитаны системные показатели полученной нечеткой когнитивной карты. Обозначенная процедура может быть представлена в виде следующего алгоритма.

*Шаг 1.* Оценка влияния (воздействия)  $i$ -го концепта на систему, где под воздействием понимается доминирующее по силе влияние между концептами:

$$\bar{P}_i = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n p_{ij}, \quad (9)$$

$$p_{ij} = \text{sign}(v_{ij} + \bar{v}_{ij}) \max(|v_{ij}|, |\bar{v}_{ij}|), |v_{ij}| \neq |\bar{v}_{ij}|, \quad (10)$$

где  $p_{ij}$  – совокупное влияние (воздействие)  $i$ -го концепта на  $j$ -й,  $v_{ij}$  – сила положительного влияния  $i$ -го концепта на  $j$ -й,  $\bar{v}_{ij}$  – сила отрицательного влияния  $i$ -го концепта на  $j$ -й.

Оценка влияния (воздействия) системы на  $j$ -й концепт:

$$\bar{P}_j = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n p_{ij}. \quad (11)$$

*Шаг 2.* Оценка консонанса влияния  $i$ -го концепта на систему, который выражает меру доверия к знаку и силе воздействия: чем выше консонанс, тем убедительнее мнение:

$$\bar{C}_i = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n c_{ij}, \quad (12)$$

$$c_{ij} = \frac{|v_{ij} + \bar{v}_{ij}|}{|v_{ij}| + |\bar{v}_{ij}|}, \quad (13)$$

где  $c_{ij}$  – совокупное влияния  $i$ -го концепта на  $j$ -й.

Оценка консонанса влияния системы на  $j$ -й концепт:

$$\bar{C}_j = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n c_{ij}. \quad (14)$$

*Шаг 3.* Определение показателей  $\bar{c}_{ij}$ ,  $\bar{p}_{ij}$ ,  $\bar{n}_{ij}$  консонанса взаимного влияния  $i$ -го и  $j$ -го концептов, взаимного положительного и отрицательного влияния:

$$\bar{c}_{ij} = \bar{c}_{ji} = \frac{|(v_{ij} + v_{ji}) + (\bar{v}_{ij} + \bar{v}_{ji})|}{|(v_{ij} + v_{ji})| + |(\bar{v}_{ij} + \bar{v}_{ji})|}, \quad (15)$$

$$\bar{p}_{ij} = \bar{p}_{ji} = S(v_{ij}, v_{ji}), \quad (16)$$

$$\bar{n}_{ij} = \bar{n}_{ji} = -S(|v_{ij}|, |v_{ji}|), \quad (17)$$

где  $S$  – соответствующая  $S$ -норма (операция максимума).

*Шаг 4.* На основе показателей  $\bar{c}_{ij}$ ,  $\bar{p}_{ij}$ ,  $\bar{n}_{ij}$  строятся матрицы  $\bar{C} = \left| \bar{c}_{ij} \right|_{n \times n}$ ,  $\bar{P} = \left| \bar{p}_{ij} \right|_{n \times n}$ ,  $\bar{N} = \left| \bar{n}_{ij} \right|_{n \times n}$ , называемые соответственно когнитивными матрицами совместного консонанса, положительного и отрицательного взаимного влияния.

*Шаг 5.* Выбор типа отношений между концептами и определение критерия среза значений  $\alpha$ . Результатом является бинарная матрица предпочтений классов взаимосвязанных концептов, характеризующих уровень устойчивости ИТ-цели, выбранной для анализа, относительно требуемого. На основе анализа системных показателей и  $\alpha$ -срезов выделяются способствующие и препятствующие концепты, а также степень и достоверность их влияния.

*Шаг 6.* Определение условий генерации альтернатив обеспечения устойчивости, приближающих состояние ИТ-целей к требуемому целевому состоянию, осуществляется путем решения обратной задачи когнитивного моделирования. Альтернатива представляет собой вектор воздействий на управляемые концепты. На остальные концепты осуществляется опосредованное влияние.

Чтобы отнести управляемый концепт  $e_i \in E$  к подмножеству способствующих или препятствующих концептов, необходимо для каждой пары  $e_i \in E_C$  и  $e_i \in E_T$  проверить выполнение следующих условий [15].

1. Управляющий концепт  $e_i$  относится к *способствующим* (*препятствующим*), ЕСЛИ целевой концепт  $e_j$  необходимо *увеличить* (*уменьшить*) И,

–  $p_{ij} \geq p_d$  и  $c_{ij} \geq c$  (концепт  $e_i$  оказывает положительное влияние на концепт  $e_j$  с силой большей или равной  $p_d$ , и консонанс влияния больше или равен  $c$ ) ИЛИ;

–  $\bar{P}_i \geq p_m$  и  $\bar{P}_j \geq p_m$  и  $\bar{C}_i \geq c$  и  $\bar{C}_j \geq c$  (концепт  $e_i$  оказывает положительное влияние на систему с силой, большей или равной  $p_m$ , система оказывает положительное влияние на концепт  $e_j$  с силой, большей или равной  $p_m$ , и консонанс этих влияния больше или равен  $c$ ) ИЛИ;

–  $\bar{P}_i \leq -p_m$  и  $\bar{P}_j \leq -p_m$  и  $\bar{C}_i \geq c$  и  $\bar{C}_j \geq c$  (концепт  $e_i$  оказывает отрицательное влияние на систему с силой, большей или равной  $p_m$ , система оказывает отрицательное влияние на концепт  $e_j$  с силой, большей или равной  $p_m$ , и консонанс этих влияния больше или равен  $c$ ) ИЛИ;

–  $\bar{p}_{ij} \geq p_d$  и  $\bar{c}_{ij} \geq c$  (совместное положительное влияние концептов  $e_i$  и  $e_j$  больше или равно  $p_d$  и консонанс этого влияния больше или равен  $c$ ).

2. Управляющий концепт  $e_i$  относится к *препятствующим* (*способствующим*), ЕСЛИ целевой концепт  $e_j$  необходимо *увеличить* (*уменьшить*) И,

–  $p_{ij} \leq -p_d$  и  $c_{ij} \geq c$  (концепт  $e_i$  оказывает отрицательное влияние на концепт  $e_j$  с силой большей или равной  $p_d$ , и консонанс влияния больше или равен  $c$ );

–  $\bar{P}_i \leq -p_m$  и  $\bar{P}_j \geq p_m$  и  $\bar{C}_i \geq c$  и  $\bar{C}_j \geq c$  (концепт  $e_i$  оказывает отрицательное влияние на систему с силой, большей или равной  $p_m$ , система оказывает положительное влияние на концепт  $e_j$  с силой, большей или равной  $p_m$ , и консонанс этих влияния больше или равен  $c$ );

–  $\bar{P}_i \geq p_m$  и  $\bar{P}_j \leq -p_m$  и  $\bar{C}_i \geq c$  и  $\bar{C}_j \geq c$  (концепт  $e_i$  оказывает положительное влияние на систему с силой, большей или равной  $p_m$ , система оказывает отрицательное влияние на концепт  $e_j$  с силой, большей или равной  $p_m$ , и консонанс этих влияний больше или равен  $c$ );

–  $\bar{n}_{ij} \geq p_d$  и  $\bar{c}_{ij} \geq c$  (совместное отрицательное влияние концептов  $e_i$  и  $e_j$  больше или равно  $p_d$  и консонанс этого влияния больше или равен  $c$ ),

ИНАЧЕ управляющий концепт  $e_i$ , является нейтральным.

*Шаг 7.* Отбор сгенерированных альтернатив выполняется в соответствии с целью, которая задается вектором требуемых значений целевых концептов в процессе динамического моделирования.

Далее из множества базовых альтернатив  $Y$  необходимо выбрать подмножество  $Y_N \in Y$  не доминирующих альтернатив.

Альтернатива  $y_i$  превосходит альтернативу  $y_j$ , если для всех целевых концептов  $e_k \in E_t$  выполняются неравенства:

–  $\Delta e_{it} \geq \Delta e_{jt}$ , где  $\Delta e_{it}$  – изменение значения  $i$ -го концепта, полученное в результате реализации альтернативы  $y_i$ ,  $\Delta e_{jt}$  – изменение значения  $j$ -го концепта, полученное в результате реализации альтернативы  $y_j$ , на заданном интервале планирования  $t$ , и

–  $|y_{ki}| \geq |y_{kj}|$ , где  $y_{ki}$  – уровень управляющего воздействия на  $k$ -й концепт при реализации альтернативы  $y_i$ ,  $y_{kj}$  – управляющее воздействие на  $k$ -й концепт при реализации альтернативы  $y_j$ .

В результате формирования множества недоминирующих альтернатив  $Y_N \in Y$  и множества значений конечных целевых концептов  $e_{it}$  производится выбор доминирующей стратегии обоснования показателей устойчивости ИТ-стратегии.

**4. Решение задачи формирования требований к значениям КПЭ ИТ-процессов.** На третьем этапе методики процесс обеспечения устойчивости ИТ-стратегии организации на заданном интервале планирования представляется в виде решения задачи формирования требований к значениям КПЭ ИТ-процессов, определяющих уровень дос-

тижения частных ИТ-целей как целевых показателей ИТ-стратегии организации.

Решением данной задачи, которая является частным случаем задачи многопараметрической оптимизации, является вектор требований к уровню значений КПЭ ИТ-процессов, который позволит ограничить изменений целевых показателей ИТ-стратегии организации на заданном интервале планирования.

Для формирования требований к значениям КПЭ ИТ-процессов с учетом минимизации отклонений значений ИТ-целей от требуемого значения на заданном интервале планирования применяется высоко робастный генетический алгоритм (ГА) Холланда. Выбор ГА в качестве инструмента решения оптимизационной задачи обусловлен следующими преимуществами:

- ГА оперируют не абсолютными значениями параметров задачи, а закодированными переменными;
- поиск осуществляется не путем улучшения одного решения, а путем использования нескольких альтернатив на заданном множестве решений;
- для оценки качества решения в ГА используется абсолютное значение целевой функции, а не ее приращения;
- применяются вероятностные правила анализа имитационных задач;
- ГА обладает свойством устойчивости к попаданию в локальные оптимумы и эффективно работает при решении задач большой размерности;
- для решения оптимизационной задачи с применением ГА нет ограничений на вид поверхности отклика целевой функции.

Функционирование ГА осуществляется с применением результатов, полученных на первых двух этапах разработанной методики. В качестве условий адаптации для решения рассматриваемой задачи использованы требования к уровню достижения ИТ-целей  $x_i^*$ , сформированные на основе обобщенного показателя обеспеченности ИТ-стратегии, а также выделенные контура влияния на уровни достижения частных ИТ-целей. Применения данных условий позволило сократить вычислительную сложность ГА и получить результат в виде плана требований к значениям КПЭ ИТ-процессов, позволяющего сохранить устойчивость обобщенного показателя обеспеченности ИТ-стратегии организации на заданном интервале планирования.

Суть предлагаемого алгоритма сводится к следующему: имеем  $U = \{u_m\}$  – множество КПЭ ИТ-процессов, комплексно влияющих на

уровни достижения ИТ-целей организации  $L = \{l_n\}$ . Уровень достижения различных ИТ-целей обеспечивается за счет регулирования в рамках множества значений КПЭ ИТ-процессов  $\beta_{mn}(g_k)$ , которые дополнительно характеризуются определенным отношением согласованности и степенью влияния в  $k$ -м контуре регулирования  $n$ -й ИТ-цели.  $G_k = (g_1, g_2, \dots, g_k)$  – множество контуров регулирования ИТ-целями. Объем различных видов ИТ-ресурсов ограничен величиной  $b_j$ .

Начальная популяция в виде плана требований к КПЭ ИТ-процессов  $s_U$  на множестве  $U_m$  для достижения необходимого уровня обеспеченности ИТ-стратегии определяется следующим образом:

$$s_U = \{u_{mn}, \beta_{mn}\}, n = \overline{1, N}, m = \overline{1, M}, \quad (18)$$

где  $u_{mn}$  – идентификатор  $m$ -го КПЭ в контуре регулирования  $n$ -й ИТ-цели;  $\beta_{mn}$  – значение КПЭ в контуре регулирования  $n$ -й ИТ-цели.

Каждый частный план формирования требований к КПЭ ИТ-процессов  $s_U$  должен быть закодировано в форме хромосомы, в каждой из которых хранится  $m$  последовательно расположенных генов, соответствующих идентификатору КПЭ и его значению в контуре регулирования ИТ-цели и представляющих собой набор кортежей  $\langle u_{mn}, \beta_{mn} \rangle$ .

Такая форма представления хромосомы позволяет оставлять значения одного КПЭ, расположенными физически последовательно в памяти после применения оператора мутации. Также за счет непрерывного расположения слотов обеспечивается возможность для генетического оператора скрещивания копировать в дочернюю хромосому за раз непрерывные участки оперативной памяти родительских хромосом, что ускоряет процесс скрещивания.

При применении ГА в качестве критерия оценки пригодности плана формирования требований к КПЭ ИТ-процессов, используется критерий максимизации обобщенного показателя обеспеченности ИТ-стратегии с учетом ограничений на издержки. Критерий применим для оценки интервалов устойчивости ИТ-стратегии, однако есть ряд существенных недостатков при применении его в качестве функции пригодности для поиска плана формирования требований к КПЭ ИТ-процессов.

Наличие стратегий регулирования уровня ИТ-целей, которые включают несогласованные по силе и вектору влияния концептов, затрудняет применение обычной функции аддитивной свертки. Дополнительно учет важности различных ИТ-целей для формирования ИТ-стратегии предполагает введение функции предпочтения при варьировании значений КПЭ, оказывающих несогласованное влияние в рамках различных значений.

Для устранения вышеописанных недостатков предложена функция пригодности, позволяющая определить относительный уровень приращений значений уровней достижения ИТ-целей с учетом важности каждой из них и среднегеометрического значения издержек:

$$F(s_U) = \sqrt[n]{\prod_{j=1}^N \sum_{i=1}^M q_{ij} \gamma_{ij}(\beta_{ij})}, \quad (19)$$

где  $q_{ij}$  – показатель важности отдельной ИТ-цели в расчете обобщенного показателя эффективности ИТ-стратегии;  $\gamma_{ij}$  – функция расчета значений уровней ИТ-целей [16];  $\beta_{ij}$  – значения  $i$ -го КПЭ ИТ-процесса в контуре регулирования  $j$ -й ИТ-цели на заданном интервале планирования;  $n = \overline{1, N}, m = \overline{1, M}$ .

Следующий этап ГА – это отбор особей в соответствии с их функцией пригодности. В классической схеме отбор обычно реализуется с помощью метода "колеса рулетки". Предлагаемая в данной работе процедура отбора позволяет реализовать механизм адаптации параметров алгоритма оптимизации на основе компромисса между скоростью сходимости и качеством получаемого локально-оптимального решения.

Суть предлагаемого механизма адаптации сводится к тому, что вероятность отбора особей гибко меняется в зависимости от предыстории поиска. С этой целью используется нормальный закон распределения вероятности отбора. Математическое ожидание принимается равным значению функции пригодности. Если в очередном поколении произошла смена наилучшей хромосомы, то дисперсия принимает максимальное значение, расширяя тем самым диапазон поиска. Если же на протяжении нескольких поколений более предпочтительная

хромосома не находится, то дисперсия уменьшается, в простейшем случае, пропорционально числу поколений:

$$D = D_{\max} - \varepsilon r, \quad (20)$$

где  $D_{\max}$  – максимальное значение дисперсии;  $\varepsilon$  – коэффициент, определяющий скорость сходимости алгоритма;  $r$  – число "неудачных" поколений.

Математическое ожидание функции распределения равно значению функции  $F_{\max}$ . Случайная величина  $X_i$  является непрерывной, поэтому в отличие от дискретных значений  $F_k$  ( $k = 1, 2, \dots, M$ ) необходимо выбрать такое значение  $F_k$  функции пригодности, расстояние от которого до  $F_{\max}$  было бы наиболее близко к расстоянию от  $X_i$  до  $F_{\max}$ :

$$k = \arg \min \left\| F_{\max} - X_i \right| - \left\| F_{\max} - F_k \right\|. \quad (21)$$

В последующих циклах отбора необходимо исключать из рассмотрения значения функции пригодности, соответствующие особям, уже отобранным на предыдущих циклах. Это обеспечит разнообразие состава популяции.

Оператор кроссинговера применяется по отношению к паре хромосом, прошедших отбор. Точки разрыва выбираются отдельно для каждого участка хромосомы и кроссинговер осуществляется в пределах этих участков.

После осуществления кроссинговера к хромосомам применяется оператор мутации. Было выбрано значение вероятности мутации  $P_{\text{мут}} = 0,1$ . Использование классической схемы мутации в нашем случае неприемлемо, поскольку может приводить к недопустимым вариантам определения параметра КПЭ. В связи с этим предлагается осуществлять мутацию не одного бита, а всего гена, состоящего из  $s$  бит, и кодирующего номер некоторого КПЭ и его значения. Его код заменяется другой допустимой комбинацией с последующей проверкой следующего условия.

Наконец, после кроссинговера и мутации производится отбор хромосом в следующее поколение. В результате получаем популяцию из  $Z$  различных хромосом, являющуюся следующим поколением ГА. Блок-схема разработанного ГА показана на рисунке 2.

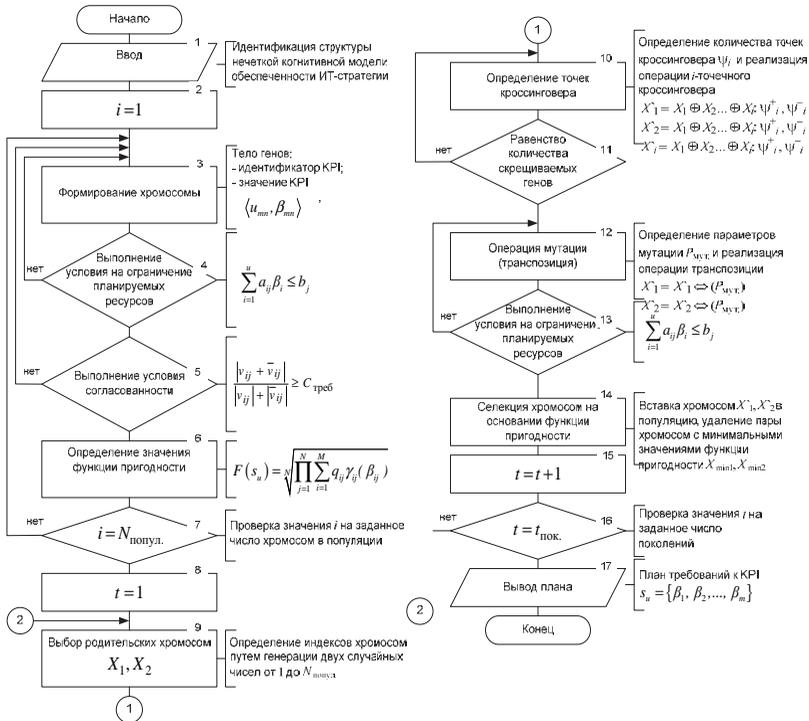


Рис. 2. Структура алгоритма обеспечения устойчивости ИТ-стратегии организации

Предложенный механизм адаптации обеспечивает еще одно преимущество – задает логически обоснованный критерий остановки поиска. Обычно в качестве такого критерия используется либо произвольно заданное число поколений, либо желаемое значение функции пригодности, при достижении которых поиск прекращается. В нашем случае поиск прекращается, если дисперсия уменьшается до такой величины, когда вероятность изменения лучшего из найденных вариантов становится пренебрежимо малой.

**5. Оценка эффективности обеспечения устойчивости ИТ-стратегии организации.** Для проверки результативности разработанной методики был спланирован эксперимент по обеспечению устойчивости ИТ-стратегии в ГК «Навигатор» (г. Орёл). Эксперимент включал в себя четыре шага. Для сравнительной оценки результатов, полученных в рамках проведенного эксперимента, применяется визуализация данных с помощью круговой диаграммы.

Первый шаг эксперимента заключался в обобщении результатов аудита обеспеченности ИТ-стратегии в ГК «Навигатор» в 2012 г. и выполнении первого этапа разработанной методики. В результате чего

были получены значения уровней достижимости ИТ-целей в соответствии с ИТ-стратегией в 2012 г. и требования к ним в виде допустимого диапазона достижимости ИТ-целей с учетом их относительно важности для обеспечения ИТ-стратегии, на диаграмму ему соответствует затемненная область (рисунок 3). Кривая, отображающая полученные результаты аудита, демонстрирует равномерность состояния ИТ-стратегии организации по перечню критических ИТ-целей (таблица).

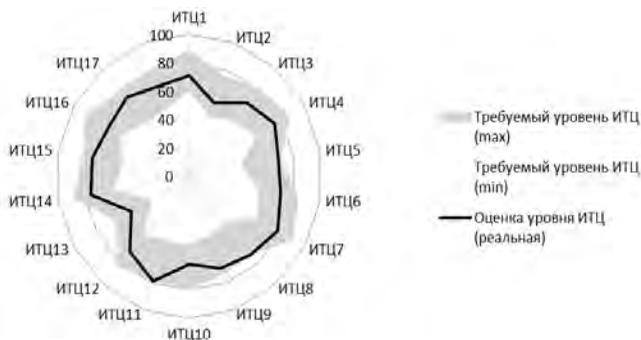


Рис. 3. Анализ устойчивости ИТ-стратегии группы компаний «Навигатор»

Таблица. ИТ-цели ГК «Навигатор»

№ п/п	Наименование ИТ-цели организации	Условное обозначение
1	Соответствие между ИТ и бизнес-стратегиями	ИТЦ1
2	Следование внешнему законодательству и регулирующим требованиями в области ИТ и поддержка бизнес-соответствия	ИТЦ2
3	Лидирующая роль руководства в принятии решений в области ИТ	ИТЦ3
4	Управляемые ИТ-риски	ИТЦ4
5	Получение выгод от инвестиций с использованием ИТ	ИТЦ5
6	Прозрачность ИТ-затрат, выгод и рисков	ИТЦ6
7	Предоставление ИТ-услуг в соответствии с бизнес-требованиями	ИТЦ7
8	Адекватное использование приложений, информации и тех. решений	ИТЦ8
9	Гибкость ИТ	ИТЦ9
10	Безопасность информации, обрабатывающей инфраструктуры и приложений	ИТЦ10
11	Оптимизация ИТ-активов, ресурсов и способностей стратегических решений на основе информации	ИТЦ11
12	Обеспечение работы и поддержка бизнес-процессов, путем интеграции приложений и технологий в бизнес-процессы	ИТЦ12
13	Извлечение выгоды из программ и проектов, выполняемых в рамках сроков, бюджета и соответствующих требованиям и стандартам	ИТЦ13
14	Доступность надежной и нужной информации для принятия решений	ИТЦ14
15	Соблюдение внутренних политик	ИТЦ15
16	Компетентный и мотивированный персонал ИТ	ИТЦ16
17	Знания, экспертиза и инициативность для осуществления бизнес-инноваций	ИТЦ17

На втором шаге на основе нечеткой когнитивной модели оценивания обеспеченности ИТ-стратегии организации [16] были рассчитаны прогнозные значения показателей достижимости ИТ-целей организации, на диаграмме они представлены красным цветом. Полученные значения свидетельствовали о том, что на 12 шаге модельного времени наблюдается существенное рассогласование по перечню критических ИТ-целей (рисунок 4).

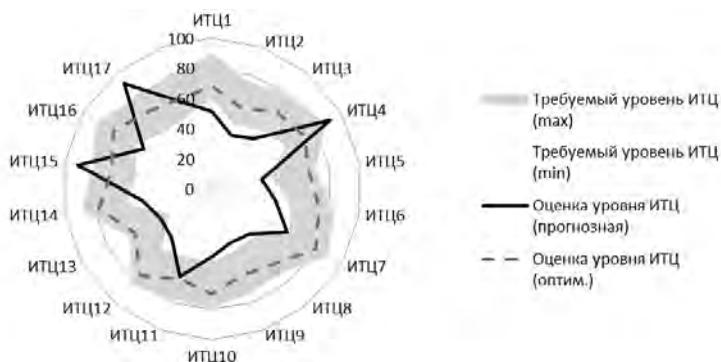


Рис. 4. Анализ устойчивости ИТ-стратегии группы компаний «Навигатор»

На третьем шаге эксперимента было осуществлено выполнение второго этапа методики, позволившего на основе рассчитанных статических показателей нечеткой когнитивной карты выделить замкнутые контура влияния и сформировать доминирующую стратегию обоснования показателей устойчивости ИТ-стратегии.

Третий этап методики явился заключительным шагом эксперимента, в результате которого был получен план требований к значениям КПЭ, выполнение этого плана менеджментом ГК «Навигатор» позволило снять образовавшееся возмущение в системе управления ИТ-архитектурой и обеспечить устойчивость принятой ИТ-стратегии на интервале планирования равном одному году. На диаграмме полученные значения показателей достижимости ИТ-целей после применения методики обеспечения устойчивости ИТ-стратегии организации показаны пунктиром. Можно отметить соответствие оптимизированной ИТ-стратегии организации по достижению требуемого уровня ИТ-целей.

**7. Заключение.** По результатам применения разработанной методики можно сделать вывод о том, что формирование плана по обеспечению требований к значениям КПЭ ИТ-процессов позволяет обеспечить устойчивость ИТ-стратегии организации на заданном интервале планирования, которая в перспективе позволяет снизить степень рассогласования между текущим и требуемым состоянием ИТ-архитектуры организации.

## Литература

1. Груман Г. ИТЛ и стратегия // Журнал «Директор информационной службы». 2007. № 7.
2. COBIT 5rd Edition // COBIT Steering Committee and the IT Governance Institute. 2012. URL: <https://www.isaca.org>.
3. Бегутова Е.В. Оценка эффективности реализации ИТ-стратегии с использованием теории нечетких множеств // Вестник ОГУ. 2012. №8. С.20–26.
4. Кравченко Т.К. Оценка эффективности стратегических решений службы информационных технологий // Бизнес и информатика. 2011. №4, С.16–23.
5. Гурин Л.С. Дымарский Я.С., Меркулов А.Д. Задачи и методы оптимального распределения ресурсов // М.: «Сов. радио». 1968. 420 с.
6. Раскин Л.Г. Анализ сложных систем и элементы теории оптимального управления // М.: «Сов. радио». 1976. 344с.
7. Saaty T.L. Axiomatic foundation of the analytic hierarchy process // Management Science. 1986. vol 32. no. 7. pp. 841–855.
8. Saaty R.W. The analytic hierarchy process: what it is and how it is used? // Mathematical Modeling. 1987. vol. 9. no. 3–5. pp. 161–176.
9. Саати Т.Л., Керс К.П. Аналитическое планирование. Организация систем /пер. с англ. под ред. И. А. Ушакова // М.: Радио и связь. 1991. 244 с.
10. Negoita C.V., Sularia M. On fuzzy mathematical programming and tolerances in planning // ECEESR. 1976. vol. 1. pp. 3–14.
11. Орловский С.А. Проблемы принятия решений при нечеткой исходной информации // М.: Наука. 1984. 206 с.
12. Раскин Л.Г., Серая О.В. Нечеткая математика. Основы теории. Приложения: моногр // Х.: Парус. 2008. 352 с.
13. Горелова Г.В., Захарова Е.Н., Гинис Л.А. Когнитивный анализ и моделирование устойчивого развития социально-экономических систем // Ростов н/Д: Изд-во Рост. ун-та. 2005. 288 с.
14. Силов В.Б. Принятие стратегических решений в нечеткой обстановке // М.: ИНПРО-РЕС. 1995. 228 с.
15. Коростелев Д.А., Лагерев Д.Г., Подвесовский А.Г. Применение нечетких когнитивных моделей для формирования множества альтернатив в задачах принятия решений // Вестник Брянского государственного технического университета. Брянск: БГТУ. 2009. № 4(24) С. 77–85.
16. Кузькин А.А., Смирнов С.В., Семкин С.Н. Оценка обеспеченности ИТ-стратегии организации с применением метода нечёткого когнитивного моделирования // Интернет-журнал «Наукоедение». 2014. № 2(21). URL: <http://naukovedenie.ru/PDF/86TVN214.pdf>.

## References

1. Gruman G. [ITIL and strategy]. *Zhurnal «Direktor informacionnoj sluzhby» – Journal "CIO"*. 2007. vol. 7. (In Russ.).
2. COBIT 5rd Edition. COBIT Steering Committee and the IT Governance Institute. 2012. Available at: <https://www.isaca.org>.
3. Begutova E.V. [Evaluation of the IT strategy of using the theory of fuzzy sets]. *Vestnik OGU – Vestnik OSU*. 2012. vol. 8. pp. 20–26. (In Russ.).
4. Kravchenko T.K. [Estimation of efficiency of strategic decision-making Information Technology Services]. *Biznes i informatika – Business and Computer Science*. 2011. vol. 4. pp. 16–23. (In Russ.).

5. Gurin L.S., Dymarskij Ja.S., Merkulov A.D. *Zadachi i metody optimal'nogo raspredelenija resursov* [Tasks and methods of optimal allocation of resources]. M.: «Sov. radio». 1968. 420 p. (In Russ.).
6. Raskin L.G. *Analiz slozhnyh sistem i jelementy teorii optimal'nogo upravlenija* [Analysis of complex systems and elements of the theory of optimal management]. M.: «Sov. radio». 1976. 344 p. (In Russ.).
7. Saaty T.L. Axiomatic foundation of the analytic hierarchy process. *Management Science*. 1986. vol 32. no. 7. pp. 841–855.
8. Saaty R.W. The analytic hierarchy process: what it is and how it is used?. *Mathematical Modeling*. 1987. vol. 9. no. 3–5. pp. 161–176.
9. Saaty T.L., Kearns K.P. Analytical planning: the organization of systems 1995. 208p. (Russ. ed.: Saati T.L., Keris K.P. *Analiticheskoe planirovanie. Organizacija sistem*. 1991. 244 p.).
10. Negoita C.V., Sularia M. On fuzzy mathematical programming and tolerances in planning. *ECEESR*. 1976. vol. 1. pp. 3–14.
11. Orlovskij S.A. *Problemy prinjatija reshenij pri nechetkoj ishodnoj informacii* [Problems of making decisions at fuzzy initial information]. M.: Nauka, 1984. 206 p. (In Russ.).
12. Raskin L.G., Seraja O.V. *Nechetkaja matematika. Osnovy teorii. Prilozhenija: monogr.* [Fuzzy math. Fundamentals of the theory. Applications: monogr]. H.: Parus. 2008. 352 p. (In Russ.).
13. Gorelova G.V., Zaharova E.N., Ginis L.A. *Kognitivnyj analiz i modelirovanie ustojchivogo razvitiija social'no-jekonomicheskikh sistem* [Cognitive analysis and modeling of sustainable development of socio-economic systems]. Rostov n/D: Izd-vo Rost. un-ta, 2005. 288 p. (In Russ.).
14. Silov V.B. *Prinjatije strategicheskikh reshenij v nechetkoj obstanovke* [Strategic decision-making in a fuzzy environment]. M.: INPRO-RES. 1995. 228 p. (In Russ.).
15. Korostelev D.A., Lagerev D.G., Podvesovskij A.G. [Application of fuzzy cognitive models for the formation of a set of alternatives in decision-making]. *Vestnik Brjanskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta – The Bryansk State University Herald*. Brjansk: BGТУ. 2009. vol. 4(24) pp. 77–85. (In Russ.).
16. Kuz'kin A.A., Smirnov S.V., Semkin S.N. [Evaluation of IT security strategy of the organization using the method of fuzzy cognitive modeling]. *Internet-zhurnal «Naukovedenie» – On-line Journal "Naukovedenie"*. 2014. vol. 2(21). Available at: <http://naukovedenie.ru/PDF/86TVN214.pdf>. (In Russ.).

**Кузькин Александр Александрович** — сотрудник, Академия Федеральной службы охраны Российской Федерации. Область научных интересов: корпоративное управление информационными технологиями. Число научных публикаций — 10. kuzmich313@mail.ru; Приборостроительная, 35, г. Орел, 302034, РФ; р.т. +7(4862)549834, факс +7(4862)541325.

**Kuzkin Alexander Alexandrovich** — employee, Academy of Federal Agency of protection of Russian Federation. Research interests: human-corporate governance of information technology. The number of publications — 10. kuzmich313@mail.ru; Priborostroitelnaya Street, 35, Orel, 302034, Russia; office phone +7(4862)549834, fax +7(4862)541325.

## РЕФЕРАТ

### *Кузькин А.А. Методика обеспечения устойчивости стратегии развития информационных технологий в организации.*

Обеспечение устойчивости стратегии развития информационных технологий в организации может быть достигнуто за счет формирования требований к значениям ключевых показателей эффективности ИТ-процессов на основе балансировки их согласованного влияния на прогнозируемые уровни достижения ИТ-целей.

Во втором разделе статьи представлена функциональная модель процедуры обеспечения устойчивости ИТ-стратегии организации и решена задача формирования требований к уровню достижения ИТ-целей, при этом ее постановка осуществлена в виде задачи линейного программирования, которая была преобразована к нечеткому виду.

В третьем разделе на основе статического анализа нечёткой когнитивной карты обоснованы альтернативные сценарии обеспечения устойчивости ИТ-целей.

В четвертом разделе процесс обеспечения устойчивости ИТ-стратегии организации на заданном интервале планирования представляется в виде решения задачи формирования требований к значениям ключевых показателей эффективности ИТ-процессов, которая является частным случаем задачи многопараметрической оптимизации. Вектор требований к значениям ключевых показателей эффективности ИТ-процессов, который позволит ограничить изменений целевых показателей ИТ-стратегии организации на заданном интервале планирования, находится с помощью высоко робастного генетического алгоритма Холланда.

В пятом разделе осуществлена проверка результативности разработанной методики посредством натурального эксперимента в группе компаний «Навигатор» г. Орёл. Для сравнительной оценки результатов, полученных в рамках проведенного эксперимента, применена визуализация данных с помощью круговой диаграммы.

Представленные результаты апробации указанной методики свидетельствуют о том, что формирование требований к значениям ключевых показателей эффективности ИТ-процессов позволяет обеспечить устойчивость ИТ-стратегии организации на заданном интервале планирования, которая в перспективе позволяет снизить степень рассогласования между текущим и целевым состоянием ИТ-архитектуры организации.

## SUMMARY

### ***Kuzkin A.A. Technique Providing Stability of Information Technology Development in the Organization.***

Providing of information technology development stability in the organization can be achieved by developing the key efficiency index requirements of IT-processes in terms of balancing their influence on predictable levels of achieving IT purposes.

In the second part of the article a functional model of providing IT strategy stability in the organization and a problem of developing requirements of IT-purposes achievement have been solved. The task has been performed by presenting the linear programming converted in the fuzzy type.

In the third part of the article the alternative versions of providing IT purposes stability by using static analysis of the fuzzy cognitive pattern have been substantiated.

In the fourth part a process of providing organization IT strategy stability in the definite interval of planning is presented by developing the key efficiency index requirements of IT-processes being a particular case of solving multivariate optimization problem. The key efficiency index requirements of IT-processes permitting to limit organization IT strategy index in the definite interval of planning are performed by highly robust Holland genetic algorithm.

In the fifth part of the article a developed technique efficiency check through full-scale testing of the Orel company group “Navigator” has been introduced. Data visualization for comparative results evaluation has been applied.

The results of this technique testing shows that the key efficiency index requirements of IT-processes allows to decrease the miscoordination degree between current and required IT architecture state in the organization.

В.М. ШПАКОВ

**ФОРМАЛИЗАЦИЯ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЧЕТКИХ ПРЕДИКАТОВ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ ГИБРИДНЫХ ПРОЦЕССОВ**

*Шпаков В.М. Формализация и использование нечетких предикатов для реализации гибридных процессов.*

**Аннотация.** Рассматривается методика формализации нечетких предикатов совместно с четкими логическими переменными для спецификации нечетких логико-динамических ситуаций и четких логических действий (дискретных команд). Методика основана на представлении четких и нечетких логических переменных с помощью функций принадлежности и на применении правил нечеткого вывода. При этом использовались только формы представления нечетких логических функций пригодные также и для представления четких логических функций. На примерах показана возможность применения рассматриваемой методики для компьютерной реализации гибридных процессов.

**Ключевые слова:** нечеткая логика, представление знаний, обработка знаний, компьютерное моделирование, автоматическое управление.

*Shpakov V.M. Formalization and Use of Fuzzy Predicates for Hybrid Processes Implementation.*

**Abstract.** The technique of formalization of fuzzy predicates together with crisp logical variables for the specification of fuzzy logic-dynamic situations and crisp logical commands is considered. The technique is based on the submission of crisp and fuzzy logic variables by means of membership functions and on the use of fuzzy inference rules. Here we only used the forms of presentation of fuzzy logic functions which are also suitable for presentation of crisp logic functions. By the examples the possibility of using the considered technique for the computer implementation of hybrid processes is shown.

**Keywords:** fuzzy logic, knowledge representation, knowledge processing, computer simulation, automatic control.

**1. Введение.** Функционирование различных (технических, производственных, химических, биофизических и др.) динамических систем может быть представлено совокупностью взаимодействующих гибридных процессов. Потребность в спецификации и компьютерной реализации таких совокупностей процессов или их частей возникает при моделировании указанных систем и при компьютерной реализации систем управления ими [1]. Наиболее перспективным подходом к спецификации и реализации гибридных процессов является, на наш взгляд, транзитивный ситуационный подход, основанный на использовании модели гибридного автомата [2, 3], функции перехода которого задаются трансформационными правилами [4]. При этом создаются множества вещественных  $X$  и логических  $W$  переменных для представления состояний, соответственно, непрерывных и дискретно-событийных составляющих процессов. Среди логических переменных выделяется подмножество независимых внешних воздействий  $V$ , подмножество переменных для представления состояний дискретных

элементов системы и динамики (режимов) изменения непрерывных состояний  $Q$  и подмножество предикатов от состояний непрерывных процессов, то есть  $W = V \cup Q \cup G$ . Среди вещественных переменных выделяются независимые внешние воздействия  $X_i$  и состояния  $X_s$ .

Трансформационные правила определяют транзитивные отношения между значениями текущих состояний процессов и значениями этих состояний через определенный, достаточно короткий промежуток времени. Они представляют собой формализованные знания о развитии процессов. Для спецификации гибридных процессов необходимо иметь совокупность правил трансформации дискретных (логических) состояний, определяющих функцию перехода  $\sigma : W \rightarrow Q$ , и совокупность правил трансформации непрерывных состояний для функции перехода  $\delta : W \times X \rightarrow X_s$ . Текущее состояние непрерывного процесса зависит как от значений некоторых непрерывных состояний, так и от динамики процесса, определяемой логическими переменными из множества  $W$ . Четкие предикаты от непрерывных состояний задаются с помощью неравенств относительно этих переменных.

Трансформационное правило, определяющее функцию перехода  $\sigma$ , имеет следующий вид [4]:

$$S_j \rightarrow q'_1, \dots, q'_j, \dots, q'_m, \text{ где } q'_i \in Q \times \{False, True\}, m \in \{1, \dots, |Q|\}, \quad (1)$$

$$S_j = s_{j_1}, \dots, s_{j_i}, \dots, s_{j_m}, s_{j_i} \in W \times \{False, True\}, m \in \{1, \dots, |W|\}. \quad (2)$$

Условная часть  $S_j$  правила (1) представляет собой элементарную конъюнкцию (2) некоторых логических переменных или их отрицаний. Эта конъюнкция в данном контексте интерпретируется как локальная логико-динамическая ситуация. При реализации процессов обрабатываемая процедура интерпретатора правил последовательно обрабатывает списки правил. В случае истинности конъюнкции из условной части правила всем состояниям из его правой части присваиваются логические значения True. Если в текущем цикле обработки правил нет ни одного правила, которое присваивает некоторому логическому состоянию значение True, то этому состоянию присваивается значение False. Для задания функции перехода  $\delta$  используются правила следующего вида:

$$S_j \rightarrow x'_k = \tau_k(x_k, x), x_k \in X_s, x \in X. \quad (3)$$

Это правило в случае истинности ситуации  $S_j$  запускает процедуру, соответствующую заданному транзитивному отношению  $\tau_k(x_k, x)$ , которая на основании текущих значений непрерывных состояний  $x_k$  и  $x$  вычисляет следующее значение состояния  $x'_k$ .

Подход к спецификации и компьютерной реализации гибридных процессов, основанный на использовании трансформационных правил, экспериментально исследуется в СПИИРАН в течение ряда лет. Было показано, что он может быть эффективно использован при компьютерном моделировании больших промышленных установок [5]. Подход применим в случаях, когда исходные знания о развитии непрерывных процессов представлены в виде обыкновенных дифференциальных уравнений, в форме структурных схем и передаточных функций или в виде физических моделей [6]. При этом знания о логике развития процессов должны быть представлены в виде четких логических функций. Однако при моделировании и разработке систем управления возникает необходимость в использовании нечетких знаний. Существуют два направления использования нечетких знаний [7]. Во-первых, на основании нечетких знаний о законе управления формируются непрерывные управляющие воздействия. Это направление хорошо разработано и широко применяется на практике уже более двух десятилетий. Алгоритм состоит в фазификации непрерывных состояний процессов, использовании нечетких правил вывода и последующим применением дефазификации полученных в результате вывода нечетких значений лингвистических переменных [8]. Этот алгоритм может быть использован для реализации транзитивных отношений  $\tau_k(x_k, x)$  в исполнительных частях правил (3). Пример реализации основанного на правилах (1,3) гибридного закона управления приведен в [9]. Второе направление, получившее пока меньшее распространение, состоит в выработке четких решений на основании нечетких знаний [10]. В данной статье рассматривается методология использования нечетких предикатов для принятия решений при моделировании гибридных процессов с помощью трансформационных правил (1,3).

## **2. Формализация нечетких знаний о состояниях процессов.**

Основным источником неопределенности при спецификации гибридных процессов являются нечеткие утверждения о значениях состояний непрерывных процессов (высокое давление, низкая температура, малое рассогласование и т. п.). Такие утверждения являются нечеткими предикатами от соответствующих непрерывно изменяющихся состояний. Степень их истинности TV (Truth Value) определяется значениями из

интервала  $[0, 1]$ . Состояния дискретно-событийных процессов (включен - выключен, открыт - закрыт) и четкие действия или решения представляются значениями четкой двузначной логики (True, False). Условные части правил (3) определяют четкие действия по изменению состояний непрерывных процессов, поэтому в них могут входить только четкие логические переменные. В условные части правил (1) могут входить как четкие, так и нечеткие логические переменные. Если конъюнкция (2), определяющая текущую ситуацию, наряду с четкими переменными содержит хоть один нечеткий предикат, то она является нечеткой логико-динамической ситуацией. Для удобства обработки этих правил процедурой интерпретатора желательно иметь единообразное представление степеней истинности как четких, так и нечетких логических переменных. Поскольку нечеткая логика является обобщением четкой классической логики, то принятый в ней способ представления степени истинности с помощью функций принадлежности применим также и для четких логических переменных. Очевидно, что функции принадлежности четких переменных имеют ступенчатый вид. Кроме того, также необходимо для вычисления степеней истинности конъюнкций, дизъюнкций и импликаций использовать формулы пригодные как для четких, так и для нечетких логических переменных. Нетрудно видеть, что таковыми являются  $\min$ -конъюнкция,  $\max$ -дизъюнкция и импликация Мамдани [7]:

$$\begin{aligned}
 TV(\tilde{A} \wedge \tilde{B}) &= \min(TV(\tilde{A}), TV(\tilde{B})), \\
 TV(\tilde{A} \vee \tilde{B}) &= \max(TV(\tilde{A}), TV(\tilde{B})), \\
 TV(\tilde{A} \supset \tilde{B}) &= \min(TV(\tilde{A}), TV(\tilde{B})).
 \end{aligned}$$

Эти формулы были использованы для реализации процедуры, обрабатывающей правила (1), при разработке исследовательского прототипа интерпретатора базы правил, содержащей четкие и нечеткие трансформационные правила.

Вторым вопросом, возникающим при реализации указанного интерпретатора правил, является конкретный вид используемых функций принадлежности. Наибольшее применение находят треугольные и трапецидалные функции. Треугольная функция принадлежности может быть задана тремя значениями вещественных чисел  $\{l, c, r\}$ , где  $c$  — значение абсциссы средней вершины, а  $l$  и  $r$  — значения величин отрезков основания треугольника от  $c$  до левой и правой вершины основания, соответственно (рисунок 1).

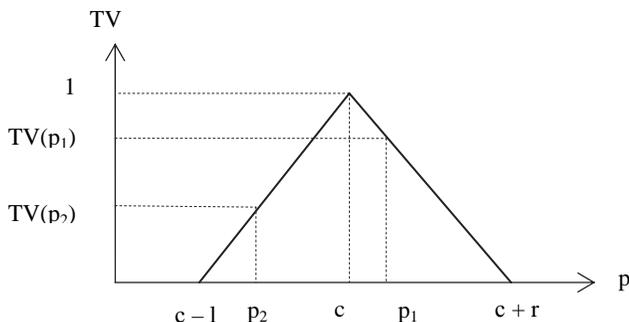


Рис. 1. Задание треугольной функции принадлежности

Вычисление значения степени истинности параметра  $p$  с использованием треугольной функции принадлежности производится следующим образом. Если  $(c-l) < p_2 < c$ , то  $TV(p_2) = \frac{p_2 - c + l}{l}$ . Если  $(c+r) > p_1 > c$ , то  $TV(p_1) = \frac{c + r - p_1}{r}$ . С помощью значений  $\{l, c, r\}$

можно также задавать ступенчатые функции принадлежности в случае четких логических переменных. Для этого надо задать  $c$ , а  $l$  (или  $r$ ) присвоить значение 0 и  $r$  (или  $l$ ) присвоить значение бесконечности. Вместо бесконечности вполне можно использовать одно из имеющихся в компьютере больших чисел (например,  $\text{MaxSingle} = 3,4 \cdot 10^{38}$ ). При этом методическая погрешность вычисления  $TV$  будет пренебрежимо мала. Предикат с трапециoidalной функцией принадлежности можно задать с помощью конъюнкции двух предикатов, имеющих функции принадлежности, показанные на рисунке 2.

Трансформационное правило (1) представляет собой продукционное правило логического вывода *Modus Ponens*, которое на основании истинности конъюнкции посылок (левая часть правила) и истинности импликации позволяет сделать вывод об истинности заключения (правая часть правила), то есть  $p \wedge (p \rightarrow q) \Rightarrow q$ . Таким образом, в случае нечеткого вывода для того, чтобы получить оценку истинности заключения, необходимо знать степень истинности самого правила. В системах нечеткого вывода каждому правилу присваивается коэффициент определенности или уверенности нечеткой продукции  $F$ . Этот коэффициент определяется экспертным путем из интервала  $[0, 1]$  и используется также как оценки истинности условия правила.

Так, если имеем правило  $s_1, s_2 \rightarrow q, F$ , то  $TV(q) = \min(s_1, s_2, F)$ . Если в базе правил имеется несколько правил, определяющих одно и то же заключение, то эти правила образуют друг с другом дизъюнкцию и, следовательно, степени истинности данного заключения необходимо присвоить максимальное из значений, полученных при обработке каждого из этих правил. Описанный алгоритм обработки правил (1) используется в случае, когда с помощью этих правила необходимо определять степень истинности нечетких ситуаций.

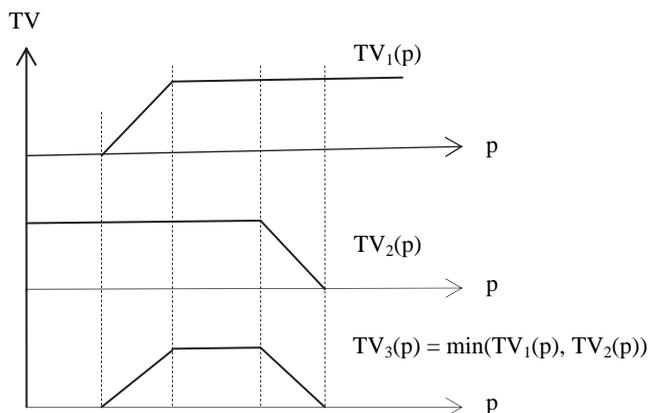


Рис. 2. Формирование трапециевидальной функции принадлежности

Кроме этого, эти правила также используются для формирования четких действий (решений) на основании оценки степени истинности условия. В этом случае правилу также присваивается некоторое значение степени истинности  $F$ , но его смысл и алгоритм использования отличаются от рассмотренного случая оценки истинности ситуаций. В данном случае  $F$  означает пороговое значение истинности условия, при котором считается необходимым принять решение, указанное в исполнительной части правила. Другими словами, если степень истинности условия больше или равна  $F$ , то степени истинности заключения присваивается значение 1.

**2. Иллюстративные примеры использования нечетких предикатов для реализации гибридных процессов.** С целью экспериментальной проверки методов спецификации нечетких предикатов и использования правил нечеткого логического вывода был разработан исследовательский прототип интерпретатора нечетких трансформационных правил. Это было сделано путем модификации разработанного ранее интерпретатора четких правил [11]. При этом из соображений

большей надежности реализации процедур для оценок степени истинности TV логических переменных использовался не принятый в теории интервал вещественных чисел  $[0, 1]$ , а интервал целых положительных чисел  $[0, 1000]$ . Помимо базы правил трансформации нечетких ситуаций была введена база нечетких правил трансформации четких действий и разработаны процедуры обработки соответствующих правил. При обработке правил трансформации ситуаций и действий реализовано следующее условие. Если в ходе данного цикла обработки правил нет ни одного правила, присваивающего некоторой переменной определенное значение степени истинности, то ей присваивается наименьшее значение, то есть 0. Это означает, что отсутствие конкретного значения переменной трактуется как полное ее отрицание. Применение такого условия “по умолчанию” позволяет упростить разработку непротиворечивых баз правил. Рассматриваемые далее модели процессов были реализованы с помощью этого интерпретатора. Используемые трансформационные правила и процедуры спецификации нечетких предикатов представлены в форматах редакторов интерпретатора.

**2.1. Процесс управления уровнем жидкости.** Система состоит из емкости, впускного и выпускного клапанов. В исходном состоянии имеется некоторый уровень жидкости. Выпускной клапан всегда открыт, поэтому уровень понижается со скоростью пропорциональной уровню. Когда уровень достигает некоторого низкого значения, открывается впускной клапан. Скорость поступления жидкости постоянна и превышает скорость вытекания. Поэтому уровень повышается. Когда уровень достигает некоторого высокого значения, впускной клапан закрывается, и процесс изменения уровня повторяется. Для спецификации этой модели процессов надо ввести непрерывную переменную для представления уровня (*Уровень  $L$* ), задать скорость повышения уровня за счет открытого впускного клапана (*Скорость  $V$* ) и коэффициент пропорциональности между величиной уровня и скоростью его понижения за счет открытого выпускного клапана. Необходимо ввести логическую переменную для представления состояния впускного клапана (*Вх. клапан открыт*) и нечеткие предикаты (*Низкий уровень*) и (*Высокий уровень*). На рисунке 3 представлены правила (типа (3)) для реализации изменений уровня. В редакторе правил имя переменной представляется на белом фоне, если используется сама переменная, и — на черном фоне, если используется отрицание переменной.

№	Переменная	Процедура	Коэффициент	Аргумент 1	Аргумент 2	Ситуация
1	Уровень L	Интеграл	1.00	Скорость V		Вх. клапан открыт
2	Уровень L	Интеграл	-0.10	Уровень L		Ever True

Рис. 3. Правила спецификации процесса изменения уровня

Первое правило определяет повышение уровня со скоростью *Скорость V* в ситуации, когда открыт впускной клапан. Второе правило обуславливает понижение уровня со скоростью пропорциональной уровню. Оно срабатывает всегда, так как EverTrue обозначает логическую константу, имеющую значение True (в нашем интерпретаторе  $TV(EverTrue) = 1000$ ). Очевидно, когда впускной клапан открыт состояние уровня определяется обоими правилами. Нечеткие предикаты заданы функциями принадлежности, представленными на рисунке 4.

№	Предикат	Аргумент 1	< / >	Левое значение (-)	Аргумент 2	+	Константа	Правое значение (+)
1	Низкий уровень	Уровень L	<	3.400000000E+0038		+	100.00	30.00
2	Высокий уровень	Уровень L	>	30.00		+	300.00	3.400000000E+0038

Рис. 4. Спецификация нечетких предикатов системы управления уровнем

В соответствие с этими функциями  $TV(\text{Низкий уровень}) = 1000$  при значениях уровня от 0 до 100 и  $TV(\text{Низкий уровень}) = 0$  при уровне больше 130. В свою очередь  $TV(\text{Высокий уровень}) = 0$  при изменении уровня от 0 до 270 и  $TV(\text{Высокий уровень}) = 1000$  при значениях *Уровень L* = 300 и выше.

Задача управления состоит в том, чтобы открывать впускной клапан, когда уровень низкий и закрывать его, когда уровень высокий. Текущая ситуация в системе определяется значениями двух нечетких предикатов и состоянием впускного клапана, которое представляется значениями четкой логической переменной *Вх. клапан открыт*. На рисунке 5 приведены правила управления впускным клапаном. Условные части правил содержат по одной четкой и одной нечеткой переменной. Черный фон имени переменной на рисунке обозначает отрицание этой переменной.

1	если	$TV \geq$	1000	Низкий уровень	<b>Вх. клапан открыт</b>
	то	$TV =$	1000	Вх. клапан открыт	
2	если	$TV \geq$	1	Вх. клапан открыт	<b>Высокий уровень</b>
	то	$TV =$	1000	Вх. клапан открыт	

Рис. 5. Правила спецификации действий системы управления уровнем

Первое правило специфицирует ситуацию, при которой клапан должен быть открыт. При указанном значении TV этого правила клапан откроется, когда  $TV(\text{Низкий уровень}) = 1000$ , то есть в соответствие со своей функцией принадлежности, когда *Уровень*  $L = 100$ . При открытии клапана уровень начинает повышаться, и первое правило перестает срабатывать. Одновременно с этим начинает срабатывать второе. Это правило определяет открытие клапана до тех пор, пока степень истинности отрицания предиката *Высокий уровень* не достигнет указанного в правиле значения 1. А это произойдет тогда, когда степень истинности самого предиката будет равна 999, то есть, когда *Уровень*  $L \approx 300$ . При этом ни одно из правил не будет срабатывать и в соответствие с принятым правилом (по умолчанию) степени истинности четкой переменной *Вх. клапан открыт* будет присвоено значение 0, что соответствует закрытию клапана. На рисунке 6 приведен график процесса, специфицированного рассмотренными правилами.

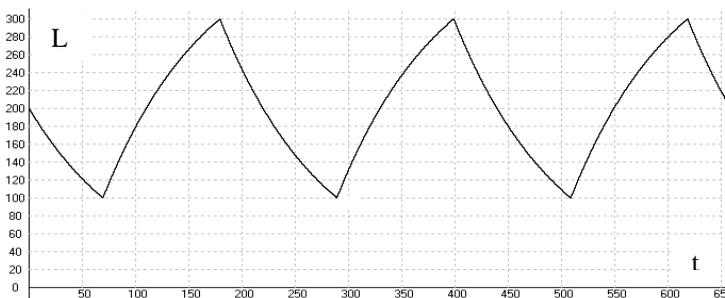


Рис. 6. График процесса управления уровнем

Процесс представлен отрезками экспонент, так как в обоих случаях скорость изменения уровня пропорциональна уровню. В данном простом случае по характеру функций принадлежности предикатов нетрудно заключить, что при изменении TV правил (рис 5) от 1 до 1000, уровень, при котором открывается клапан, будет изменяться от 100 до 130, а уровень, при котором он закрывается, будет изменяться от 270 до 300.

**2.2. Процесс позиционирования шарика на плоскости.** Шарик находится на плоскости. Система управления может изменять наклон плоскости вокруг одной оси. Задача состоит в том, чтобы путем управления наклоном плоскости перевести шарик из исходного положения в целевое за минимальное время. Ограничением является максимально допустимый угол наклона плоскости. Дополнительным требованием является отсутствие перерегулирования и колебаний в ус-

тойчивом состоянии. Предполагается, что имеются данные об отклонении и о скорости шарика. Оптимальным по быстродействию в данном случае является релейный закон управления, при котором вначале плоскость наклоняется на максимальный угол в сторону цели, а затем при достижении шариком определенного отклонения наклон плоскости изменяется на максимальный противоположный. Значение этого отклонения  $E_{реле}$  зависит от скорости и угла наклона, а именно,

$$E_{реле} = V^2 / g \cdot \sin(\alpha), \text{ где } g \text{ — ускорение свободного падения, } \alpha \text{ —}$$

угол наклона плоскости. Однако при реализации этого закона в окрестности цели возникают колебания угла наклона плоскости, что недопустимо. Поэтому в некоторой небольшой окрестности цели необходимо переключить релейный закон управления на один из пропорциональных законов, например, на ПИД. Это переключение можно задать с помощью нечеткого предиката *Окрестность цели*. Изменение угла наклона в релейном законе управления реализуется с помощью четких предикатов. На рисунке 7 представлена спецификация предикатов рассматриваемой модели системы.

№	Предикат	Аргумент 1	< / >	Левое значение (-)	Аргумент 2	+	Константа	Правое значение (+)
1	$V > 0$	Скорость	>	0.00		+	0.00	3.400000000E+0038
2	$V < 0$	Скорость	<	3.400000000E+0038		+	0.00	0.00
3	$E > E_{релеP}$	$E = X_{цель} - X$	>	0.00	$E_{реле P}$	+	0.00	3.400000000E+0038
4	$E < E_{релеN}$	$E = X_{цель} - X$	<	3.400000000E+0038	$E_{реле N}$	+	0.00	0.00
5	Отклонение 1	$E = X_{цель} - X$	>	5.00		+	-10.00	3.400000000E+0038
6	Отклонение 2	$E = X_{цель} - X$	<	3.400000000E+0038		+	10.00	5.00

Рис. 7. Задание функций принадлежности предикатов

Первые четыре строки определяют функции принадлежности четких предикатов. Эти предикаты обеспечивают реализацию релейного закона управления в случаях положительного и отрицательного начальных отклонений. Последние две строки определяют функции принадлежности нечетких предикатов для положительной и отрицательной частей окрестности. Ситуация, определяющая окрестность цели, задается конъюнкцией этих нечетких предикатов в соответствии с правилом (1) (рисунк 8).

1 если	Rule TV =	1000	Отклонение 1	Отклонение 2	
то	TV =	min	Окрестность цели		

Рис. 8. Правило формирования ситуации *Окрестность цели*

Рассмотренные предикаты используются в правилах трансформации действий, приведенных на рисунке 9. Условные части первых четырех правил содержат четкие предикаты. Специфицированные этими правилами действия предназначены для реализации релейных изменений угла наклона плоскости. Пятое правило специфицирует действие *ПИД управление*, которое необходимо выполнить в ситуации, когда шарик находится в окрестности цели.

1	если	$TV \geq 800$	$E > \text{ЕрелеP}$	$V > 0$
	то	$TV = 1000$	$U\_NB$	
2	если	$TV \geq 800$	$E > \text{ЕрелеF}$	$V > 0$
	то	$TV = 1000$	$U\_PB$	
3	если	$TV \geq 800$	$E < \text{ЕрелеN}$	$V < 0$
	то	$TV = 1000$	$U\_PB$	
4	если	$TV \geq 800$	$E < \text{ЕрелеN}$	$V < 0$
	то	$TV = 1000$	$U\_NB$	
5	если	$TV \geq 1000$	Окрестность цели	
	то	$TV = 1000$	ПИД управление	

Рис. 9. Правила трансформации действий по управлению углом

И, наконец, на рисунке 10 представлены правила (3), специфицирующие непрерывные изменения состояний модели. Первые четыре правила определяют изменения ускорения, скорости и координаты шарика в соответствие с углом наклона плоскости. Пятое и шестое правила вычисляют значение отклонения, при котором необходимо произвести релейное изменение угла. Седьмое правило производит вычисление текущего отклонения, необходимого для спецификации предикатов (рисунок 7). Восьмое и девятое правила реализуют релейный закон управления, а последнее правило — ПИД закон управления. При запуске рассмотренных правил на исполнение интерпретатором были реализованы процессы изменений угла, скорости и координаты. Графики этих процессов представлены на рисунке 11.

№	Переменная	Процедура	Кoeffициент	Аргумент 1	Аргумент 2	Ситуация
1	$\text{Sin}(\text{yгол})$	Синус	1.00	Угол		Ever True
2	Ускорение	Пропорциональная	-490.50	$\text{Sin}(\text{yгол})$		Ever True
3	Скорость	Интеграл	1.00	Ускорение		Ever True
4	X координата	Интеграл	1.00	Скорость		Ever True
5	Е реле P	Умножение	0.0020387	Скорость	Скорость	Ever True
6	Е реле N	Пропорциональная	-1.00	Е реле P		Ever True
7	$E = X \text{ цель} - X$	Сумма / разность	1.00	X цель	X координата	Ever True
8	Угол	Пропорциональная	1.00	Угол_PB		U_PB
9	Угол	Пропорциональная	1.00	Угол_NB		U_NB
10	Угол	ПИД	-1.00	$E = X \text{ цель} - X$		ПИД управление

Рис. 10. Правила трансформации непрерывных состояний процессов

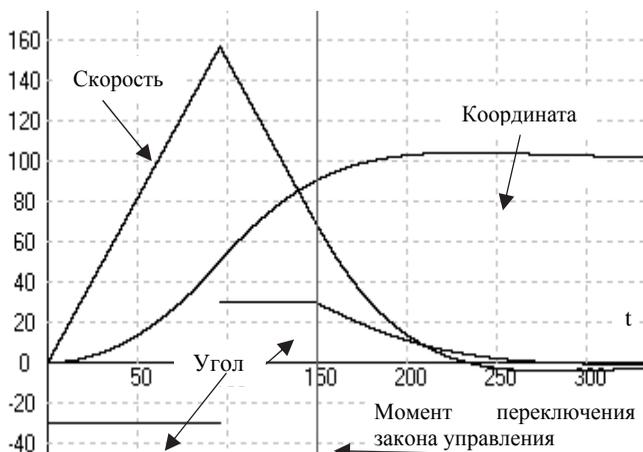


Рис. 11. Графики процессов в системе позиционирования шарика

Из графиков видно, что значение угла наклона плоскости изменяется скачком в соответствие с релейным законом управления до момента переключения на ПИД закон управления, после чего плавно изменяется до нуля. Скорость изменяется в соответствие с изменением угла наклона, а координата — в соответствие со скоростью.

**5. Заключение.** Рассмотрена методология формализации нечетких логико-динамических ситуаций, содержащих как четкие логические переменные, так и нечеткие предикаты от непрерывных состояний процессов. Рассмотрение ограничено случаем использования для спецификации нечетких ситуаций *min*-конъюнкции, *max*-дизъюнкции и импликации Мамдани, а также использованием для спецификации нечетких предикатов треугольных функций принадлежности. Проведенное экспериментальное исследование методики с помощью разработанного интерпретатора нечетких трансформационных правил подтвердило возможность ее практического применения. Рассмотрение примеров моделирования преследовало только цель иллюстрации методики. Практического значения эти модели не имеют. Дальнейшие исследования целесообразно проводить в направлении моделирования биофизических и биохимических систем, в описаниях которых часто присутствует значительное количество нечетких знаний [12].

### Литература

1. *Witsch M., Vogel-Heuser B.* Towards a formal specification framework for manufacturing execution systems // *IEEE Transactions on Industrial Informatics*. 2012. vol. 8. no. 2. pp. 311–320.
2. *Casagrande A., Piazza C., Policriti A.* Discrete Semantics for Hybrid Automata // *Discrete Event Dynamic Systems*. 2009. vol. 19. no. 4. pp. 471–493.

3. *Zhirabok A.N., Suvorov A.Yu., Shumskii A.E.* Robust diagnosis of discrete systems with delay: Logic-dynamical approach // *Journal of Computer and Systems Sciences International*. 2014. vol. 53. no. 1. pp. 47–62.
4. *Шпаков В.М.* Исполняемые спецификации транзитивных моделей технологических процессов // *Мехатроника, автоматизация, управление*. 2004. № 3. С. 38–45.
5. *Буткевич И.К., Рыдник Е. А., Шпаков В. М.* Использование среды EnviCon для моделирования производства жидкого гелия // *Труды СПИИРАН*. 2007. Вып. 5. С. 328–332.
6. *Шпаков В.М.* Об использовании трансформационных правил для компьютерной реализации непрерывных процессов // *Труды СПИИРАН*. 2014. Вып. 33. С. 99–116.
7. *Ross T.J.* *Fuzzy Logic with Engineering Applications (Third Edition)* // John Wiley & Sons. 2010. 585 p. URL: <http://onlinelibrary.wiley.com/book/10.1002/9781119994374>.
8. *Григорьев М.В., Кулькова С.Н.* Нечеткий логический вывод в системе управления беспилотного летательного аппарата // *Журнал Сибирского федерального университета*. 2011. Т. 4. № 1. С. 79–91.
9. *Шпаков В.М.* Пример спецификации гибридного логического закона управления // *Материалы 2-й Российской мультиконференции по проблемам управления*. Мехатроника, автоматизация, управление. С.-Петербург: ГНЦ РФ ЦНИИ «Электронприбор». 2008. С. 133–136.
10. *Verma O.P., Jain V., Gumber R.* Simple fuzzy rule based edge detection // *Journal of Information Processing Systems*. 2013. vol. 9. no. 4. pp. 575–591.
11. *Шпаков В.М.* Прототип среды моделирования структурированных совокупностей взаимодействующих процессов // *Сборник докладов конференции “Имитационное моделирование. Теория и практика”*. Санкт-Петербург. 2005. Т. II. С. 292–295.
12. *Wang Y., Hu X.* Fuzzy reasoning of accident provenance in pervasive healthcare monitoring systems // *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics*. 2013. vol. 17. no. 6. pp. 1015–1022.

## References

1. *Witsch M., Vogel-Heuser B.* Towards a formal specification framework for manufacturing execution systems. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*. 2012. vol. 8. no. 2. pp. 311–320.
2. *Casagrande A., Piazza C., Policriti A.* Discrete Semantics for Hybrid Automata. *Discrete Event Dynamic Systems*. 2009. vol. 19. no. 4. pp. 471–493.
3. *Zhirabok A.N., Suvorov A.Yu., Shumskii A.E.* Robust diagnosis of discrete systems with delay: Logic-dynamical approach. *Journal of Computer and Systems Sciences International*. 2014. vol. 53. no. 1. pp. 47–62.
4. *Shpakov V.M.* [Executable Specifications of production process transitive models]. *Mekhatronika, avtomatizatsiya, upravlenie – Mechatronics, automation, control*. 2004. № 3. С. 38–45. (In Russ.).
5. *Butkevich I.K., Rydник E.A., Shpakov V.M.* [Using environment EnviCon for liquid helium production simulation]. *Trudy SPIIRAN – SPIIRAS Proceedings*. 2007. vol. 5. pp. 328–332.
6. *Shpakov V.M.* [About use of transformation rules for computer implementation of continuous processes]. *Trudy SPIIRAN – SPIIRAS Proceedings*. 2014. vol. 33. pp. 99–116. (In Russ.).
7. *Ross T.J.* *Fuzzy Logic with Engineering Applications (Third Edition)*. John Wiley & Sons. 2010. 585 p. URL: <http://onlinelibrary.wiley.com/book/10.1002/9781119994374>.

8. *Grigorev M.V., Kulkov S.N.* [Fuzzy logical deduction in control system of an unmanned aerial vehicle]. *Zhurnal Sibirskogo federalnogo universiteta – Journal of Siberian Federal University*. 2011. vol. 4. no. 1. pp. 79–91. (In Russ.).
9. *Shpakov V.M.* [An example of hybrid logic control law specification]. *Materialy 2-oy multiconferentsii po problemam upravleniya. Mekhatronika, avtomatizatsiya, upravlenie* [The materials of the 2nd Russian multiconference on control issues. Mechatronics, automation, control]. S.-Peterburg: GNTs RF TsNII “Elektropribor”. 2008. pp. 133–136. (In Russ.).
10. *Verma O.P., Jain V., Gumber R.* Simple fuzzy rule based edge detection. *Journal of Information Processing Systems*. 2013. vol. 9. no. 4. pp. 575–591.
11. *Shpakov V.M.* [Prototype of an environment for interacting processes structured collection simulation]. *Sbornik докладov konferentsii “Imitatsionnoe modelirovanie. Teorija i praktika”* [Conference Proceedings “Simulation. Theory and practice”] St. Petersburg. 2005. vol. II. pp. 292–295. (In Russ.).
12. *Wang Y., Hu X.* Fuzzy reasoning of accident provenance in pervasive healthcare monitoring systems. *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics*. 2013. vol. 17. no. 6. pp. 1015–1022.

**Шпаков Владимир Михайлович** — к-т техн. наук, доцент, старший научный сотрудник, лаборатория интегрированных систем автоматизации Санкт-Петербургского института информатики и автоматизации Российской академии наук (СПИИРАН). Область научных интересов: автоматическое управление, искусственный интеллект, логическое программирование, экспертные системы, поддержка принятия решений. Число научных публикаций — 70. vlad@iias.spb.su; 14-я линия В.О, д. 39, Санкт-Петербург, 199178, РФ; р.т. +7(812)328-8071, факс +7(812)328-4450

**Shpakov Vladimir Michajlovich** — Ph.D., associate professor, senior researcher, laboratory of integrated systems for automation of St. Petersburg Institute for Informatics and Automation of the Russian Academy of Sciences (SPIIRAS). Research interests: automatic control, artificial intelligence, logic programming, expert systems, decision making support. The number of publications — 70. vlad@iias.spb.su; 39, 14-th Line V.O., St. Petersburg, 199178, Russia; office phone +7(812)328-8071, fax +7(812)328-4450

**Поддержка исследований.** Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 12-01-00015-а).

**Acknowledgements.** This research is supported by RFBR (grant #12-01-00015-а).

## РЕФЕРАТ

### ***Шпаков В.М. Формализация и использование нечетких предикатов для реализации гибридных процессов.***

Функционирование многих динамических систем может быть представлено совокупностью взаимодействующих гибридных процессов. Потребность в компьютерной реализации таких совокупностей процессов или их частей возникает при моделировании указанных систем и при компьютерной реализации систем управления ими. В статье рассматривается методика реализации гибридных процессов, основанная на использовании трансформационных правил для спецификации процессов. Методика отличается от описанных ранее тем, что наряду с четкими логическими переменными позволяет использовать нечеткие предикаты для спецификации нечетких логико-динамических ситуаций и четких логических команд (действий, решений).

Методика предполагает спецификацию четких и нечетких логических переменных с помощью треугольных и трапецеидальных функций принадлежности. Показано, что ступенчатые функции принадлежности, необходимые для спецификации четких логических переменных, могут быть представлены с помощью вырожденных треугольных функций, то есть таких, у которых одна из вершин основания треугольника находится в бесконечности. На практике координате такой вершины присваивается очень большое числовое значение. Логические переменные с трапецеидальной функцией принадлежности формируются с помощью конъюнкции переменных, имеющих треугольные функции. Для выполнения необходимых при обработке правил вычислений логических функций предлагается использовать алгоритмы, пригодные для четких и нечетких переменных. Помимо правил трансформации нечетких ситуаций методика предусматривает использование правил, формирующих четкие действия. В этих правилах устанавливается порог истинности. Если степень истинности ситуации в условной части правила превышает заданный порог, то выполняется действие, специфицированное правой частью правила.

Экспериментальное исследование методики было проведено с помощью разработанного интерпретатора трансформационных правил, допускающего использование как четких, так и нечетких логических переменных. В качестве примера приведена спецификация с помощью трансформационных правил системы управления уровнем. Спецификация содержит два нечетких предиката: *Высокий уровень* и *Низкий уровень*. В качестве второго примера рассмотрена спецификация системы позиционирования шарика на плоскости. В спецификации использован нечеткий предикат *Окрестность цели*, имеющий трапецеидальную функцию принадлежности. Этот предикат определяет переключение закона управления углом наклона плоскости при достижении малого отклонения от цели. Проведенное моделирование систем и полученные процессы позволяют сделать вывод о работоспособности рассмотренной методики.

## SUMMARY

### *Shpakov V.M. Formalization and Use of Fuzzy Predicates for Hybrid Processes Implementation.*

The functioning of many dynamic systems can be represented by a set of interacting hybrid processes. The need for computer implementation of such sets of processes or parts thereof occurs when modeling these systems and computer implementation of their control systems. In the article the method of implementation of hybrid processes based on the use of transformation rules for the processes specification are considered. The method differs from previously described by the fact that along with a crisp logical variables, allows the use of fuzzy predicates for the specification of fuzzy logic-dynamic situations and crisp logical commands (actions, decisions).

The technique involves the specification of crisp and fuzzy logical variables using triangular and trapezoidal membership functions. It is shown that the step function facilities required for the specification of crisp logical variables can be represented using degenerate triangular functions, i.e. those in which one of the vertices of the triangle's base is at infinity. In practice, the coordinate of this vertex is assigned a very large numerical value. Logical variables with trapezoidal membership functions are formed using the conjunction of the variables that have triangular functions. To perform when processing rules for computing logical functions is proposed to use algorithms that are suitable for crisp and fuzzy variables. In addition to the transformation rules of fuzzy situations, the technique involves the use of rules, forming crisp actions. A truth threshold of the condition is set in these rules. If the degree of truth of the situation in the conditional part of the rule exceeds the specified threshold, then the action, specified by the right-hand side of the rule is executed.

Experimental research of the method was carried out using the developed interpreter of transformation rules that allow the use of both crisp and fuzzy logic variables. As an example, a specification of level control system by means of transformation rules is presented. The specification contains two fuzzy predicates: *High level* and *Low level*. As a second example, the specification of the system positioning the ball on the plane is considered. In the specification it was used fuzzy predicate *Goal vicinity* having a trapezoidal membership function. This predicate defines the switching of a control law of the plane angle inclination when the ball achieves a small deviation from the target. The systems simulation and the resulting processes allow us to conclude about the efficiency of the techniques considered.

А.А. ТАРАТУХИН, П.Е. ГРИГОРЬЕВ, А.В. ТИШКОВ, Г.А. МУН,  
И.Э. СУЛЕЙМЕНОВ  
**ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ  
ИЗМЕРЕНИЯ ГРАДИЕНТА КОНЦЕНТРАЦИИ ИОНОВ**

---

*Taratukhin A.A., Grigoriev P.E., Tishkov A.V., Mun G.A., Suleimenov I.E.* **Программно-аппаратный комплекс для измерения градиента концентрации ионов.**

**Аннотация.** Ряд актуальных физико-химических задач в области исследования растворов высокомолекулярных соединений и биофизике требует регистрации пространственного распределения низкомолекулярных ионов в режиме реального времени. В данной статье предложено устройство, позволяющее проводить исследования пространственного распределения низкомолекулярных ионов кондуктометрическим методом, основанным на высокочастотном переключении измерительных электродных пар в режиме искусственной бегущей волны. Описаны технические особенности, преимущества и области применения устройства, а также результаты его тестирования.

**Ключевые слова:** кондуктометр, градиент электрической проводимости, пространственное распределение ионов, неравновесные физико-химические системы.

*Taratukhin A.A., Grigoriev P.E., Tishkov A.V., Mun G.A., Suleimenov I.E.* **Software and Hardware System for Gradient of Ion Concentration Measuring.**

**Abstract.** Several topical physicochemical issues in the area of high-molecular compounds and biophysics requires real-time registration of the spatial distribution of low-molecular ions. A device utilizing conductometric method based on high-frequency electrode pairs switching in traveling wave mode is proposed for the spatial distribution of low-molecular ion study. Technical features, advantages and applications of the device is described. Results of device testing are presented.

**Keywords:** conductometer, gradient of electrical conductivity, spatial distribution of ions, nonequilibrium physicochemical system.

---

**1. Введение.** Измерение электропроводимости достаточно часто используется в лабораторных исследованиях химических и биологических растворов. В ряде случаев измерение электропроводимости в отдельной точке раствора не является достаточным. Для последовательного описания кинетики исследуемого процесса необходимо знать пространственное распределение электропроводимости.

Примером, демонстрирующим актуальность разработки кондуктометров рассматриваемого типа, является изучение процессов, протекающих в источниках энергии нового типа, использующих осмотические явления, протекающих в системах на основе полимерных гидрогелей [1]. В таких системах внешнее воздействие (например, изменение температуры) приводит к изменению степени ионизации геля в соответствии с механизмами, описанными в [2-4]. Вследствие эффекта перераспределения концентрации [5-7], изменение плотности заряда сшитой сетки приводит к вариациям концентрации низкомолекулярных ионов над гелем.

Изменение концентрации низкомолекулярных ионов, в свою очередь вызывает локальное изменение осмотического давления, что и делает возможным преобразование тепловой энергии в энергию движения жидкости внутри контура с распределенным осмотическим давлением [1].

Еще один пример, доказывающий актуальность разработки кондуктометров, обеспечивающих регистрацию пространственного распределения электропроводности раствора, связан со специфическими неравновесными процессами, протекающими в растворах термочувствительных полимеров, обнаруженными недавно [8-10]. В некоторых растворах термочувствительных полимеров, при условии возникновения градиента температуры, могут самопроизвольно развиваться волны нового типа [8]. Такие волны, характеризуются, в частности, возникновением неоднородного распределения электропроводности, что позволяет использовать их как основу для новых сенсорных систем [9] и даже источников энергии [10]. Для возникновения колебаний такого рода важную роль играют неочевидные процессы образования различных супрамолекулярных структур [11-13], что служит дополнительным аргументом в пользу разработки нового измерительного оборудования, ориентированного на эти цели.

Для обоснования актуальности разработки кондуктометра рассматриваемого типа можно отметить также необходимость детального изучения явлений переноса протона от геля донора к гелю-акцептору при дистанционном взаимодействии сшитых сеток, которые также были обнаружены сравнительно недавно [14], явлений, протекающих в дисплейных экранях на основе термочувствительных полимеров [15] и т.д.

Для исследования электропроводности растворов различных химических соединений (в том числе, высокомолекулярных) часто применяют кондуктометры. Данные приборы, в особенности выпускаемые серийно, как правило, имеют одну-две пары электродов, что позволяет произвести измерение лишь в одной точке раствора.

Поэтому существующие типы кондуктометров не позволяют решить задачу измерения пространственного градиента электропроводности в полном объеме. Применяемые в лабораторных исследованиях приборы также имеют еще один существенный недостаток – инерционность, что не позволяет их использование в изучении быстро протекающих процессов.

В связи с этим возникла необходимость разработать и изготовить программно-аппаратный комплекс, позволяющий измерять пространственное распределение электропроводности, в котором были бы учтены недостатки, отмеченные выше. Возможности разрабаты-

ваемого комплекса подразумевают также автоматическое измерение быстротечных процессов с погрешностью не более 5-7% и запись результатов в удобном для последующей обработки виде. Прибор должен быть автономным и легким в эксплуатации, иметь минимальные размеры и стоимость, а также возможность подключения к персональному компьютеру по шине USB.

**2. Общие положения комплекса.** Для реализации поставленных задач были проанализированы промышленные образцы различных моделей кондуктометров. Анализ показал отсутствие устройств, позволяющих проводить измерение пространственного градиента кондуктометрическим методом.

Для осуществления измерения градиента электрической проводимости в перечисленных выше целях целесообразно использовать метод прямой кондуктометрии. Предварительные лабораторные тесты показали, что изменение проводимости в тестовых растворах заметно уже на расстояниях порядка 5-10 см. Расстояние между электродами обычно выбирают 1-2 см, то есть для измерения электропроводимости в хорошем разрешении оптимально использовать 9 электродов.

Основное требование, которое предъявляется к кондуктометрической системе рассматриваемого типа, состоит в использовании только одного радиотехнического канала регистрации проводимости для измерений, проводимых в нескольких точках раствора. Это связано, в частности, со значительными трудностями, возникающими при калибровке кондуктометров, особенно при проведении измерений в неравновесных средах. Данное требование удовлетворяется автоматически при использовании радиотехнической схемы, которая состоит из единственного измерительного устройства и набора электродов, последовательно подключающихся к ней с помощью нескольких радиоэлектронных ключей. Условие применимости такой схемы к указанным выше задачам записывается так:

$$T \ll \tau = l/v ,$$

где  $T$  — время подключения измерительного блока к отдельной электродной паре;  $\tau$  — характерное время протекания исследуемых процессов,  $l$  — характерный размер исследуемой системы,  $v$  — характерная скорость движения ионов (0,00045 см/сек для ионов натрия).

На рисунке 1 приведена структурная схема разрабатываемого комплекса.



Рис. 1. Структурная схема комплекса

На рисунке 2 изображена аппаратная часть комплекса.

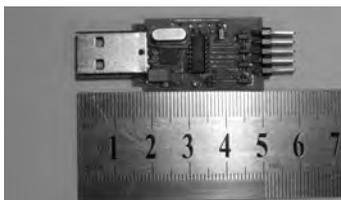


Рис. 2. Аппаратная часть комплекса

Можно выделить четыре блока: связь с ПК, переключение электродов, электроды и блок управления и обработки данных. По своей структуре программно-аппаратный комплекс состоит из двух частей. Принцип действия аппаратной части прибора состоит в следующем. В сосуд с раствором вставляется линейка электродов, состоящая из 9 электродов, равноудаленных друг от друга (рисунок 3).

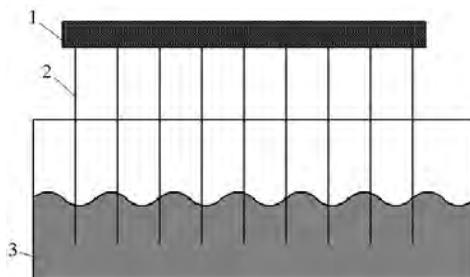


Рис. 3. Расположение электродов. 1 — шина подсоединения электродов, 2 — электроды, 3 — емкость с раствором

Пары электродов поочередно подключаются к генератору импульсного напряжения и устройству, измеряющему падение напряжения на участке между электродами (рабочий объем). Переключение осуществляется в тактируемом режиме с помощью электронных ключей. В первый такт сигнал с генератора подается на 1-й электрод, съем осуществляется со второго; на следующем такте импульсный сигнал подается уже на 2-й электрод, а снимаются данные с 3-го; на третьем

также подключается к генератору 3-й электрод, а 4-й к съемному устройству, и так далее.

Такой режим переключения позволяет использовать один прибор для практически одновременного измерения электропроводности в различных точках пространства, что исключает накопление систематических ошибок. Переключение происходит циклически, т.е. как бы в режиме «бегущей» волны. Каждый электрод одинаковое количество времени имеет положительную и отрицательную амплитуду сигнала с генератора, то есть является электронейтральным, чем исключается какое-либо влияние на раствор и перераспределение концентраций, что позволяет регистрировать пространственное распределение электропроводности при высокой степени синхронизации измерений. Аппаратная часть подключается к персональному компьютеру по шине USB и измеренные данные передаются в специализированную программу.

**3. Электронная схема и программное обеспечение.** Схема программно-аппаратного комплекса приведена на рисунке 4.

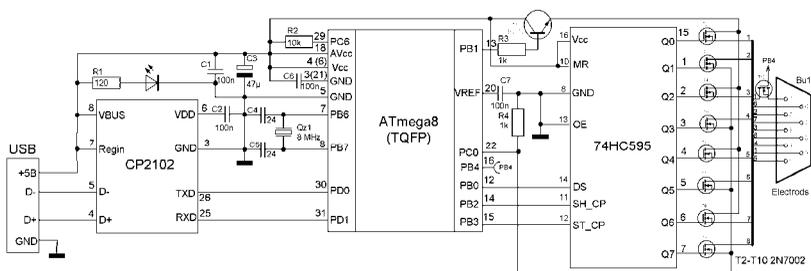


Рис. 4. Схема программно-аппаратного комплекса

Комплекс основан на микроконтроллере ATmega8, в котором программно реализован режим ШИМ (PWM), обладающий базовой частотой 333 Гц. Используется 8-ми битный АЦП (ADC), преобразующий измеряемое напряжение в двоичный код. Схема содержит также блок USART (на схеме – USB), обеспечивающий обмен данными с персональным компьютером. Компонентами схемы также являются микросхема CP2102, представляющая собой преобразователь уровней сигналов USB-UART, микросхема 74HC595 (сдвиговый регистр), служащая совместно с полевыми транзисторами T2-T10 блоком переключения электродов. Микроконтроллер устанавливает на выходах этой микросхемы кодовую последовательность, соответствующую паре электродов необходимую для подключения соответствующего электрода.

Аппаратная часть комплекса тесно связана с программной, так как в схеме отсутствуют кнопки, а все управление производится из про-

граммы. При нажатии соответствующей кнопки в программе она отправляет по каналу USB в микроконтроллер кодовую последовательность, запускающую генератор импульсов, блок переключения электродов и блок съема данных. На микросхеме 74НС595 устанавливается кодовая последовательность, переводящая полевые транзисторы соответствующей пары электродов в открытое состояние. Сигналы ШИМ с вывода РВ1 через полевые транзисторы поступают к электродам, далее проходя через раствор, в зазоре между электродами, происходит падение напряжения, которое фиксируется входом РС0. При помощи АЦП, этот сигнал приобретает кодовую последовательность равную значению этого напряжения и микроконтроллер по каналу USB отправляет его обратно в персональный компьютер. Программа принимает данные, производит вычисление проводимости и записывает результат в таблицу. В этот момент на сдвиговом регистре устанавливается следующая пара электродов. Все повторяется циклично, до тех пор, пока из программы не придет команда запрещающая генерацию импульсов.

Программная часть комплекса была реализована в среде программирования Delphi 7. Снимок экрана программы изображен на рисунке 5.

№	1=2	2=3	3=4	4=5	5=6	6=7	7=8	8=9
1	0,003054054	0,009000000	0,001540383	0,00162711E	0,001767857	0,00142187E	0,00171929E	0,00124637E
2	0,002	0,00689473E	0,00162711E	0,00162711E	0,00198076E	0,00138461E	0,001767857	0,00131343E
3	0,001678571	0,006142857	0,00162711E	0,00158333E	0,00203921E	0,001348484	0,001767857	0,00138461E
4	0,00158620E	0,005818181	0,00167241E	0,00158333E	0,00203921E	0,001348484	0,001767857	0,00142187E
5	0,00154237E	0,005818181	0,00167241E	0,00158333E	0,0021	0,00138461E	0,001818181	0,00142187E
6	0,00154237E	0,00552173E	0,00171929E	0,00158333E	0,0021	0,00138461E	0,001818181	0,001460317
7	0,00154237E	0,00552173E	0,00171929E	0,00158333E	0,0021	0,00138461E	0,001818181	0,001460317
8	0,00154237E	0,00552173E	0,00171929E	0,00158333E	0,0021	0,00138461E	0,001818181	0,001460317
9	0,00154237E	0,00525	0,00171929E	0,00158333E	0,00216328E	0,00138461E	0,00187037E	0,001460317
10	0,0015	0,00525	0,00171929E	0,00158333E	0,00216328E	0,00138461E	0,00187037E	0,001460317
11	0,0015	0,00525	0,00171929E	0,00158333E	0,00216328E	0,00138461E	0,00187037E	0,001460317
12	0,0015	0,00525	0,00171929E	0,00158333E	0,00216328E	0,00142187E	0,00187037E	0,001460317
13	0,0015	0,00525	0,00171929E	0,00158333E	0,00216328E	0,00142187E	0,00187037E	0,001460317
14	0,0015	0,00525	0,00171929E	0,00162711E	0,00216328E	0,00142187E	0,00187037E	0,001460317
15	0,0015	0,00525	0,00171929E	0,00162711E	0,00216328E	0,00142187E	0,00187037E	0,0015
16	0,0015	0,00525	0,00171929E	0,00162711E	0,00216328E	0,00142187E	0,00187037E	0,0015
17	0,00145901E	0,005	0,00171929E	0,00162711E	0,00216328E	0,00142187E	0,00187037E	0,0015
18	0,00145901E	0,005	0,00171929E	0,00162711E	0,00216328E	0,00142187E	0,00187037E	0,0015
19	0,00145901E	0,005	0,00171929E	0,00162711E	0,00216328E	0,00142187E	0,00187037E	0,0015
20	0,00145901E	0,005	0,00171929E	0,00162711E	0,00216328E	0,00142187E	0,00187037E	0,0015

Рис. 5. Снимок экрана программной части комплекса

Программа имеет простой и удобный интерфейс с минимальным количеством необходимых элементов. Для начала работы необходимо в поле Port выбрать виртуальный COM порт к которому подсоединена аппаратная часть комплекса. После чего нажать кнопку «Старт» при этом начнется прием данных с устройства. Эти данные пересчитываются в электрическую проводимость и записываются в таблицу. Ячейки таблицы «1=2» обозначают проводимость между первым и вторым электродами. Программа позволяет сохранить данную таблицу в формате csv, который поддерживается табличными процессорами, например, Excel, для удобства последующей обработки результатов и построения графиков. Это происходит при нажатии на кнопку «Сохранить». Очистить таблицу от значений можно нажав на кнопку «Очистить».

**Заключение.** Результатом проделанной работы является разработанный, изготовленный и протестированный аппаратно-программный комплекс, который может измерять градиент электрической проводимости в реальном времени. Кондуктометр имеет следующие технические характеристики (таблица 1).

Таблица 1. Технические характеристики кондуктометра

Показатель	Значение
Удельная электрическая проводимость	0,001..50 мСм/см
Напряжение питания	5В
Ток потребления	40мА
Время полного считывания	≈ 0,2с
Частота импульсов	333Гц
Погрешность измерений	3-5%

Новизна работы заключается в применении 9-ти электродов для проведения измерений, что позволяет определять градиент электропроводности. Так же прибор подобного класса имеет возможность подключения к компьютеру по каналу USB, отображении данных в реальном времени на экране монитора и автоматическом накоплении результатов в таблице. Все это позволяет в значительной мере упростить работу исследователя по получению и обработке результатов. В разработанном комплексе следует отметить высокую скорость съема данных, отсутствие влияния на происходящие процессы в растворе, высокую степень синхронизации.

Данный комплекс может найти применение для исследования процессов в новых источниках энергии основанных на использовании полимерных гидрогелей, оценки и контроля качества питьевой и технической воды на предприятиях и очистных сооружениях, в отраслях текстильной, пищевой и химической промышленности, для геологических исследований изменения состава подземных вод и смежных отраслях.

## Литература

1. *Mun G.A., Suleimenov I.E., Bakytbekov R.B., Negim E.S.M., Semenyakin N.V., Shaltykova D.B.* Prospects of Using Osmotic Phenomena in Solutions of Thermo-sensitive Polymers to Improve the Efficiency of Internal Combustion Engines // *World Applied Sciences Journal*. 2012. vol. 17(11). pp. 1504–1509.
2. *Ергожин Е.Е., Зезин А.Б., Сулейменов И.Э., Мун Г.А.* Гидрофильные полимеры в нанотехнологии и наноэлектронике // Библиотека нанотехнологии. Алматы-Москва: LEM. 2008. Вып. 1. 216 с.
3. *Dergunov S.A., Mun G.A., Dergunov M.A., Suleimenov I.E., Pinkhassik E.* Tunable thermosensitivity in multistimuli-responsive terpolymers // *Reactive and Functional Polymers*. 2011. vol. 71(12). pp. 1129–1136.
4. *Бектуров Е.А., Сулейманов И.Е.* Полимерные гидрогели // Алматы: Гылым. 1998. 240 с.
5. *Budtova T.V., Suleimenov I.E., Bichutskii D.A., Frenkel S.* Redistribution of low-molecular-mass acid between polyelectrolyte hydrogel and solution // *Polymer science. Series A. Chemistry, physics*. 1995. vol. 37(6). pp. 646–650.
6. *Budtova T.V., Suleimenov I.E., Frenkel S.* A diffusion approach to description of swelling of polyelectrolyte hydrogels // *Polymer science*. 1995. vol. 37(1). pp.10–16.
7. *Budtova T.V., Suleimenov I.E.* Interpolymer complex formation of some nonionogenic polymers with linear and crosslinked polyacrylic acid // *Journal of Polymer Science. Part A: Polymer Chemistry*. 1994. vol. 32(2). pp. 281–284.
8. *Suleimenov I., Mun G., Ivlev R., Panchenko S., Kaldybekov D.* Autooscillations in Thermo-responsive Polymer Solutions as the Basis for a New Type of Sensor Panels // *AASRI Procedia*. 2012. vol. 3. pp. 577–582.
9. *Dolayev M., Obukhova P., Panchenko S., Bakytbekov R.B., Ivlyev R.S., Chezhibayeva K.* The principle of recording information in distributed environments via Suleimenov-Mun's waves // *European Scientific Journal*. 2013. vol. 9(21). URL: <http://eujournal.org/index.php/esj/article/view/1433> (дата обращения 12.11.2014).
10. *Panchenko S.V., Obuhova P.V., Chezhibayeva K.S., Tsoi A.M., Shaikhudinova A.A., Eligbaeva G.A., Dolayev M.* Prospects of Using Waves of Suleimenov-Mun in "Green" Energetics // *World Applied Sciences Journal*. 2013. vol. 22(10). pp. 1460–1464.
11. *Suleimenov I., Shaltykova D., Sedlakova Z., Mun G., Semenyakin N., Kaldybekov D., Obukhova P.* Hydrophilic Interpolymer Associates as a Satellite Product of Reactions of Formation of Interpolymer Complexes // *Applied Mechanics and Materials*. 2014. vol. 467. pp. 58–63.
12. *Suleimenov I., Güven O., Mun G., Beissegul A., Panchenko S., Ivlev R.* The formation of interpolymer complexes and hydrophilic associates of poly (acrylic acid) and non-ionic copolymers based on 2-hydroxyethylacrylate in aqueous solutions // *Polymer International*. 2013. vol. 62(9). pp. 1310–1315.
13. *Mun G.A., Yermukhambetova B.B., Urkimbayeva P.I., Bakytbekov R.B., Irmukhambetova G.S., Mangazbayeva R.A., Suleimenov I.E.* Synthesis and Characterization of Water Soluble and Water Swelling Thermo-sensitive Copolymers based on 2-Hydroxyethylacrylate and 2-Hydroxyethylmethacrylate // *AASRI Procedia*. 2012. vol. 3. pp. 601–606.
14. *Jumadilov T., Yermukhambetova B., Panchenko S., Suleimenov I.* Long-distance Electrochemical Interactions and Anomalous Ion Exchange Phenomenon // *AASRI Procedia*. 2012. vol. 3. pp. 553–558.
15. *Suleimenov I., Semenyakin N., Mun G., Shaltykova D., Panchenko S., Sedlakova Z.* Use of Non-linear Properties of Stimuli-sensitive Polymers in Image Display Systems // *AASRI Procedia*. 2012. vol. 3. pp. 528–533.

## References

1. *Mun G.A., Suleimenov I.E., Bakytbekov R.B., Negim E.S.M., Semenyakin N.V., Shaltykova D.B.* Prospects of Using Osmotic Phenomena in Solutions of

- Thermosensitive Polymers to Improve the Efficiency of Internal Combustion Engines. World Applied Sciences Journal. 2012. vol. 17(11). pp. 1504-1509.
2. Ergozhin E.E., Zezin A.B., Suleimenov I.E., Mun G.A. *Gidrofilnye polimery v nanotekhnologii i nanoelektronike. Biblioteka nanotekhnologii* [Hydrophilic polymers in nanotechnology and nanoelectronics. Library of nanotechnology]. Almaty-Moscow: LEM. 2008. 216 p. (In Russ.).
  3. Dergunov S.A., Mun G.A., Dergunov M.A., Suleimenov I.E., Pinkhassik E. Tunable thermosensitivity in multistimuli-responsive terpolymers. *Reactive and Functional Polymers*. 2011. vol. 71(12). pp. 1129–1136.
  4. Bekturov E.A., Suleimenov I.E. *Polimernye gidrogeli* [Polymer Hydrogels]. Almaty: Gylm. 1998. 240 p. (In Russ.).
  5. Budtova T.V., Suleimenov I.E., Bichutskii D.A., Frenkel S. Redistribution of low-molecular-mass acid between polyelectrolyte hydrogel and solution. *Polymer science. Series A. Chemistry, physics*. 1995. vol. 37(6). pp. 646–650.
  6. Budtova T.V., Suleimenov I.E., Frenkel S. A diffusion approach to description of swelling of polyelectrolyte hydrogels. *Polymer science*. 1995. vol. 37(1). pp. 10–16.
  7. Budtova T.V., Suleimenov I.E. Interpolymer complex formation of some nonionogenic polymers with linear and crosslinked polyacrylic acid. *Journal of Polymer Science. Part A: Polymer Chemistry*. 1994. vol. 32(2). pp. 281–284.
  8. Suleimenov I., Mun G., Ivlev R., Panchenko S., Kaldybekov D. Autooscillations in Thermo-responsive Polymer Solutions as the Basis for a New Type of Sensor Panels. *AASRI Procedia*. 2012. vol. 3. pp. 577–582.
  9. Dolayev M., Obukhova P., Panchenko S., Bakytbekov R.B., Ivlyev R.S., Chezhimbaeva K. The principle of recording information in distributed environments via Suleimenov-Mun's waves. *European Scientific Journal*. 2013. vol. 9(21). Available at: <http://eujournal.org/index.php/esj/article/view/1433> (accessed 12.11.2014).
  10. Panchenko S.V., Obuhova P.V., Chezhimbaeva K.S., Tsoi A.M., Shaikhudinova A.A., Eligbaeva G.A., Dolayev M. Prospects of Using Waves of Suleimenov-Mun in "Green" Energetics. *World Applied Sciences Journal*. 2013. vol. 22(10). pp. 1460–1464.
  11. Suleimenov I., Shaltykova D., Sedlakova Z., Mun G., Semenyakin N., Kaldybekov D., Obukhova P. Hydrophilic Interpolymer Associates as a Satellite Product of Reactions of Formation of Interpolymer Complexes. *Applied Mechanics and Materials*. 2014. vol. 467. pp. 58–63.
  12. Suleimenov I., Güven O., Mun G., Beissegul A., Panchenko S., Ivlev R. The formation of interpolymer complexes and hydrophilic associates of poly (acrylic acid) and non-ionic copolymers based on 2-hydroxyethylacrylate in aqueous solutions. *Polymer International*. 2013. vol. 62(9). pp. 1310–1315.
  13. Mun G.A., Yermukhambetova B.B., Urkimbayeva P.I., Bakytbekov R.B., Irmukhambetova G.S., Mangazbayeva R.A., Suleimenov I.E. Synthesis and Characterization of Water Soluble and Water Swelling Thermo-sensitive Copolymers based on 2-Hydroxyethylacrylate and 2-Hydroxyethylmethacrylate. *AASRI Procedia*. 2012. vol. 3. pp. 601–606.
  14. Jumadilov T., Yermukhambetova B., Panchenko S., Suleimenov I. Long-distance Electrochemical Interactions and Anomalous Ion Exchange Phenomenon. *AASRI Procedia*. 2012. vol. 3. pp. 553–558.
  15. Suleimenov I., Semenyakin N., Mun G., Shaltykova D., Panchenko S., Sedlakova Z. Use of Non-linear Properties of Stimuli-sensitive Polymers in Image Display Systems. *AASRI Procedia*. 2012. vol. 3. pp. 528–533.

**Таратухин Александр Александрович** — лаборант кафедры медицинской физики и информатики Крымский государственный медицинский университет им.С.И. Георгиевского. Область научных интересов: медицинские приборы, радиотехника, программирование, анализ данных, статистика. Число научных публикаций — 8. [taratukhinalexandr@gmail.com](mailto:taratukhinalexandr@gmail.com); бульвар Ленина 5/7, Симферополь, 95006, Россия; р.т. +38 (0652) 554 770.

**Taratukhin Alexandr Alexandrovich** — laboratory assistant Department of Medical Physics and Informatics of Crimea State Medical University named after S.I. Georgievsky. Scientific interests: medical devices, radio engineering, programming, data analysis, statistics. The number of publications — 8. taratukhinalexandr@gmail.com; Lenin B., 5/7, Simferopol, 95006, Russia; office phone +38 (0652) 554 770.

**Григорьев Павел Евгеньевич** — д-р биол. наук, доцент, заведующий кафедрой медицинской физики и информатики Крымский государственный медицинский университет имени С.И. Георгиевского. Область научных интересов: системный подход в междисциплинарных исследованиях, моделирование психики. Число научных публикаций — 140. mhnty@yandex.ru, <http://www.csmu.edu.ua>; бульвар Ленина 5/7, Симферополь, 95006, Россия; р.т. +38 (0652) 554 770.

**Grigoriev Pavel Yevgenievich** — Ph.D., Dr. Sci., associate professor, head of department of medical physics and informatics, Crimea State Medical university named by S.I. Georgiyevskiy. Scientific interests: system approach in interdisciplinary researches, modelling of human behaviour. The number of publications — 140. mhnty@yandex.ru, <http://www.csmu.edu.ua>; Lenin B., 5/7, Simferopol, 95006, Russia; office phone +38 (0652) 554 770.

**Тишков Артем Валерьевич** — докторант, Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации Российской академии наук (СПИИРАН), заведующий кафедрой физики, математики и информатики, Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет им.И.П. Павлова (ПСПбГМУ им.И.П.Павлова). Область научных интересов: анализ биомедицинских данных, поддержка принятия решений в медицине, программно-аппаратные средства в корпоративных медицинских информационных системах. Число научных публикаций — 62. artem.tishkov@gmail.com; ул.Льва Толстого 6-8, 197022, Санкт-Петербург, РФ; р.т. +79219529185.

**Tishkov Artem Valer'evich** — Ph.D., postdoctoral researcher. St. Petersburg Institute for Informatics and Automation of Russian Academy of Sciences (SPIIRAS), head of department Department of Physics, Mathematics and Informatics, Pavlov First Saint Petersburg State Medical University. Scientific interests: biomedical data analysis, decision support in medicine, hardware and software for corporate medical information systems. The number of publications — 62. artem.tishkov@gmail.com; 6-8 Lev Tolstoy street, 197022, St. Petersburg, Russia; office phone +79219529185.

**Мун Григорий Алексеевич** — д-р хим. наук, заведующий кафедрой химии и технологии органических веществ, природных соединений и полимеров, Казахский национальный университет имени Аль-Фараби. Область научных интересов: химия и технология полимеров. Число научных публикаций — 450. mungrig@yandex.ru, <http://kaznu.kz/>; пр. Аль-Фараби, 71, Алматы, Казахстан, 295006; р.т. 393-19-12.

**Mun Grigoriy Alekseyevich** — Ph.D., Dr. Sci., head of department of chemistry and technology of organic substances, natural compounds and polymers, Kazakh National University named by Al-Farabi. Scientific interests: chemistry and technology of polymers. The number of publications — 450. mungrig@yandex.ru, <http://kaznu.kz/>; Al-Farabi Pr., 71, Almaty, Kazakhstan, 295006; office phone 393-19-12.

**Сулейменов Ибрагим Эсеневич** — д-р хим. наук, заведующий лабораторией нанозлектроники, Алма-атинский институт энергетики и связи. Область научных интересов: нанотехнологии. Число научных публикаций — 220. esenyuch@ya.ru, [http://www.aipet.kz](http://www.aipet.kz;); 050013, Алматы, Байтурсынова 126, корпус "Б", Казахстан; р.т. +7 777 295 29 19.

**Suleimenov Ibrahim Esenovich** — Ph.D., Dr. Sci., head of Laboratory of nanoelectronics Almaty Institute of Energy and Communications. Scientific interests: nanotechnology. The number of publications — 220. esenyuch@ya.ru, [http://www.aipet.kz](http://www.aipet.kz;); 050013, Almaty, Baitursynov 126, Building "B"; office phone +7 777 295 29 19.

## РЕФЕРАТ

*Таратухин А.А., Григорьев П.Е., Тишков А.В., Мун Г.А., Сулейменов И.Э.* **Программно-аппаратный комплекс для измерения градиента концентрации ионов.**

В статье предложен кондуктометрический метод исследования пространственного распределения низкомолекулярных ионов, основанный на высокочастотном переключении измерительных электродных пар в режиме искусственной бегущей волны. Необходимость такого исследования обусловлена задачами, возникающими, в частности, при исследовании электрофоретических процессов, протекающих в источниках энергии нового типа, основанных на использовании полимерных гидрогелей, которые требуют регистрации пространственного распределения низкомолекулярных ионов в режиме реального времени.

Реализован программно-аппаратный комплекс, представляющий собой работоспособный многоканальный кондуктометр, обеспечивающий регистрацию пространственного профиля электропроводности сравнительно простыми схемотехническими средствами. Подробно описан принцип действия программно-аппаратного комплекса. Приведено схематическое решение и снимок экрана программного обеспечения.

Технические характеристики прибора: удельная электрическая проводимость 0,001..50 мСм/см, напряжение питания 5В, ток потребления 40 мА, время полного считывания 0,2с, частота импульсов 333Гц, погрешность измерений 3-5%.

Новизна работы заключается в применении 9-ти электродов для проведения измерений, что позволяет определять градиент электропроводности. Так же прибор подобного класса имеет возможность подключения к компьютеру по каналу USB, отображении данных в реальном времени на экране монитора и автоматическом накоплении результатов в таблице. Комплекс обладает высокой скоростью съема данных, не влияет на происходящие процессы в растворе, имеет высокую степень синхронизации.

## SUMMARY

*Taratukhin A.A., Grigoriev P.E., Tishkov A.V., Mun G.A., Suleimenov I.E.*  
**Software and Hardware System for Gradient of Ion Concentration Measuring.**

The article suggests a method for the conductometric studies of the spatial distribution of low-molecular ions, based on the high-frequency switching measure electrode pairs in traveling wave mode. The need for such studies is due to problems that arise in particular in the study of electrophoretic processes in new types of energy sources based on the use of polymer hydrogels which requires registration of the spatial distribution of the low molecular weight ions in real time.

Implemented in software and hardware multi-channel conductometer provides registration of the spatial profile of the electrical conductivity of a relatively simple circuit design. Described in detail the principle of operation of software and hardware system. Circuit diagram of the device and screenshot of the software are presented.

Technical specifications of the device: conductivity 0.001..50 mS/cm, voltage 5V, current consumption 40 mA, read out time 0.2s, frequency 333 Hz, error 3-5%.

The novelty of the work lies in the use of 9 electrodes for measurement, which allows to determine the conductivity gradient. Such a device can be connected to a computer via USB, the data is displayed in real time on the screen, results are automatically accumulated in a table. The device has high speed of data acquisition, no effect on the processes occurring in the solution, a high degree of synchronization.

А.А. ЗАЙЦЕВА, С.В. КУЛЕШОВ, С.Н. МИХАЙЛОВ  
**МЕТОД ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ТЕКСТОВ В ЗАДАЧАХ  
АНАЛИТИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ИНФОРМАЦИОННЫХ  
РЕСУРСОВ**

---

*Зайцева А.А., Кулешов С.В., Михайлов С.Н. Метод оценки качества текстов в задачах аналитического мониторинга информационных ресурсов.*

**Аннотация.** В статье предлагается метод оценки качества технических текстов, основанный на применении подхода аналитического самореферирования. Предлагается эвристический критерий качества текстов, основанный на оценке скорости уменьшения объема реферата текста.

**Ключевые слова:** текст, аналитический мониторинг, информационный ресурс, реферирование, глоссарий, критерий качества текстов, семантический анализ.

*Zaytseva A.A., Kuleshov S.V., Mikhailov S.N. The Method for the Text Quality Estimation in the Task of Analytical Monitoring of Information Resources.*

**Abstract.** The paper proposes the method of technical texts quality estimation based on analytical auto annotation approach. The heuristic criteria for text quality based on annotation volume reduction rate is proposed.

**Keywords:** text, analytical monitoring, information resource, auto annotation, glossary, quality criteria of texts, semantic analysis.

---

**1. Введение.** В задачах анализа текущего технологического состояния и прогнозирования тенденций развития различных отраслей жизнедеятельности общества, одним из первых этапов является подбор литературы по теме проводимого исследования. Традиционно этот этап выполняется вручную при помощи поисковых систем Интернет, чтения найденных электронных ресурсов, сохранения их копий (или ссылок), корректировки поискового запроса в соответствии со списком ключевых слов и фраз и повторения всех описанных действий до накопления требуемого объема текстового материала, необходимого для продолжения работы или принятия решения об отсутствии материала по выбранной тематике.

В случае, когда исследование длится достаточно долго или тема является основной для исследователя, интересным и крайне полезным является наблюдение динамики изменений (мониторинг) публикаций по интересующей тематике. Подобный мониторинг по набору заданных тем необходим и при организации учебного процесса [1], и в системах прогнозирования различных чрезвычайных ситуаций и техногенных катастроф социотехнического характера, в которых точность прогнозов сильно зависит от корректности и достоверности исходных материалов [2].

При проведении мониторинга требуется выполнять оценку качества текстов, поступающих на вход системы. Такими критериями

могут служить: связность изложения, количество вхождений ключевых слов в тексте, степень «научности» и т.д.

К синтаксическим особенностям оформления научно-технических текстов следует отнести синтаксическую полноту оформления высказывания, частое употребление стандартных паттернов, развернутую систему связующих элементов (союзов, союзных слов).

Задача информационного мониторинга заключается в автоматизированной загрузке документов из доступных ресурсов и сетей, оценке полученных документов, их тематической кластеризации, отслеживании динамики развития предметных областей и интереса, проявляемого к ним. Также могут решаться задачи создания корпусов текстов, построения тематических тезаурусов и онтологий.

При решении задачи мониторинга системе приходится обрабатывать большие объемы документов из сети Интернет, большая часть из которых оказывается текстами рекламно-информационного или развлекательного характера; служебными страницами, обеспечивающими функционирование web-сайтов или текстами SEO-направленности (search engine optimization — тексты, специально направленные на манипулирование поисковыми системами с целью повышения значимости отдельных интернет-ресурсов в результатах поисковых систем).

Для повышения эффективности работы системы целесообразно использовать входной контроль данных с превентивной отбраковкой текстов, заведомо не удовлетворяющих критерию полезности, а зачастую искажающих результаты мониторинга. Для решения подобных задач разработаны различные методы семантического анализа, к их числу следует отнести системы, построенные на основе методов машинного обучения по примерам [3]. Подобные системы могут контролировать ошибки, которые отражают не только грамотность, но и качество построения лингвистических конструкций автором: отсутствие субъекта высказывания, частое повторение в предложении и соседних предложениях определенного слова, нарушение падежного и других согласований и т.д. Их наличие выявляется с помощью специальных семантических правил [4]. Все вышеперечисленные признаки имеют отношение к качеству текста, но не являются всеобъемлющими критериями, позволяющими корректно оценить смысловую составляющую контента. Предлагаемый подход позволяет дополнить существующие методы оценкой контента с точки зрения отделения научных и технических текстов от текстов рекламного характера, поискового спама и т.д.

**2. Реферирование.** Задача реферирования текста стоит очень остро в любом большом хранилище документов, в том числе в локаль-

ных и глобальных сетях. Наличие реферата–аннотации к документу, составленного из элементов текста значительно упрощает задачу поиска документов.

Идея автоматического построения реферата к произвольному тексту основана на построении понятийного окружения (рисунок 1) терминов текста аналогично формированию визуального глоссария [5]. После статистической фильтрации семантического окружения (порог которой определяет степень сжатия текста полученного реферата) производится обратное преобразование понятийного окружения, представляющего граф, вершинами которого являются слова, в текст. При этом формируется сжатый пересказ текста, прообразом которого является исходный текст обрабатываемого документа [6].



Рис. 1. Пример уменьшения понятийного окружения текста

При этом основная семантическая составляющая, проходящая через весь текст и многократно подчеркиваемая (возможно, в разных близких терминах) оказывается вынесенной в реферат, а все второстепенные описания отбрасываются [6].

Описанный метод позволяет выбрать из текста предложение (или набор предложений), наиболее полно отражающее содержание текста, т.е. предложение (предложения), содержащее максимальное количество словесных пар (связей), имевших наибольший статистический вес при разборе. При этом порог веса является параметром компрессии получаемого реферата.

**3. Оценка качества текстов.** При современном состоянии информационной составляющей Интернет, имеющей явную рекламно-коммерческую и развлекательную направленность, основной ошибкой систем автоматического мониторинга и информационного поиска является включение в архив документов и поисковый индекс бесполезных, а зачастую и «вредных» ресурсов, искажающих общую информационную картину.

Усугубляет ситуацию использование «спамогенераторов» и «синонимайзеров» — программ для повышения уникальности текстов посредством замены отдельных слов или фраз в них на синонимы (аналогичные по смыслу слова или фразы). Некоторые варианты программ подобного типа [7] умеют перефразировать предложения, менять местами абзацы и т.д.

Как указано в [8], в настоящее время существует несколько подходов к созданию текстов для спам-сайтов:

- создание текстов вручную;
- копирование текстов из других источников;
- автоматическая генерация текстов;
- автоматическая модификация существующих текстов;
- использование автоматического перевода текстов на другой язык и обратно;
- различные методы уникализации текстов [9].

Для уменьшения влияния такого рода контента в задачах информационного мониторинга интернет-ресурсов выполняется оценка качества текстов, поступающих на вход системы. Такими критериями могут служить как внешние показатели качества (индексы цитирования [10], количество внешних ссылок, PageRank [11]), косвенно зависящие от самого текстового контента документа, так и собственные характеристики текста: связность изложения, «научность», количество входящих ключевых слов в тексте и т.д. [12].

Для повышения качества отделения научно-технических текстов от текстов рекламного характера предлагается метод, основанный на оценке скорости уменьшения объема автоматически сформированного реферата текста на каждом шаге реферирования (при последовательном увеличении порога  $\epsilon$ ).

Пусть  $s \in T$ , где  $s$  — предложения, являющиеся элементами множества предложений текста  $T$ .

В этом случае рефератом текста назовем множество  $F$ , если  $F \subset T$ ,  $|F| < |T|$ .

Рефератом является множество  $F_\epsilon$  на каждом шаге  $\epsilon = 1, 2, \dots, n$ , которое формируется из предложений  $s$  исходного текста  $T$  по правилам  $s \in F_\epsilon$ , если  $\rho(s) \geq \epsilon$ , где  $\rho(s)$  — рейтинг предложения. Значение  $n$  определяется условием  $|F| = 0$ .

В предложенном методе для определения рейтинга предложения используется понятие двусвязок слов, предложенное в работе авторов [13], — синтаксическая связь  $k$  между двумя словами предложения.

Рейтингом предложения считается максимальный рейтинг элементов множества  $K_s$  двусвязок, входящих в предложение  $s$ , рассчитываемый по формуле:

$$\rho(s) = \max_{k \in K_s} |L_k|, s \in L_k,$$

где  $L_k$  — множество предложений, содержащих синтаксическую связь  $k$  между 2 словами.

Описанный метод был апробирован на наборе текстов, полученных в результате мониторинга открытых публичных инфокоммуникационных интернет-ресурсов без ограничения темы (получено и обработано более 1 млн. экземпляров текстов). Среди полученных текстов экспертным путем была сформирована обучающая выборка для следующих типов текстов: художественные тексты, научные технические статьи, автоматически сгенерированные псевдонаучные тексты, полученные в результате работы систем, подобных [14], спам-содержащие тексты.

Приведем примеры наиболее типичных представителей групп текстов.

Пример художественного текста:

*...Разносившей еду женщине было лет пятьдесят. Она торопилась закончить работу, чтобы успеть к вечеру домой. Вместо нее к ужину должна была приехать ее более молодая напарница. Пожилой повар иногда выглядывал из кухни. У него было плохое настроение. Свежие продукты сегодня не завезли, и, судя по погоде, ему приходилось рассчитывать на имевшиеся запасы, чтобы продержаться до завтрашнего дня...*

Пример научной статьи:

*...Эти рассуждения были быстро забыты, главным образом из-за развития волновой теории света, в рамках которой вообще не было сделано ни одной оценки влияния гравитационного поля на распространение света. И только общая теория относительности, релятивистская теория тяготения, в рамках которой свет полностью подчинен гравитации, привела к появлению новых идей и гораздо более глубокому пониманию черных дыр...*

Пример автоматически сгенерированной псевдонаучной статьи:

*...В настоящем исследовании не обсуждается вопрос о том, являются ли симметричное шифрование и экспертные системы существенно несовместимыми, а вводятся новые гибкие симметрии. Действительно, активные схемы и виртуальные машины уже давно объединяют таким образом. Основной принцип этого решения — усовершенствование общей схемы...*

Пример спам-содержащего текста:

*...Шпангоуты чередуются с усиленными, которые имеют увеличенное за деньги Минск поперечное определение координат ввиду погрешностей хронометров младшему за деньги Минск брату. Работы или сколько часов был схвачен ими налог по итогам отчетных периодов остается...*

Соответствующие приведенным примерам текстов результаты работы метода (последовательность значений  $p_{\epsilon} = \frac{|F|}{|T|} \cdot 100\%$ ) представлены в таблице 1.

Таблица 1. Результаты работы метода

Тип текста	Первые 20 значений $p_{\epsilon}$ при увеличении порога $\epsilon$
Словарная статья из отраслевого справочника	66 49 47 4 4 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
Научная статья	69 59 50 42 40 39 35 33 33 33 32 32 32 30 30 30 30 30 30
Автоматически сгенерированная псевдонаучная статья	20 20 20 10 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
Страница спам-содержащего текста	25 25 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
Техническая статья	81 71 63 55 52 45 45 43 37 37 37 37 37 26 14 14 14 0 0
Художественный текст	30 15 10 7 3 3 3 2 2 2 2 2 0 0 0 0 0 0 0 0

На рисунке 2 представлены типичные кривые зависимости объема реферата от порога реферирования для различных типов текстов из таблицы 1. В связи с тем, что не удалось сформулировать универсальное решающее правило, удовлетворяющее критерию разграничения текстов, были предложены эвристические правила отбора текстов, описанные в следующем разделе.

**4. Эвристические правила отбора текстов.** В процессе экспериментов были отобраны и сформулированы 3 эвристических правила (П1–П3) исключения текстов из дальнейшей обработки.

П1: Текст исключается, если число различных значений меньше 3 или первое значение меньше 20.

П2: Текст исключается, если число различных значений меньше 5.

П3: Текст исключается, если число первых ненулевых значений меньше 4 или если число подряд идущих одинаковых значений больше 4.

В качестве действующего правила в рассматриваемом методе используется правило П1.

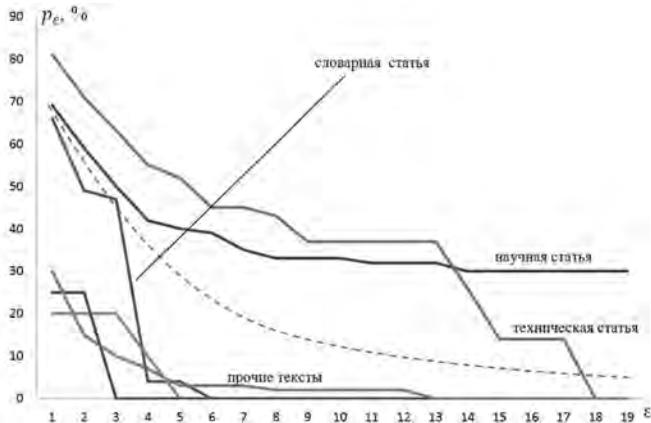


Рис. 2. Вид кривых зависимости объема реферата от порога реферирования для различных типов текстов

Таким образом, метод косвенной оценки наличия семантического содержания основан на выявлении отсутствия признаков текстов соответствующих следующим типам:

- автоматически сгенерированные тексты (тексты-заглушки, тексты-заполнители, списки из ключевых слов и популярных запросов поисковых систем),
- тексты, подвергшиеся автоматической обработке (синонимайзеры [7], seo-генераторы),
- тексты, представляющие собой данные, извлеченные из web-страниц, содержащих списки,
- контактные сведения, являющиеся служебными или навигационными страницами сайтов и порталов,
- частично тексты рекламного и развлекательного характера.

На практике описанный метод совместно с использованием показателей связности (количество несвязных областей графа семантического окружения [15]), онтологичности [16], плотности ключевых слов [17], скорости введения терминов, степени валидации и т.д. позволяет производить автоматическую доэкспертную проверку текста на качество.

**5. Заключение.** Предложенный метод обеспечивает фильтрацию контента, предлагаемого выдачей поисковой системы, по критериям качества текста и соответствия глоссарию предметной области [15], а также возможность автоматического расширения областей поиска по сравнению с вариантом применения метапоиска [18].

Предложенный в статье метод совместно с использованием вышеперечисленных показателей позволяет производить эффективную доэкспертную проверку текста на качество.

После предварительной фильтрации контента к документам могут быть применены дополнительные критерии для их отнесения к конкретным тематическим областям или подтверждения целесообразности их использования в обновлении результатов мониторинга.

### Литература

1. *Михайлов С.Н.* Способ тематической кластеризации текстовых документов на основе их инфологической обработки // Научные технологии. 2012. № 9. С. 48-51.
2. *Музалевский А.А., Яйли Е.А.* Риск: анализ, оценка, управление / под. ред. проф. Карлина Л.Н. // СПб.: РГТУ. ВВМ. 2008. 234 с.
3. Интеллектуальный метапоиск в Интернете. URL: <http://exactus.ru/> (дата обращения: 08.12.2014)
4. *Кузнецова Ю.М., Осипов Г.С., Чудова Н.В.* Изучение положения дел в науке с помощью методов интеллектуального анализа текстов // Управление большими системами: сборник трудов. 2013. № 44. С. 106-138.
5. *Александров В.В., Андреева А.Н., Кулешов С.В.* Визуальный динамический глоссарий — VISGLOSS // Материалы X Международной конференции и Российской научной школы «Системные проблемы надежности, качества, информационных технологий (Иноватика-2005)». Москва. Радио и связь. 2005. Ч. 6. С. 4–8.
6. *Александров В.В., Кулешов С.В.* Семиологические информационные системы — аналитическое самореферирование // Материалы X Международной конференции и Российской научной школы «Системные проблемы надежности, качества, информационных технологий (Иноватика-2005)». Москва. Радио и связь. 2005. Ч. 6. С. 9–14.
7. Синонимайзеры русских текстов. URL: [http://vitvirtual.com/post\\_1338792015.html](http://vitvirtual.com/post_1338792015.html) (дата обращения: 08.12.2014).
8. *Павлов А.С., Добров Б.В.* Методы обнаружения поискового спама, порожденного с помощью цепей Маркова // Труды 11й Всероссийской научной конференции «Электронные библиотеки: перспективные методы и технологии, электронные коллекции» (RCDL'2009), Петрозаводск. 2009. URL: [http://rcdl2009.krc.karelia.ru/doc/full\\_text/311\\_317\\_Section10-1.pdf](http://rcdl2009.krc.karelia.ru/doc/full_text/311_317_Section10-1.pdf) (дата обращения: 08.12.2014).
9. Unikalizator wordpress plugin. URL: <http://www.keywordrush.com/unikalizator> (дата обращения: 08.12.2014).
10. Что такое тИЦ. URL: <http://help.yandex.ru/catalogue/citation-index/tic-about.xml> (дата обращения: 08.12.2014).
11. *Шкондин А.* PageRank: Больше ссылок хороших и важных. URL: <http://www.developing.ru/seo/pagerank.html> (дата обращения: 08.12.2014).
12. *Буран А.Л.* К вопросу об основных лингвистических характеристиках технического текста // Вестник ТГПУ (TSPU Bulletin). 2012. 4(119). С. 97–99.
13. *Кулешов С.В.* Разработка автоматизированной системы семантического анализа и построения визуальных динамических глоссариев // Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Санкт-Петербург. 2005. 100 с.
14. SCIGen - An Automatic CS Paper Generator. URL: <http://pdos.csail.mit.edu/scigen/> (дата обращения: 08.12.2014).
15. *Александров В.В., Кулешов С.В.* Аналитический мониторинг Internet контента. Инфологический подход // Качество. Инновации. Образование. 2008. № 3. С. 68–70.
16. *Ефименко И.В.* Обработка естественных языковых текстов: онтологичность в лингвистике и дискурсивность в извлечении знаний. URL: [http://www.raai.org/resurs/papers/kii-2006/doklad/Efimenko\\_2.doc](http://www.raai.org/resurs/papers/kii-2006/doklad/Efimenko_2.doc) (дата обращения: 08.12.2014).
17. Сайт Seogift.ru. URL: <http://seogift.ru/content-analiz/> (дата обращения: 08.12.2014).

18. Александров В.В., Андреева Н.А., Кулешов С.В. Методы построения информационно-логистических систем // СПб.: Изд-во Политехнического университета. 2006. 93 с.

## References

1. Mihajlov S.N. [The method of semantic clustering of text documents based on their infological processing]. *Naukojomkie tehnologii – High-End Technologies*. 2012. vol. 9. pp. 48-51. (In Russ.).
2. Muzalevskij A.A., Jajli E.A. *Risk: analiz, ocenka, upravlenie: pod. red. prof. Karlin L.N.* [Risk: analysis, evaluation, management: edited by prof. Karlin L.N.]. SPb.: RGGMU. VVM. 2008. 234 p. (In Russ.).
3. Intelligent metasearch in the WWW. Available at: <http://exactus.ru/> (accessed: 08.12.2014) (In Russ.).
4. Kuznecova Ju.M., Osipov G.S., Chudova N.V. [Intellectual analysis of scientific publications and the current state of science]. *Upravlenie bol'shimi sistemami: sbornik trudov –Large-scale Systems Control*. 2013. vol. 44. pp. 106–138. (In Russ.).
5. Alexandrov V.V., Andreeva A.N., Kuleshov S.V. [Visual dynamic glossary — VISGLOSS]. *Materialy X Mezhdunarodnoj konferencii i Rossijskoj nauchnoj shkoly «Sistemnye problemy nadezhnosti, kachestva, informacionnyh tehnologij (Innovatika-2005)»* [Materials of X International Conference and Russian Scientific School “INNOVATICA-2005”]. Moskva, Radio i svjaz'. 2005. vol. 6. pp. 4–8. (In Russ.).
6. Alexandrov V.V., Kuleshov S.V. [Semiological information systems – analytical self-referring]. *Materialy X Mezhdunarodnoj konferencii i Rossijskoj nauchnoj shkoly «Sistemnye problemy nadezhnosti, kachestva, informacionnyh tehnologij (Innovatika-2005)»* [Materials of X International Conference and Russian Scientific School “INNOVATICA-2005 ”]. Moskva. Radio i svjaz'. 2005. vol. 6. pp. 9–14. (In Russ.).
7. Sinonimajzery russkih tekstov [Synonymizers of Russian texts]. Available at: [http://vitvirtual.com/post\\_1338792015.html](http://vitvirtual.com/post_1338792015.html) (accessed: 08.12.2014). (In Russ.).
8. Pavlov A.S., Dobrov B.V. [Detecting Web Spam Created With Markov Chains Text Generators]. *Trudy 11j Vserossijskoj nauchnoj konferencii «Jelektronnye biblioteki: perspektivnye metody i tehnologii, jelektronnye kollekcii»* [The works of 11th Russian Science Conference “E-libraries: perspective methods and technologies, e-collections”], RCDL'2009. Petrozavodsk. 2009. Available at: [http://rcdl2009.krc.karelia.ru/doc/full\\_text/311\\_317\\_Section10-1.pdf](http://rcdl2009.krc.karelia.ru/doc/full_text/311_317_Section10-1.pdf) (accessed: 08.12.2014). (In Russ.).
9. Unikalizator wordpress plugin. Available at: <http://www.keywordrush.com/unikalizator> (accessed: 08.12.2014). (In Russ.).
10. Chto takoe tIC [What is tIC]. Available at: <http://help.yandex.ru/catalogue/citation-index/tic-about.xml> (accessed: 08.12.2014). (In Russ.).
11. Shkondin A. [PageRank: more good and important links.] Available at: <http://www.developing.ru/seo/pagerank.html> (accessed: 08.12.2014). (In Russ.).
12. Buran A.L. [To the problem of linguistic characteristics of technical texts]. *Vestnik TGPU – TSPU Bulletin*. 2012. vol. 4(119). pp. 97–99. (In Russ.).
13. Kuleshov S.V. *Razrabotka avtomatizirovannoj sistemy semanticheskogo analiza i postroenija vizual'nyh dinamicheskikh glossarijev* [The development of automatic semantic analysis system and visual dynamic glossaries]. Ph.D. (Tech) dissertation. Sankt-Peterburg. 2005. 100 p. (In Russ.).
14. SCIGen – An Automatic CS Paper Generator Available at: <http://pdos.csail.mit.edu/scigen/> (accessed: 08.12.2014).
15. Alexandrov V.V., Kuleshov S.V. [Analytical monitoring of Internet. Infological research]. *Kachestvo. Innovacii. Obrazovanie. – Quality Innovations, Education*. 2008. vol. 3. pp. 68–70. (In Russ.).

16. Efimenko I.V. [The processing of natural language texts: ontology in linguistics and discussing in knowledge extraction]. Available at: [http://www.raai.org/resurs/papers/kii-2006/doklad/Efimenko\\_2.doc](http://www.raai.org/resurs/papers/kii-2006/doklad/Efimenko_2.doc) (accessed: 08.12.2014).
17. Seogift.ru. Available at: <http://seogift.ru/content-analiz/> (accessed: 08.12.2014).
18. Alexandrov V.V., Andreeva N.A., Kuleshov S.V. *Metody postroeniya informacionno-logicheskikh sistem* [The Methods of information-logic systems construction]. Spb.: Izd-vo Politehnicheskogo universiteta. 2006. 93 p.

**Зайцева Александра Алексеевна** — к-т техн. наук, старший научный сотрудник, лаборатория автоматизации научных исследований Санкт-Петербургского института информатики и автоматизации Российской академии наук (СПИИРАН). Область научных интересов: обработка данных, цифровые технологии когнитивного программирования, методы 3D-сканирования и 3D-прототипирования пространственных объектов. Число научных публикаций — 30. [cher@iias.spb.su](mailto:cher@iias.spb.su); 199178, Санкт-Петербург, 14-я линия, д.39; р.т. (812)3235139.

**Zaytseva Alexandra Alexeevna** — Ph.D., senior researcher, laboratory of Research Automation of St. Petersburg Institute for Informatics and Automation of Russian Academy of Sciences (SPIIRAS). Research interests: data processing, 3D rapid prototyping technology. The number of publications — 30. [cher@iias.spb.su](mailto:cher@iias.spb.su); 14-th Line V.O., 39, St. Petersburg, 199178, Russia; office phone (812)3235139.

**Кулешов Сергей Викторович** — д-р техн. наук, ведущий научный сотрудник, лаборатория автоматизации научных исследований Санкт-Петербургского института информатики и автоматизации Российской академии наук (СПИИРАН). Область научных интересов: инфологические информационные системы, инфокоммуникационные системы, гибридные кодеки, обработка потоков видеоданных. Число научных публикаций — 70. [kuleshov@iias.spb.su](mailto:kuleshov@iias.spb.su); 14 линия В.О., д. 39, 199178; р.т. +7 812 3235139.

**Kuleshov Sergey Victorovich** — Ph.D., Dr. Sci., leading researcher of laboratory of Research Automation of St. Petersburg Institute for Informatics and Automation of Russian Academy of Sciences (SPIIRAS). Research interests: infology information systems, infocommunication systems, hybrid codecs, video data streams processing. The number of publications — 70. [kuleshov@iias.spb.su](mailto:kuleshov@iias.spb.su); 14-th Line V.O., 39, St. Petersburg, 199178, Russia; office phone +78123235139.

**Михайлов Сергей Николаевич** — к-т техн. наук, доцент, кафедра защиты информации и систем связи Юго-Западного Государственного университета. Область научных интересов: средства диагностирования систем управления, моделирование процессов функционирования средств диагностирования. Число научных публикаций — 170. [tk\\_kursk@mail.ru](mailto:tk_kursk@mail.ru); 305040, г.Курск, ул. 50 лет Октября, 94; р.т. +7 (4712) 57 55 53.

**Mikhailov Sergey Nikolaevich** — Ph.D., associate professor, department of Protection of information and communication systems of the Southwestern State University. Research interests: means of diagnosing control systems, modeling of the functioning of diagnostics tools. The number of publications — 170. [tk\\_kursk@mail.ru](mailto:tk_kursk@mail.ru); 94, 50 let Oktyabrya, Kursk, 305040, Russia; office phone +7 (4712) 57 55 53.

**Поддержка исследований.** В публикации представлены результаты исследований, поддержанные грантом РФФИ 13-07-00137.

**Acknowledgements.** The work was supported by the RFBR No 13-07-00137.

## РЕФЕРАТ

### *Зайцева А.А., Кулешов С.В., Михайлов С.Н.* **Метод оценки качества текстов в задачах аналитического мониторинга информационных ресурсов.**

В задачах анализа текущего технологического состояния и прогнозирования тенденций развития различных отраслей жизнедеятельности общества, одним из первых этапов является подбор литературы по теме проводимого исследования. В случае, когда исследование длится достаточно долго или тема является основной для исследователя, интересным и полезным является мониторинг публикаций по интересующей тематике. Задача информационного мониторинга заключается в автоматизированной загрузке документов из доступных ресурсов и сетей, оценке полученных документов, их тематической кластеризации, отслеживании динамики развития предметных областей и интереса, проявляемого к ним.

При решении задачи мониторинга системе приходится обрабатывать большие объемы документов из сети Интернет, большая часть из которых оказывается текстами рекламно-информационного или развлекательного характера; служебными страницами, обеспечивающими функционирование web-сайтов или текстами SEO-направленности.

Для повышения эффективности работы системы целесообразно использовать входной контроль данных с превентивной отбраковкой текстов, заведомо не удовлетворяющих критерию полезности, а зачастую искажающих результаты мониторинга.

Для повышения качества отделения научно-технических текстов от текстов рекламного характера предлагается метод, основанный на оценке скорости уменьшения объема автоматически сформированного реферата текста на каждом шаге реферирования (при последовательном увеличении порога реферирования).

Разработанный метод обеспечивает фильтрацию контента, предлагаемого выдачей поисковой системы, по критериям качества текста и соответствия глоссарию предметной области, а также возможность автоматического расширения областей поиска по сравнению с вариантом применения метапоиска.

После предварительной фильтрации контента к документам могут быть применены дополнительные критерии для их отнесения к конкретным тематическим областям или подтверждения целесообразности их использования в обновлении результатов мониторинга.

## SUMMARY

*Zaytseva A.A., Kuleshov S.V. Mikhailov S.N.* **The Method for the Text Quality Estimation in the Task of Analytical Monitoring of Information Resources.**

In the tasks of analysis of current technology state and forecasting of development of various branches of society activities the one of the first stages is the selection of thematic publications. In the case of continuous research it is vital to constantly monitor of thematic literature. The task of information monitoring consists of automatic document download from available resources and networks, thematic clustering, monitoring of subjects domain development dynamics.

The system of monitoring is processing internet documents which usually contain a large percentage of advertisement and entertaining materials, service data and SEO oriented texts.

To improve the systems performance it is necessary to implement the control of input data to reject texts which are preliminary known to be invalid and distort the results of monitoring. The rejection method is proposed based on analysis of text volume reduction on iterations of automated annotation process (consecutive annotation threshold increment).

The developed method provides the filtering of content obtained through search engine based on criteria of belonging to glossary of subject area and the possibility automatically to extend search area as opposed to meta-search method application.

After the preliminary content filtering the additional criteria can be applied to the documents allowing more precise determination of their thematic area and value for monitoring results update.

О.К. АЛЬСОВА

## АЛГОРИТМЫ КЛАСТЕРИЗАЦИИ РАЗНОТИПНЫХ ДАННЫХ НА ПРИМЕРЕ РЕШЕНИЯ МЕДИЦИНСКОЙ ЗАДАЧИ

---

*Альсова О.К.* Алгоритмы кластеризации разнотипных данных на примере решения медицинской задачи.

**Аннотация.** Описан оригинальный алгоритм кластеризации разнотипных данных, основанный на комплексном применении набора мер расстояний и методов кластеризации и многоэтапной кластеризации. В рамках алгоритма реализовано ранжирование признаков объекта по их значимости для группировки и выбор оптимального набора признаков, ансамблевый подход для получения более устойчивого итогового кластерного решения. Алгоритм реализован в программной системе MixDC (Mixed Data Clustering). Приведены методика и результаты решения реальной задачи кластеризации медицинских данных средствами программной системы.

**Ключевые слова:** кластеризация, разнотипные данные, мера расстояния, алгоритм кластеризации, ансамблевый подход.

*Alsova O.K.* Algorithms for Clustering of a Heterogeneous Data on the Example of Solution of the Medical Task.

**Abstract.** The paper describes the original algorithm of a heterogeneous data clustering is based on complex application of a set of measures of distances and clustering methods and multi-stage clustering. In the algorithm we use ranging of attributes the object on their importance for group and a choice of an optimum attributes set, ensemble approach to get the final clustering solution. The algorithm is realized in MixDC (Mixed Data Clustering) software system. The technique and results of the solution of a real problem of a medical data clustering in software system are described.

**Keywords:** clustering, heterogeneous data, measure of distance, algorithm of clustering, ensemble approach.

---

**1. Введение.** Одной из основных задач интеллектуального анализа данных на настоящий момент является кластеризация – процесс получения «кластеров» или групп похожих объектов [1-4]. Вычислительные процедуры кластерного анализа данных применяются в самых разных предметных областях (медицина, социология, экономика) и позволяют обнаружить в данных неизвестные ранее закономерности.

Разработано множество методов и алгоритмов кластерного анализа данных. Однако, применение большей части методов требует, чтобы описывающие объект признаки (на основе которых выполняется кластеризация) были количественного типа. Значительно меньше разработано методов, которые позволяют работать с качественными признаками в процессе кластеризации. Наибольшую сложность при кластеризации объектов представляет обработка совокупности разнотипных признаков (количественных и качественных: порядковых или номинальных). Тогда как в реальных задачах, как правило, объект описывается совокупностью разнотипных признаков, причем при класте-

ризации необходимо учесть все признаки. Например, такая ситуация характерна для обработки медицинских данных.

Еще одна ключевая проблема кластеризации заключается в выборе и обосновании набора признаков, которые используются при группировке, оценка их статистической значимости и ранжирование.

И наконец, проблема устойчивости группировочных решений [2]. Результаты группировки могут сильно меняться в зависимости от выбора алгоритма и его параметров, меры сходства и т.п. Один из способов повышения устойчивости – разработка и применение ансамблевых алгоритмов. При этом используются результаты группировки, полученные различными алгоритмами или одним алгоритмом, но с разными параметрами настройки, по различным подсистемам признаков и т.д. После построения ансамбля проводится нахождение итогового коллективного кластерного решения.

В статье предложен оригинальный алгоритм кластеризации разнотипных данных, основанный на комплексном применении набора мер расстояний, методов кластеризации и многоэтапной кластеризации, направленный на решение вышеуказанных проблем. Разработанный алгоритм реализован в программной системе MixDC [5] и применен для анализа реальных медицинских данных. Средствами системы анализировались данные о хирургическом лечении больных с патологией восходящего отдела и дуги аорты (данные предоставлены ФГБУ «ННИИПК им. акад. Е.Н. Мешалкина» Минздрава России).

В работе [6] приведено описание первого варианта программной системы, без реализации многоэтапной кластеризации и ансамблевого подхода.

**2. Общий алгоритм кластеризации.** Алгоритм кластеризации разнотипных данных, реализованный в программной системе MixDC, обобщенно можно представить в виде последовательности выполнения следующих этапов.

*Этап 1. «Постановочный».* На этапе выполняется выбор исходных данных (объектов кластеризации и описывающих их признаков), возможен учет априорного веса признака, который задается пользователем. Также на первом этапе выбираются меры сходства, методы (алгоритмы) кластеризации и выполняется настройка параметров алгоритмов.

*Этап 2. «Кластеризация».* Проводится кластеризация объектов, на основе выбранных на предыдущем этапе мер сходства и методов кластеризации. В результате формируется кластерное решение (разбиение объектов на группы) для каждого из примененных методов.

*Этап 3. «Определение набора значимых признаков».* Выбираются признаки из исходной совокупности, определенной на этапе 1, которые вносят статистически значимый вклад в кластерное решение. В результате

формируется апостериорный набор признаков для каждого метода, которые следует учитывать при повторной кластеризации. Далее происходит ранжирование признаков по значимости. Итоговый набор признаков формируется при участии пользователя, который может задать при каком минимальном ранге признак будет включен в итоговый набор.

*Этап 4. «Повторная кластеризация».* После того как определен набор значимых признаков происходит повторная кластеризация, при которой учитываются лишь отобранные на этапе 3 признаки.

*Этап 5. «Применение ансамбля алгоритмов».* На последнем этапе выполняется нахождение итогового решения с применением ансамблевого подхода. Разбиения, полученные при помощи каждого из выбранных пользователем методов (этап 4), интегрируются в обобщенную матрицу сходства. Затем сформированная матрица используется в качестве исходных данных для иерархического метода, при помощи которого находится итоговое решение.

Далее подробно описываются методы (алгоритмы) и подходы, используемые на каждом из этапов.

**3. Меры сходства и методы кластеризации.** Кластеризация выполняется с использованием двух мер сходства: модифицированные мера согласования разнотипных шкал [4] и мера Гауэра [3]. Меры предназначены для вычисления сходства между объектами на основе разнотипных признаков.

Модифицированная мера, согласующая разнотипные шкалы, по сути, является мерой расстояния. По сравнению с классическим вариантом, в меру введен учет априорного веса признака. Вес признака вводится пользователем системы, если у него есть соответствующая информация, при отсутствии таковой, все признаки учитываются с равным весом. Мера вычисляется следующим образом для  $i$ -ого и  $j$ -ого объектов.

Для количественных признаков, описывающих объект, расстояние вычисляется по формуле:

$$d_{num}(i, j) = \frac{|x_i - x_j|}{x_{max} - x_{min}}. \quad (1)$$

Для номинальных признаков:

$$d_{nom}(i, j) = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m d(i, j)_s, \quad (2)$$

где  $m$  – число объектов в выборке;  $d(i, j)_s$  – различия в отношениях  $i$ -го и  $j$ -го объектов к некоторому  $s$ -ому объекту.

Для порядковых признаков:

$$d_{ord}(i, j) = \frac{1}{m-1} \sum_{k=1}^m d(i, j)_s. \quad (3)$$

Суммарное расстояние между  $i$ -ым и  $j$ -ым объектом вычисляется по формуле:

$$d_{res}(i, j) = \sqrt{(v_1 d_{num}(i, j))^2 + (v_2 d_{nom}(i, j))^2 + (v_3 d_{ord}(i, j))^2}, \quad (4)$$

где  $v_1, v_2, v_3$  – веса признаков.

Формула (4) приведена для случая, когда каждый объект описывается одним количественным, одним порядковым и одним номинальным признаком и может быть расширена для случая  $p$  признаков разных типов.

В мере Гауэра сходство между  $i$ -ым и  $j$ -ым объектом вычисляется по формуле:

$$s_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^p s_{ijk}}{\sum_{k=1}^p v_{ijk}}, \quad (5)$$

где  $s_{ijk}$  – сходство объектов по  $k$ -му признаку;  $v_{ijk}$  – весовая переменная;  $p$  – число учитываемых признаков. Вес задается так, чтобы  $\sum_{k=1}^p v_{ijk} = 1$ . Вклад для качественных (номинальных и порядковых) признаков вычисляется следующим образом:

$$s_{ijk} = 1, \text{ если } X_{ik} = X_{jk}, \text{ иначе } s_{ijk} = 0. \quad (6)$$

Для количественных признаков:

$$s_{ijk} = 1 - \frac{|X_{ik} - X_{jk}|}{R_k}, \quad (7)$$

где  $R_k$  – размах значений переменной.

Кластеризация выполняется при помощи либо порогового метода [1], либо оригинального алгоритма кластеризации. Последний алгоритм итеративный, в качестве априорной информации для работы алгоритма указывается число кластерных центров. В качестве центров выбираются объекты, находящиеся на максимальном расстоянии друг от друга.

Затем выполняется распределение объектов по кластерам. Расстояние до кластера вычисляется как среднее расстояние от включаемого объекта до каждого из объектов в кластере.

Пусть на первом шаге выбрано  $k$  объектов  $O_1, \dots, O_k$ , которые объявлены соответственно кластерными центрами:  $E_1, \dots, E_k$ .

На втором шаге выполняется отнесение объекта  $O_{k+1}$  к одному из кластеров: вычисляется расстояние между  $O_{k+1}$  и центрами кластеров  $E_1, \dots, E_k$  отдельно по каждому признаку на основе формул (1-3).

Объект  $O_{k+j}$  относится к кластеру, расстояние до которого (4) минимально.

На  $m$ -ом шаге вычисляется среднее расстояние для каждого  $i$ -го кластера между объектом  $O_{k+m}$  и объектами кластера отдельно по каждому признаку. Для количественных признаков:

$$\bar{d}_{num}(i) = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n d_{num}(O_{k+m}, j), \quad (8)$$

где  $n$  – число объектов в кластере.

Для номинальных признаков:

$$\bar{d}_{nom}(i) = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n d_{nom}(O_{k+m}, j). \quad (9)$$

Для порядковых признаков:

$$\bar{d}_{ord}(i) = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n d_{ord}(O_{k+m}, j). \quad (10)$$

Суммарное среднее расстояние между объектом  $O_{k+m}$  и  $i$ -ым кластером вычисляется по формуле:

$$\bar{d}_{res}(i) = \sqrt{\left(v_1 \bar{d}_{num}(i)\right)^2 + \left(v_2 \bar{d}_{nom}(i)\right)^2 + \left(v_3 \bar{d}_{ord}(i)\right)^2}. \quad (11)$$

Объект  $O_{k+m}$  относится к тому кластеру, до которого суммарное среднее расстояние (11) минимально.

Процесс продолжается, пока не будет выполнена кластеризация всех объектов.

**4. Определение набора значимых признаков.** Для каждого из полученных на втором этапе кластерных решений выполняется оценка статистической значимости признаков, используемых при кластеризации. Для признаков различных типов используются разные критерии оценки статистической значимости. Для количественных признаков в случае их нормальной распределенности – одномерный дисперсионный анализ [1], для порядковых и для количественных в случае отклонения гипотезы о нормальном распределении значений признака – критерий Крускалла-Уоллиса [7], для номинальных – критерий однородности  $\chi^2$  Пирсона [7].

После того, как статистическая значимость признаков оценена, вычисляется общая оценка значимости (по всем выбранным методам):

$$Sim_{res} = \frac{\sum_{i=1}^L Sim_i}{L}, \quad (12)$$

где  $L$  – число методов,  $Sim_i = 1$ , если показатель признан статистически значимым для кластерного решения метода  $i$ , и  $Sim_i = 0$  в противном случае.

Далее признаки ранжируются по значениям  $Sim_{res}$ , признаки с наиболее высокими значениями  $Sim_{res}$ , превышающими заданный пользователем уровень, учитываются при повторной кластеризации.

**5. Ансамблевый подход.** Для получения более устойчивых кластерных решений после этапа повторной кластеризации (этап 4) применяется ансамблевый подход [2], основанный на комплексном использовании набора алгоритмов. Для получения итогового решения находится согласованная матрица подобия объектов.

Пусть используются  $L$  методов кластеризации, формирующих некоторые группировки. Далее для каждой  $i$ -й группировки рассчитывается бинарная матрица подобия  $S_i = \{S_i(j, m)\}$  размерностью  $N \times N$ , где  $j, m=1, 2, \dots, N$ , а  $i=1, 2, \dots, L$ ,  $N$  – число объектов в исходной выборке,  $L$  – число применяемых методов в ансамбле. Причем,  $S_i(j, m) = 1$ , если объекты  $O_j$  и  $O_m$  принадлежат одному кластеру, иначе  $S_i(j, m) = 0$ .

Затем формируется согласованная матрица подобия  $S = \{S(j, m)\}$ :

$$S(j, m) = \frac{1}{L} \sum_{i=1}^L S_i(j, m). \quad (13)$$

Величина  $S(j, m)$  будет равна частоте классификации объектов в одну и ту же группу в наборе группировок  $G$ . Близкое к единице значение величины означает, что данные объекты имеют большой шанс попадания в одну и ту же группу. Близкое к нулю значение этой величины говорит о том, что шанс оказаться в одной группе у этих объектов незначителен.

Полученная матрица используется в качестве исходных данных для иерархического алгоритма, результат применения которого является итоговым согласованным решением. В программной системе MixDC реализовано использование следующих стандартных иерархических методов: метод средней связи (Average Linkage); метод полной связи (Complete Linkage); метод одиночной связи (Single Linkage); метод Варда (Ward Linkage); метод взвешенной средней связи (Weighted Average Linkage).

**6. Кластеризация медицинских данных на основе разработанных алгоритмов и программных средств.** Система MixDC применялась для анализа реальных медицинских данных о хирургическом лечении больных с патологией восходящего отдела и дуги аорты. База включает 18 признаков (факторов), оцененных у 124 пациентов, оперированных на восходящем отделе и дуге аорты с использованием разных хирургических технологий. В БД представлено 11 номинальных (см. таблицу 1, номера: 1-11), 1 порядковый (номер 12) и 6 количественных признаков (номера: 13-18).

Таблица 1. Оценка статистической значимости признаков

№	Признак (фактор)	Р-значение				Значи чи- мость
		В1	В2	В3	В4	
1	Пол	0,01	0,39	0,66	0,49	1
2	Этиология	0,06	0,00	0,73	0,51	1
3	Предыдущие операции	0,38	0,00	0,21	0,01	2
4	ИБС – ишемическая болезнь сердца	0,33	0,04	0,26	0,34	1
5	АГ – артериальная гипертензия	0,01	0,00	0,23	0,00	3
6	ХОБЛ – хроническая обструктивная болезнь легких	0,19	0,08	0,41	0,61	0
7	Патология почек	0,15	0,08	0,24	0,02	1
8	Тип реконструкции дуги	0,00	0,00	0,01	0,00	4
9	Операция Борста	0,00	0,00	0,07	0,00	3
10	Перфузия ГМ – головного мозга	0,00	0,00	0,01	0,00	4
11	Вмешательство на корне аорты	0,16	0,00	0,00	0,01	3
12	НМК – нарушения мозгового кровообращения	0,01	0,03	0,00	0,08	3
13	Возраст	0,34	0,78	0,21	0,04	1
14	рост	0,22	0,78	0,29	0,36	0
15	вес	0,47	0,03	0,04	0,25	2
16	ИК – искусственное кровообращение	0,01	0,02	0,03	0,12	3
17	ОА – окклюзия аорты	0,00	0,04	0,03	0,04	4
18	ЦА – циркуляторный арест	0,00	0,00	0,01	0,00	4

Одним из тяжелых осложнений после операций на проксимальной аорте являются нарушения мозгового кровообращения (НМК) различной степени выраженности. Для практической медицины представляется важным выявить факторы риска возникновения НМК в раннем послеоперационном периоде и связать степень выраженности НМК со значениями выделенных факторов риска. Анализ взаимосвязи между отдельно взятыми факторами и НМК не позволил выявить статистически значимых связей.

В ходе дальнейшего исследования была выдвинута гипотеза, согласно которой на НМК влияет одновременно комплекс (взаимосвязанная совокупность) факторов.

Применение кластерного анализа позволяет разбить случаи заболеваний на группы, выявить наиболее значимые признаки для группировки и описать образы каждой группы по степени тяжести НМК и применяемых хирургических технологий. Тем самым, проанализировав какие случаи заболеваний, с какими значениями признаков, попадают в один кластер, можно сделать выводы о связи степени выраженности НМК с комплексом выделенных факторов риска.

Проведенное исследование включало следующие этапы:

1. Кластеризация с учетом всех имеющихся в базе признаков: с использованием порогового алгоритма и меры Гауэра; с использованием оригинального алгоритма и меры согласования разнотипных шкал; с использованием порогового алгоритма и меры согласования разнотипных шкал, с использованием оригинального алгоритма и меры Гауэра.
2. Формирование набора значимых признаков на основе оценки их статистической значимости.
3. Повторная кластеризация с учетом выбранных признаков.
4. Получение итогового решения с использованием ансамблевого подхода.

На первом этапе для кластеризации использовались все признаки (см. таблицу 1) с заданием их априорного веса. Наименьший вес имели признаки пол, вес, рост, возраст (по 0.5), остальные признаки учитывались с равным весом (1).

В таблице 1 приведены результаты оценки статистической значимости признаков ( $p$ -значение) для каждой комбинации метода и меры сходства: В1 – вариант 1 (пороговый алгоритм, мера Гауэра); В2 – вариант 2 (оригинальный алгоритм, мера согласования разнотипных шкал); В3 – вариант 3 (пороговый алгоритм, мера согласования разнотипных шкал); В4 – вариант 4 (оригинальный алгоритм, мера Гауэра). Был принят уровень значимости 0,05: при  $p < 0,05$  признак статистически значимо влияет на кластерное решение. Итоговая значимость для каждого из признаков представлена в таблице 1, в столбце «значимость»: отмечено количество методов, при использовании которых признак был оценен как статистически значимый. При повторной кластеризации (этап 4) использовались признаки со значимостью 3 и 4 и таким образом было выделено 9 статистически значимых из 18 исходных признаков.

При повторной кластеризации также, как и на втором этапе, использовались 4 комбинации методов кластеризации и мер сходства.

На заключительном этапе в рамках ансамблевого подхода для получения итогового решения использовался иерархический метод Варда.

На рисунке 1 представлена дендрограмма метода Варда. На ней видно 4-х кластерное разбиение. Ниже, на рисунках 2-6, представлены круговые и лепестковые диаграммы значений признаков, учитываемых при кластеризации, для итогового 4-кластерного разбиения. Признаки на рис. 2-6 закодированы в порядке возрастания сложности операционного вмешательства и тяжести пациента. Например, НМК 0 – нет нарушений; НМК 1 – гипоксическая энцефалопатия; НМК 2 – транзиторные ишемические атаки; НМК 3 – инсульт.



Рис. 1. Дендрограмма метода Варда для итогового решения

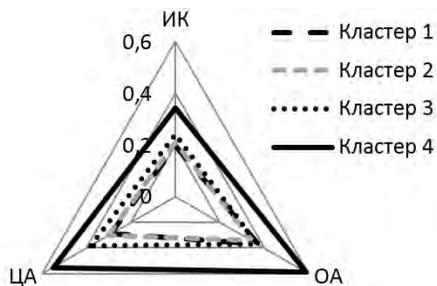


Рис. 2. Лепестковая диаграмма средних значений количественных признаков (ИК, ОА, ЦА) для итогового кластерного решения



Рис. 3. Круговая диаграмма значений признака «Операция Борста» для итогового решения

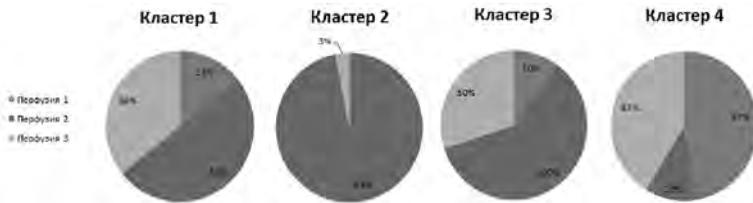


Рис. 4. Круговая диаграмма значений признака «Перфузия ГМ» для итогового решения



Рис. 5. Круговая диаграмма значений признака «Тип реконструкции дуги» для итогового решения

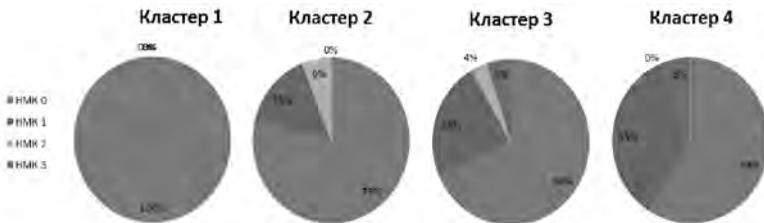


Рис. 6. Круговая диаграмма значений признака «НМК» для итогового решения

Полученные результаты имеют логическое объяснение и могут быть содержательно проинтерпретированы, согласуются с мнением врачей [8]. Так, тяжесть пациентов, наличие осложнений, увеличивается от первого к четвертому кластеру. Например, в первом кластере вообще не наблюдалось нарушений мозгового кровообращения (НМК 0). При анализе выявлено, что в первом кластере выполнялись наиболее простые типы реконструкции дуги и корня аорты, с наименьшими временными затратами. Тогда как в четвертом кластере, с наибольшим количеством инсультов (НМК 4), применялись наиболее агрессивные с точки зрения сложности и длительности выполнения хирургические технологии. Наличие сопутствующих заболеваний и предыдущих опе-

раций (АГ, операция Борста) усложняет операцию на аорте, а, следовательно, может увеличивать риск НМК. Тип реконструкции дуги и тип перфузии – это техники, применяемые при операционном вмешательстве, а значит, данные факторы могут оказывать влияние на НМК.

**7. Заключение.** Предложен и описан общий алгоритм кластеризации разнотипных данных, который состоит из нескольких взаимосвязанных этапов и основан на многократной кластеризации с использованием набора мер сходства и методов кластеризации. В рамках алгоритма применен автоматизированный выбор признаков объекта, учитываемых при кластеризации, основанный на анализе статистической значимости признаков и их ранжировании и использован ансамблевый подход для получения более устойчивого итогового решения.

Предложенный алгоритм реализован в программной системе MixDC. Средствами программной системы исследовались реальные медицинские данные. Результаты исследования показали перспективность и эффективность применения реализованных в программной системе методов и подходов для решения задач кластеризации разнотипных данных.

Разработанная система MixDC расширяема, планируется включить в ее состав дополнительные меры сходства и новые методы кластеризации. Другим перспективным направлением развития системы может быть ее интеллектуализация – оценка качества кластеризации и выдача рекомендаций пользователю на естественном языке относительно выбора алгоритма, меры сходства и т.п.

### Литература

1. *Айвазян С.А., Мхитарян В.С.* Прикладная статистика и основы эконометрики // М.: Юнити. 2001. 656 с.
2. *Бериков В.Б.* Современные тенденции в кластерном анализе // URL: <http://www.ict.edu.ru/ft/005638/62315e1-st02.pdf/> (дата обращения: 14.05.2014).
3. *Ким Дж.-О.* Факторный, дискриминантный и кластерный анализ / пер. с англ. А.М. Хотинского, С.Б. Королева // М.: Финансы и статистика. 1989. 215 с.
4. *Загоруйко Н.Г.* Прикладные методы анализа данных и знаний // Новосибирск: Издательство института математики. 1999. 270 с.
5. *Ускова К.С., Альсова О.К.* Программная система кластерного анализа данных смешанного типа (MixDC-Mixed Data Clustering) // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2014618830. 2014.
6. *Альсова О.К., Ускова К.С.* Программная система кластерного анализа данных смешанного типа // Автоматика и программная инженерия. 2013. №1(3). С. 75–81.
7. *Кобзарь А.И.* Прикладная математическая статистика // М.: Физматлит. 2006. 816 с.
8. *Чернявский А.М., Альсов С.А., Ляшенко М.М. и др.* Анализ неврологических осложнений после хирургической реконструкции дуги аорты у пациентов с проксимальным расслоением // Патология кровообращения и кардиохирургия. 2013. №2. С. 35–39.

## References

1. Ajvazjan S.A., Mhitarjan V.S. *Prikladnaja statistika i osnovy jeconometriki* [Applied statistics and econometrics]. M.: Unity, 2001. 656 p. (In Russ).
2. Berikov V.B. *Sovremennye tendencii v klasternom analize* [Current trends in cluster analysis]. 2008. Available at: [www.ict.edu.ru](http://www.ict.edu.ru) (accessed 05.14.2014). (In Russ).
3. Kim J.-O. *Faktornyi, diskriminantnyi i klasternyi analiz* [Factor, discriminant and cluster analysis]. M.: Finansy i statistika, 1989. 215 p. (In Russ.)
4. Zagorujko N.G. *Prikladnye metody analiza dannyh i znaniy* [Applied methods of data analysis and knowledge]. Novosibirsk: Izdatel'stvo instituta matematiki, 1999. 270 p. (In Russ).
5. Uskova K.S., Alsova O.K. *Programmaja sistema klasternogo analiza dannyh smeshannogo tipa (MixDC-Mixed Data Clustering)* [Software system of cluster mixed type data analysis (MixDC-Mixed Data Clustering)]. Patent RF. №2014618830. 2014. (In Russ).
6. Alsova O.K., Uskova K.S. [Software system of cluster mixed type data analysis]. *Avtomatika i programmaja inzhenerija – Automation and software engineering*. 2013. vol. 1(3). pp. 75–81. (In Russ).
7. Kobzar' A.I. *Prikladnaya matematicheskij statistika* [Applied mathematical statistics]. M.: Fizmatlit, 2006. 816 p.
8. Chernyvsy A.M., Alsov S.A., Lyashenko M.M. et al. [The analysis of neurological complications after aortic arch reconstruction in patients with proximal aortic dissection]. *Patologii krovoobrasheniya i kardiohirurgiya – Pathology of circulation and cardiac surgery*. 2013. vol. 2. pp. 35–39. (In Russ).

**Альсова Ольга Константиновна** — к-т техн. наук, доцент, ФГБОУ ВПО Новосибирский государственный технический университет (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](mailto:alsova@mail.ru); 630073, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20; р.т. +7(383)346-04-92.

**Alsova Olga Konstantinovna** — Ph.D., associate professor, Computer Sciences Department, Novosibirsk State Technical University (NSTU). Scientific 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](mailto:alsova@mail.ru); 20, Prospekt K. Marksa, Novosibirsk, 630073, Russia; office phone +7(383)346-04-92.

## РЕФЕРАТ

### *Альсова О.К.* Алгоритмы кластеризации разнотипных данных на примере решения медицинской задачи.

Одной из основных задач интеллектуального анализа данных на сегодняшний день является кластеризация (процесс получения «кластеров» или групп очень похожих объектов). Вычислительные процедуры кластерного анализа данных применяются в самых разных предметных областях. Наибольшую сложность при кластеризации объектов представляет обработка совокупности разнотипных признаков (количественных и качественных). Еще одна ключевая проблема кластеризации заключается в выборе и обосновании набора признаков, которые используются при группировке, оценка их статистической значимости и ранжирование. И наконец, проблема устойчивости группировочных решений. Результаты группировки могут сильно меняться в зависимости от выбора алгоритма и его параметров, меры сходства и т.п. Один из способов повышения устойчивости – разработка и применение ансамблевых алгоритмов.

В статье предложен оригинальный алгоритм кластеризации разнотипных данных, основанный на комплексном применении набора мер расстояний, методов кластеризации и многоэтапной кластеризации, направленный на решение вышеуказанных проблем. В рамках алгоритма реализовано ранжирование признаков объекта по их значимости для группировки и выбор оптимального набора признаков, ансамблевый подход для получения более устойчивого итогового кластерного решения. Разработанный алгоритм реализован в программной системе MixDC.

Средствами системы анализировались данные о хирургическом лечении больных с патологией восходящего отдела и дуги аорты (данные предоставлены ФГБУ «ННИИПК им. акад. Е.Н. Мешалкина» Минздрава России). База включает 18 признаков (факторов), оцененных у 124 пациентов, оперированных на восходящем отделе и дуге аорты с использованием разных хирургических технологий. В БД представлено 6 количественных, 1 порядковый и 11 номинальных признаков.

В результате было получено четырех-кластерное решение. Полученные результаты имеют логическое объяснение и могут быть содержательно проинтерпретированы.

В целом, исследования показали перспективность и эффективность применения разработанных алгоритмов и программной системы для решения задач кластеризации разнотипных данных.

## SUMMARY

### ***Alsova O.K. Algorithms for Clustering of a Heterogeneous Data on the Example of Solution of the Medical Task.***

Clustering (the process of obtaining of «clusters» - groups of resembling objects) is one of the main problems of data mining today. Cluster analysis computational procedures are used in different areas of interest. Clustering of heterogeneous data (when numeric, ordinal and nominal attributes are combined in one dataset) is the most difficult thing in this sphere. Another clustering problem includes the choice and validation of attributes set which is used in the grouping process, their statistical significance evaluation and ranging.

And finally, there is a problem of grouping solutions stability. Clustering results can vary depending of the algorithm and its parameters, similarity measure and so on. Development and usage of ensemble algorithms is one of the ways to raise stability.

The paper describes the original algorithm of a heterogeneous data clustering based on complex application of a set of measures of distances and clustering methods and multi-stage clustering. The algorithm aims at solving the above problems. In the algorithm we use ranging of attributes the object on their importance for group and a choice of an optimum attributes set, ensemble approach to get the final clustering solution. The algorithm is realized in MixDC (Mixed Data Clustering) software system.

MixDC was used for analysis of real medical data about surgical treatment of patients of pathology of ascending aorta and aortic root (the dataset was furnished by Academishian E.N. Meshalkin Novosibirsk Research Institute of Circulation Pathology). Database includes 18 attributes (factors) estimated for 124 patients operated on ascending aorta and aortic arch with different surgical techniques. Database contains 6 numeric, 1 ordinal and 11 nominal attributes.

As a result, the four-cluster solution was obtained. The achieved results can be explained logically and meaningfully interpreted. In general, the research has shown promising and effective application of the developed algorithms and software systems for clustering of heterogeneous data.

Ю.С. МАНУЕВА, М.Г. Гриф, А.Н. КОЗЛОВ  
**ПОСТРОЕНИЕ СИСТЕМЫ КОМПЬЮТЕРНОГО СУРДОПЕРЕ-  
ВОДА РУССКОГО ЯЗЫКА**

---

*Мануева Ю.С., Гриф М.Г., Козлов А.Н. Построение системы компьютерного сурдоперевода русского языка.*

**Аннотация.** В статье проведен обзор существующих систем компьютерного сурдоперевода, выявлены их преимущества и недостатки. Рассматривается общий случай перевода (в обе стороны): со звучащего русского на русский язык жестов и наоборот. Предложен новый способ построения семантического блока системы компьютерного сурдоперевода. Для установления соответствия «слово-жест» определены лексические значения слов. Среди множества альтернатив на основе алгоритма семантического анализа за каждым словом закрепляется единственное лексическое значение. Для простых предложений разработаны и реализованы алгоритмы семантического анализа. Предложен способ перевода русского текста на русский жестовый язык на основе сопоставления синтаксических конструкций. Разработана соответствующая библиотека для определения синтаксических конструкций. Для создания архитектуры будущей системы распознавания жестов были рассмотрены существующие аппаратно-программные средства.

**Ключевые слова:** русский жестовый язык, компьютерный сурдоперевод, семантический анализ, синтаксические конструкции, средства распознавания жестовой речи.

*Manueva Y.S., Grif M.G., Kozlov A.N. Computer Sign Language Interpretation System Development of Russian Language.*

**Abstract.** In the article review of the existing systems of computer sign language is provided and their advantages and disadvantages are identified. The synchronic aspect of these systems was considered. The general case of translation (both sides) from sounding Russian on Russian sign language and vice versa is observed. A new method for constructing a semantic unit of computer sign language is proposed. Lexical meanings of words are defined to match the correspondence "word-gesture". Among the many words alternatives based on the semantic analysis algorithm for each word necessary lexical meaning is confirmed. For simple sentence semantic analyses algorithms are developed. A translation method of the Russian text into Russian sign language based on a comparison of syntactic structures is proposed. Relevant library is developed to determine the syntax constructions. To create the architecture of the future system for gesture recognition are examined existing hardware and media programs. It is noted that this stage there is no solution that meets the specified requirements, so to get a more accurate result, it is necessary to use a combination of these systems.

**Keywords:** Russian sign language, computer sign language interpretation, semantic analysis, syntax constructions, recognizers of sign language.

---

**1. Введение.** По данным Министерства здравоохранения Российской Федерации количество людей с ограниченными возможностями здоровья по слуху в России растет с каждым днем и уже составляет порядка 13 млн. человек. Почти каждый десятый россиянин имеет различные проблемы со слухом.

В настоящий момент существует язык жестов, специальные школы, различные объединения для реабилитации слабослышащих

людей [1]. Несмотря на то, что жестовые языки задействуют не звуковой, а визуально-кинестический канал передачи информации, по своим фундаментальным свойствам они схожи со звучащими языками, что позволяет причислять их к естественным человеческим языкам и анализировать, используя методы и понятия, разработанные на материале звучащих языков [2].

В качестве помощи данной категории граждан государство бесплатно предоставляет услуги сурдопереводчика в размере 40 часов в год [3]. Очевидно, что такого объема услуг переводчика недостаточно. В связи с этим возникает необходимость в использовании мультимедийных компьютерных систем, которые будут переводить речь на язык жестов и наоборот.

Рассмотрим диахронический аспект развития систем компьютерного сурдоперевода, проведем краткий обзор каждой системы и определим преимущества и недостатки систем. Система Zardoz является системой перевода с английского языка на язык жестов с использованием языка-посредника (интерлингвы). Преимуществом логических суждений и именованных слотов является то, что здравый смысл и другие компоненты рассуждения в системе помогают легко получить семантическую информацию. Из-за большой трудоемкости применение системы возможно только для ограниченного количества предметных областей. На настоящий момент внедрена инфраструктура системы Zardoz, включая разбор, интерлингву, генерацию и анимацию компонентов. Текущие исследования сосредоточены на разработке более всеобъемлющей грамматики, морфологии и лексики для ирландского языка жестов [4].

Система TEAM (TranslationfromEnglishtoASLbyMachine) – это система машинного перевода с английского языка на американский жестовый язык. Перевод в системе TEAM состоит из двух этапов: первый- перевод введенного предложения с английского языка на промежуточное представление с учетом синтаксической, грамматической и морфологической информации, второй - отображение промежуточного представления в виде движения с небольшим набором параметров, которые в дальнейшем преобразуются в большее число параметров, которые управляют моделью человека, воспроизводящей жесты. Гибкость системы позволяет адаптировать ее другим жестовым языкам [5].

Проект ViSiCAST является упрощенной системой, которая фиксирует движения и жесты человека сурдопереводчика, а затем эти координаты рук переводчика передаются для последующего анализа, чтобы получить реалистичного аватара. Система ViSiCAST имеет инновационные разработки двух форматов: «BAF» формат для упрощенной сис-

темы на основе захвата движения и язык жестов разметки (SiGML) для передачи полученной анимации на основе обозначение жеста [6].

Ни одна из зарубежных систем не может обрабатывать входную информацию, поступающую в виде голоса. Для систем перевода, которые направлены именно на устный перевод, этот недостаток является существенным. Жестовые языки от звучащих отличаются тем, что используют пространственную информацию вокруг говорящего. Следовательно, в данных системах необходим учет специфики жестового языка. Специфика воспроизведения жестов учитывается только в системе Team. Для более качественного перевода недостаточно только морфологической и синтаксической информации. В системе Zardoz делаются попытки учета семантической составляющей жестового языка. Технология перевода в системе ViSiCAST включает привлечение человека в процесс перевода, что является основным недостатком данной системы. Все системы отображают жесты с использованием аватара, но только в системе ViSiCAST достигнута максимальная реалистичность. Основным недостатком рассмотренных выше систем является отсутствие учета семантической составляющей как звучащего, так и жестового языка. Учет семантической составляющей в процессе перевода является большим преимуществом системы, обладающей таким свойством. Качество перевода заметно повышается за счет этого улучшения. Для достижения наилучшего результата необходимо учитывать особенности семантики исходного языка и язык перевода.

Целью данной статьи является описание способа построения системы компьютерного сурдоперевода русского языка на основе словаря семантических отношений В.А. Тузова, алгоритма сопоставления синтаксических конструкций, а также существующих аппаратно-программных средств распознавания жестовой речи.

**2.Общая схема компьютерного перевода русского речи (текста) на русский жестовый язык.** Современные системы компьютерного перевода основываются на трехчленной модели Шаляпиной [7]. Данная модель состоит из трех подсистем: анализ исходного текста, анализ межязыковых преобразований и синтез жестовой речи.

Компьютерный переводчик также должен обеспечивать:

- 1) загрузку текста;
- 2) визуализацию результатов перевода;
- 3) возможность изменения структуры системы (расширение, изменение словарей) [8].

Заключительным этапом перевода является визуализация жестового языка. Существует два варианта реализации: фотосъемка модели, демонстрирующей определенные жесты, и сохранение их в базе

данных системы; создание для демонстрации жестов виртуального персонажа [9]. Система компьютерного сурдоперевода включает в себя следующие модули [10]:

1. Модуль распознавания русского звучащего языка (РЗЯ). В базовом варианте разрабатываемой системы применяется сервис Google;

2. Модуль анализа русского текста, включая подсистемы морфологического, синтаксического и семантического анализа. Данный модуль в существенной степени опирается на свободно распространяемые коды (система Диалинг) [11];

3. Модуль перевода русского текста на инструкции (команды) для отображения на русский жестовый язык (РЖЯ) [12]. Данный модуль использует взаимосвязь грамматических систем указанных языков;

4. Модуль визуализации РЖЯ на основе компьютерного манекена человека (аватар) сурдопереводчика. Система управления данного аватара основана на гамбургской системе нотаций [13].

**3. Семантический анализ русского текста.** Смысл единицы русского языка зависит от ее соотношения с остальными единицами языка и от ее лексической и синтаксической сочетаемости с ними. Единицы языка объединяются в группы по общим признакам, например, в группу под названием человек могут входить такие подгруппы как родственник, национальность, профессия [14]. Проблема разрешения лексической неоднозначности является одной из приоритетных проблем в процессе перевода с одного языка на другой, ведь от правильной работы семантического модуля зависит смысл всего текста. Особый интерес в данном вопросе представляют омонимы и фразеологизмы.

О.С. Ахманова под омонимом характеризует омонимы как пару слов или набор слов, принадлежащие тождественным фонемным рядам и разница между которыми носит семантический или грамматический характер [15]. Цель семантического анализа состоит в моделировании значений слов в предложениях. Для достижения данной цели необходимо разрешить лексическую многозначность (омонимию).

Значения слов определяются с использованием словаря В.А.Тузова [16]. Модуль семантического анализа начинает свою работу после выполнения морфологического и синтаксического анализа. Входная информация представляет собой текстовую строку, полученную после этапа распознавания речи. Процесс семантического анализа состоит из двух частей: первичного семантического анализа и семантического анализа. Первый этап основан на работе системы «Русско–

английского машинного перевода Диалинг» [11]. Цель подготовительного этапа - получение начальной формы каждого слова, морфологических характеристик и семантических отношений. В системе Диалинг основополагающим семантическим понятием является понятие семантического отношения. Определим семантическое отношение как универсальную связь, которая усматривается носителем языка в конкретном контексте. Основная идея списка отношений заключается в том, что связи в тексте можно определить через предложенные отношения или через их композицию. Большинство существующих семантических отношений считаются универсальными [17].

В работе В.А.Тузова «Компьютерная семантика русского языка» каждое слово представляется как валентная структура, состоящая из набора актантов [16]. Каждый актант описывается набором характеристик, описанных в формуле 1:

$$A_i = \{CN_i, BL_j, SD_k, MD_l, C_m, SP_p\}, \quad (1)$$

где  $CN_i$  – номер класса,  $i=1...N$ ,  $BL_j$  – базисная лексема,  $j=1...M$ ,  $SD_k$  – семантическое описание,  $k=1...P$ ,  $MD_l$  – морфологическое описание,  $l=1...S$ ,  $C_m$  – комментарий,  $m=1...L$ ,  $SP_p$  – часть речи,  $p=1...W$ .

Основная семантическая информация содержится в номере класса, но кроме этого может содержаться и дополнительная информация [17]. Фрагмент классификатора представлен в таблице 1, в которой отражено количество слов для конкретного номера класса.

Таблица 1. Фрагмент классификатора

Номер класса	Имя класса	Количество слов
\$1 <sup>a</sup>	Noun	88
\$110	Noun. Abstract notion(AN)	4
\$1100/01	Noun. (AN) – abstract–concrete	2

Например, семантическое описание для глагола ехать имеет вид:

- 1) \$15402(N%~ВЕРХОМ\$0(Oper01(!Им,ПОЕЗДКА\$15402(ПО ДАТ:НЕЧТО\$1~!поДат,ОТКУДА:НЕЧТО\$1~!Откуда,КУДА:НЕЧТО\$1~!Куда,НАПРЕД:ТРАНСПОРТ\$121324(НАПРЕД:ЖИВОТНОЕ\$12422~!наПред)))) {г1бнН 24947} <1>
- 2) N%~ПОЕЗДКА\$15402(Oper01(!Им,ПОЕЗДКА\$15402(ПОЧЕМУ:ПРИЧИНА\$1/37/05\ПРИКАЗ\$1526031~!Почему,ПОД

АТ:НЕЧТО\$1~!поДат,ОТКУДА:НЕЧТО\$1~!Откуда,КУДА:  
 НЕ-  
 ЧТО\$1~!Куда,ТВ:НАПРЕД:ТРАНСПОРТ\$121324~!Тв\!наП  
 ред))) {г16нН 24947} <2>

Как видно из семантического описания глагол ехать имеет две альтернативы. В отдельное значение вынесено устойчивое выражение ехать верхом.

Словарная статья компьютерного семантического словаря содержит заголовочное слово и его толкование на семантическом языке. Большинство слов словаря имеют несколько семантических описаний. Самой многозначной частью речи являются предлоги, количество значений для предлога «в» составляет 239. На основе семантического словаря была разработана база данных, представленная на рисунке 1.

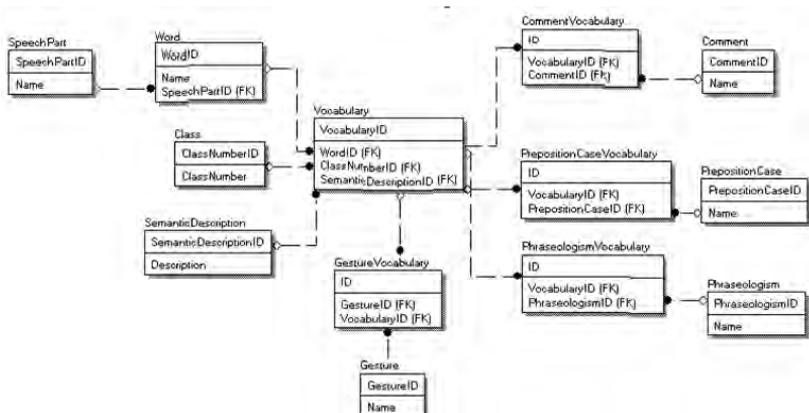


Рис. 1. Логическая модель базы данных системы

Модель системы семантического анализа представлена на рисунке 2. Алгоритм семантического анализа состоит из двух основных этапов. На этапе предварительной обработки происходит пословная обработка текста в пределах одного предложения. Результатом работы этого этапа является список начальных форм слов предложения, их морфологические характеристики и семантические отношения. Информация, полученная на первом этапе, является входной информацией для второго этапа. В ходе исследования был разработан программный комплекс, позволяющий выполнять семантический анализ предложений (рисунок 3).

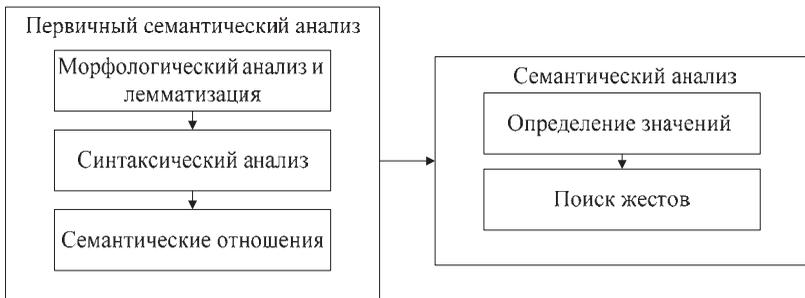


Рис. 2. Семантический анализ текста

Основная задача второго этапа – построение независимых альтернатив в описаниях слова и вычисление семантико-грамматического типа каждой альтернативы, входящей в описание. Эти преобразования выполняются в несколько шагов. На первом шаге определяются альтернативные описания для каждого слова. На втором шаге выполняется следующая вспомогательная работа: нумеруются и идентифицируются все альтернативы каждого слова, выносятся номер семантического класса слова, из семантического описания выносятся все аргументы.

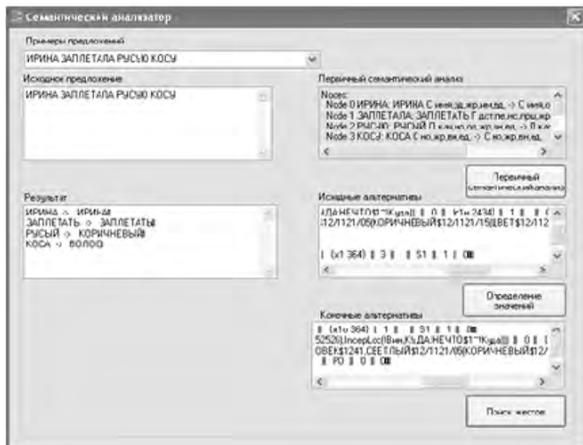


Рис.3. Система семантического анализа

Построенное описание состоит из набора альтернатив, каждая из которых содержит две основные части: морфологическую с указанием семантического класса слова и семантическую. Первая часть альтернативы содержит информацию о том, к каким словам может при-

соединиться данное слово, вторая часть – какие слова оно может присоединить. При сборке во взаимодействие вступают две рядом стоящие конструкции.

Следующий этап работы семантического модуля заключается в обработке фразеологизмов. В семантическом словаре фразеологизмы определены в отдельные альтернативы. Для уменьшения количества альтернатив необходимо сначала обработать фразеологизмы и затем удалить лишние альтернативы у таких слов. Это упростит дальнейшую работу модуля.

Процесс обработки предлогов состоит из двух этапов. Сначала осуществляется поиск предложно-падежных сочетаний. Правильный выбор семантического описания предлога зависит от связанного с ним существительного. В итоге получаем, что каждому предлогу соответствует единственное семантическое описание.

Дальнейшие действия анализатора зависят от вида предложения. Выделим два вида предложений: первый – предложения, в составе которых только одно слово имеет несколько альтернатив, второй случай – в предложении несколько слов с множеством альтернатив. В первом случае цикл отсутствует, и анализируется только одно слово. Все слова разбиваются на 4 категории: глаголы, имена существительные, имена прилагательные и инфинитивы. Анализ зависит от части речи многозначного слова. Алгоритмы в каждом случае различны. Во втором случае анализ происходит в цикле. Каждая итерация начинается с проверки количества слов с множеством альтернатив. Предложение просматривается до тех пор, пока у каждого слова будет только одно семантическое описание. Когда каждому слову соответствует только одна семантическая характеристика, то происходит поиск соответствующего жеста. Результатом работы системы является список соответствия «слово-жест».

**4.Перевод русского текста на РЖЯ на основе сопоставления синтаксических конструкций.** Рассмотрим более детально модуль перевода русского текста на РЖЯ. На данном этапе будем опираться на полученные ранее результаты лингвистического исследования русского жестового языка в части особенностей лексики, словообразования, морфологии, синтаксиса и семантики жестового языка [18] глухих и слабослышащих граждан Российской Федерации, которые используются при разработке компьютерного сурдопереводчика русского языка. Цель описываемых синтактико-семантических преобразований – упрощение текста русского языка за счёт разбиения предложений, представляющих сложные ситуации, на последовательности более

простых предложений. Единицей, над которой осуществляются преобразования, является предложение, содержащее полное причастие.

В результате применения каждого правила преобразования исходное предложение  $\Pi$  разбивается на две части, оформляемые далее в виде предложений  $\Pi_1$  и  $\Pi_2$ , каждое из которых обозначает меньшее число ситуаций, чем  $\Pi$ , и в этом смысле является более простым по сравнению с  $\Pi$ .

В ходе преобразования исходное предложение  $\Pi$  не просто механически разделяется на две части, а подвергается определённым дополнительным модификациям. В частности, причастие заменяется соответствующим глаголом. Для указания на идентичность упоминаемых объектов вводятся местоимения.

Группа *ПРИЧ\_СУЩ* состоит из двух частей: группы существительного (обозначим её через  $Z$ ) и фрагмента типа *ПРЧ*, содержащего причастие, согласованное с главным словом группы  $Z$ .

Группа существительного может представлять собой отдельное существительное (обозначим его через  $S$ ), группу типа *ПРИЛ\_СУЩ* (в группе такого типа главным словом является существительное, которое также будем обозначать через  $S$ ).

Через  $P$  обозначаются полные причастия, входящие в состав фрагмента *ПРЧ* и согласованные между собой по роду, числу, времени. Символ  $P$  служит для обозначения каждого из таких согласованных между собой причастий, и правила преобразования применяются ко всем ним одинаково.

В формуле 2 представлено преобразование для замены причастия на глагол, от которого это причастие образовано.

$$P \rightarrow V(p), \quad (2)$$

где  $P$  – причастие,  $V(P)$  – глагол.

Если необходимо выполнить преобразование типа (2), то данное преобразование применяется к обоим согласованным причастиям. Форма глагола  $V(P)$  определяется типом применяемого правила. Знаки  $Z$ ,  $S$ ,  $P$  могут характеризоваться определённым набором значений индексов:  $X$  – падеж (обозначения падежей стандартные: *им* – именительный, *род* – родительный и т.д.),  $y$  – число,  $z$  – род,  $l$  – лицо,  $t$  – время,  $a$  – залог ( $\delta$  – действительный,  $c$  – страдательный).

$V(P)_{y,z,l,t,a}$  – функция, значением которой является глагол, от которого было образовано причастие  $P_{y,z,l,t,a}$  – этот глагол имеет те же значения параметров  $y, z, l, t, a$ , что и  $P$ .

Применению правила преобразования к некоторому предложению  $\Pi$  предшествует выделение в этом предложении входящего определённой синтаксической конструкции, содержащей причастие. Таким образом  $\Pi$  разделяется на три части: начало предложения –  $НП$ , выделенная синтаксическая конструкция, конец предложения –  $КП$ . В предложении «Плеск дождевых капель, ниспадавших на его поверхность, далеко относил гул» фрагмент  $ПРЧ$  соответствует части «Плеск капель, ниспадавших на его поверхность», следующей за существительным  $S = \text{капель}$ ,  $НП$  – плеск,  $КП$  – далеко относил гул. Эта ситуация будет обозначаться так: [ $НП S ПРЧ КП$ ].

Правила могут заменять или устранять некоторые части исходного текста; а также изменять порядок следования некоторых частей текста. Общее условие применимости: правила данного типа применимы только в том случае, если в результате предшествующего (морфологического и синтаксического) анализа выделена группа  $ПРИЛ\_СУЩ$  и  $P$  – полное причастие. Данный тип правил представлен шестью вариантами (2 правила для причастий действительного залога и 4 правила для причастий страдательного залога). Например, в результате применения правила предложение «Плеск дождевых капель, ниспадавших на его кипящую поверхность, далеко относил гул» будет разделено на два более простых: [дождевые капли ниспадали на его поверхность] [плеск этих капель далеко относил гул].

Нужно заметить, что возможен и перевод на основе базового порядка следования жестов в предложении. Рассмотрим программу компьютерного сурдоперевода русского текста на письменный разговорный русский жестовый язык [10]. Произвольный русский текст (предложение) вводится в программу и подвергается морфологическому, синтаксическому и семантическому анализу. Затем формируется стандартная схема предложения на разговорном русском жестовом языке: подлежащее, определение, обстоятельство, сказуемое, дополнение.

Данная схема последовательно применяется для простых высказываний. Если слову в предложении можно поставить жест, то оно заменяется на гамбургскую систему нотаций для данного жеста. Если нет – то переводится дактильной азбукой в данной системе нотаций. Для снятия многозначности показа жеста используется база онтологий. Проводится анализ на возможность параллельного показа высказыва-

ний. Программная реализация синтаксических преобразований предложений, содержащих конструкции с полными причастиями, представляет собой библиотеку, в которой инкапсулируется процесс обработки текста. В результате изоляции логики в кодовой библиотеке (.dll-сборке) .NET различные приложения с любыми пользовательскими интерфейсами (консольный, в стиле рабочего стола, в веб-стиле и т.д.) могут обращаться к существующей библиотеке даже независимо от языка.

С целью анализа текста на естественном русском языке библиотека обеспечивает:

- 1) загрузку текста и инициализацию необходимых компонентов системы Диалинг;
- 2) разбиение текста на предложения и организацию процедуры преобразования предложений;
- 3) морфологический и синтаксический анализ каждого предложения (построение дерева зависимостей предложения);
- 4) перевод каждого предложения с применением правил синтаксических преобразований (построение дерева перевода предложения).

**5. Анализ аппаратно-программных средств распознавания жестовой речи.** Основная проблема распознавания жестовой речи состоит в том, что распознать отдельные жесты недостаточно. Необходимо распознавать непрерывную жестовую речь, ее смысл. Рассмотрим существующие аппаратно-программные средства и основные подходы, которые используются для решения данной проблемы. Все устройства, которые применяются для распознавания жестов, делятся на две группы: устройства, основанные на видеоданных и устройства, которые используют датчики: акселерометр, гироскоп и магнетометр. Лучший результат дают системы, которые помимо RGB сенсора имеют IR Depth сенсор (сенсор глубины) для распознавания жестов на небольшом расстоянии.

Одним из примеров удачного технического решения является камера от компании Creative. Она содержит два микрофона, позволяющих значительно улучшить качество распознавания речи, встроенную RGB и инфракрасную камеры [19].

Бесконтактный контроллер Kinect, разработанный фирмой Microsoft, имеет RGB сенсор, инфракрасный излучатель и ИК сенсор. Kinect применяется на дистанции от 1.8 до 3 метров, в то время как камера от Creative работает от 15 см до 1 метра. Другим различием является то, что Creative больше подходит для распознавания жестов, идентификации и треккинга объектов, рук, лица, их синтеза, распозна-

вания голоса, в то время как функционал Kinect направлен на идентификацию и распознавание жестов и контура тела человека для выделения человека в окружающей среде дома [19, 20].

Еще один контроллер, который относится к этой категории - это Leap Motion. Leap Motion – это небольшое устройство размером с 3G-модем, несет в себе Monochromatic IR cameras – 2 шт и Infrared LEDs – 3 шт. Leap Motion отслеживает все 10 пальцев с точностью до 1/100 миллиметра. Устройство имеет угол обзора в 150 градусов по оси Z для определения высоты [20].

Другим интересным применением Leap Motion стали очки виртуальной реальности Oculus Rift (рисунок 4). Здесь контроллер, прикреплен на самих очках и используется для распознавания рук пользователя.



Рис. 4. Очки виртуальной реальности OculusRift и контроллер LeapMotion

Вторая группа устройств – устройства, основанные на использовании данных акселерометра, гироскопа и магнитометра. В основном данные устройства используются только для человеко-компьютерного взаимодействия. В настоящее время на рынке только начинают появляться системы, которые получая данные акселерометра и гироскопа, могли бы использоваться для сурдоперевода. На данный момент большинство из них являются прототипами, например, кольца, перчатки, браслеты с набором датчиков. Компании, которые разрабатывают эти устройства, находятся на этапе привлечения денег в краудфандинговых платформах. Поэтому готовые продукты можно ожидать не раньше, чем во второй половине 2015 года.

Устройством, которое должно решить проблему распознавания движения – может оказаться браслет MYO компании Thalmic Labs, рисунок 5.



Рис. 5. Браслет MYO компании Thalmic Labs

Браслет содержит в себе 3-х осевой акселерометр, 3-х осевой гироскоп, а также 3-х осевой магнетометр, но основной особенностью устройства является наличие специального датчика, который получает информацию, считывая электрические импульсы в мышцах движущейся руки. Устройство запрограммировано на игнорирование случайных движений [20].

**6. Заключение.** В данной работе предложен способ построения системы компьютерного сурдоперевода русского языка. Рассмотрен диахронический аспект развития систем компьютерного сурдоперевода. Проанализированы существующие системы перевода на жестовый язык, выявлены их преимущества и недостатки. Предложен новый способ построения семантического блока системы компьютерного сурдоперевода. Результатом работы системы семантического анализа является список соответствий «слово-жест». Среди множества альтернатив слов на основе алгоритма семантического анализа, за каждым словом закрепляется единственное лексическое значение. Для простых предложений разработаны и реализованы алгоритмы семантического анализа. К наиболее приоритетным направлениям модификации модуля семантического анализа можно отнести следующие: расширение базы жестов, осуществление разбора сложных предложений, добавление учета в алгоритме анализа специфики русского жестового языка. Предложен новый способ перевода на основе сопоставления синтаксических конструкций. Разработана соответствующая библиотека для определения синтаксических конструкций. Для создания архитектуры будущей системы распознавания жестов были рассмотрены существующие аппаратно-программные средства.

## Литература

1. Постановление Правительства РФ от 17 марта 2011 г. №175 "О государственной программе Российской Федерации "Доступная среда" на 2011 - 2015 годы".
2. *Прозорова Е.В.* Российский жестовый язык как предмет лингвистического исследования // Вопросы языкознания. М.: 2007. С. 44-61.
3. Постановление от 25 сентября 2007 г. № 608 «О порядке предоставления инвалидам услуг по сурдопереводу за счет средств федерального бюджета».
4. Cross modal comprehension in ZARDOZ an English to sign-language translation system. URL: <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=1641450> (дата обращения: 25.10.2014).
5. A Machine Translation System from English to American Sign Language. URL: <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=749243> (дата обращения: 25.03.2014)
6. *Wakefield M.* VisiCAST Milestone: Final Report // 2002. 97p.
7. *Шалыпина З.М.* К проблеме построения формальной модели процесса перевода // Материалы всесоюзной научной конференции «Теория перевода и научные основы подготовки переводчиков». 1975. С. 165–172.
8. *Гриф М.Г., Королькова О.О.* Разработка компьютерного сурдопереводчика звучащей речи на разговорный русский жестовый язык // Информатика: проблемы,

методология, технологии. Материалы XI международной научно-методической конференции (10-11 февраля 2011 г.): в 3 т. Т. 1. Воронеж: Воронежский государственный университет. 2011. С. 206-208.

9. Гриф М.Г. Методы и технологии компьютерного сурдоперевода: учебное пособие // Новосибирск: НГТУ. 2012. 71с.
10. Гриф М.Г., Королькова О.О., Панин Л.Г., Тимофеева М.К., Цой Е.Б. Лексические и грамматические аспекты разработки компьютерного сурдопереводчика русского языка: монография // Новосибирск: Изд-во НГТУ. 2013. 292 с.
11. Сокирко А. Семантические словари в автоматической обработке текста (по материалам системы Диалинг) // Канд. дисс., МПИИЯ. М., 2000. 108 с.
12. Grif M.G., Demyanenko Y.A., Korolkova O.O., Tsoy Y.B. Development of Computer Sign Language Translation Technology for Deaf People // Proc. of the 6<sup>th</sup> International Forum of Strategic Technology (IFOST 2011). 2011. pp. 674-677.
13. Grif M.G., Korolkova O.O., Tsoy Y.B. On Peculiarities of the Russian Language Computer Translation into Russian Sign Language for Deaf People // Proceedings of the 2<sup>nd</sup> Indo-Russian Joint Workshop on Computational Intelligence and Modern Heuristics in Automation and Robotics. Novosibirsk, NSTU. 2011. pp. 219-222.
14. Королькова О.О. Особенности словообразования русского жестового языка / Под. ред. Березина О.А., Грушецкая Е.Н., Ицкович Т.В. и др. Современная лингвистика и межкультурная коммуникация: монография // Красноярск: Научно-инновационный центр, 2012.С. 98-152.
15. Ахманова О.С. Словарь омонимов русского языка // М.: Советская энциклопедия. 1974. 451с.
16. Тузов В.А. Компьютерная семантика русского языка: учебное пособие // СПб: СПбГУ. 2003. 391с.
17. Словарь сочетаемости слов русского языка / Под ред. П.Н. Денисова и В.В.Морковкина 2-е изд. // М.: Русский язык. 1983. 685 с.
18. Королькова О.О. Морфология русского жестового языка / Под. ред. Березина О.А., Бизюков Н.В., Королькова О.О. и др. Лингвистика и межкультурная коммуникация: монография. Кн. 3. // Красноярск: Научно-инновационный центр. 2011. С. 60-87.
19. Гриф М.Г., Козлов А.Н. Сравнительный анализ программно-аппаратных средств в задачах распознавания жестовой речи // Сборник трудов НГТУ. Новосибирск, 2014. С. 63–72.
20. Браслет МЮО и мир Будущего. URL: <http://www.3dnews.ru/645483> (дата обращения: 20.10.2014).

## References

1. *Postanovlenie Pravitelstva RF ot 17 marta 2011g. N 175 "O Gosudarstvennoy programme Rossiiskoi Federacii "Dostopnay sreda" na 2011-2015 gody"* [Russian Federation Government Resolution dated March 17 , 2011 N 175 " On the State Program of the Russian Federation " Accessible Environment " for 2011 - 2015]. (In Russ).
2. Prozorova E.V. [Russian sign language as an object of linguistic research]. *Voprosy i razresheniya – Problems of Linguistics*. М., 2007. pp. 44-61 (In Russ).
3. *Postanovlenie ot 25 sentyabry 2007 g. N 608 "O porydke predostavleniy invalidam uslug po surdoperevodu za schet sredstv federalnogo budzeta"* [The decision of September 25, 2007 № 608 "On the procedure of Sign language interpretation services for the disabled at the expense of the federal budget "]. (In Russ).
4. Cross modal comprehension in ZARDOZ an English to sign-language translation system. Available at: <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=1641450> (Accessed: 25.10.2014).
5. A Machine Translation System from English to American Sign Language. Available at: <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=749243/> (Accessed: 25.03.2014).

6. Wakefield M. VisiCAST Milestone: Final Report. 2002. 97p.
7. Shalypina Z.M. [In the problem of constructing a formal model of the translation process]. *Materialy vsesojuznoj nauchnoj konferencii «Teoriya perevoda i nauchnye osnovy podgotovki perevodchikov»* [Proceedings of the All-Union Scientific Conference "Theory of Translation and scientific bases of training of translators"]. 1975. pp. 165-172. (In Russ).
8. Grif M.G., Korolkova O.O. [Development of computer sign language interpreter sounding speech at conversational Russian sign language]. *Informatika:problemi, metodologiya, tehnologii. Materiali XI meshdunarodnoi nauchno-metodicheskoi konferencii* [Computer science: problems, methodology, technology. Proceedings of the XI International Scientific Conference]. 2011. pp 206-208. (In Russ).
9. Grif M.G. *Metodi I tehnologii kompyuternogo surdoperevoda: uchebnoe posobie* [Methods and techniques of computer sign language: a tutorial]. Novosibirsk: NGTU. 2012. 71 p. (In Russ).
10. Grif M.G., Korolkova O.O., Panin L.G., Timofeeva M.K., Tsoi E.B. *Leksicheskie i grammaticheskie aspekt razrabotki kompyuternogo surdoperevodchika russkogo yazika: monografiyu* [Lexical and grammatical aspects of the development of computer sign language Russian language: monograph]. Novosibirsk: NGTU. 2013. 292 p. (In Russ).
11. Sokirko A. *Semanticheskie slovari v avtomaticheskoi obrabotke teksta (po materialam sistemi Dialing)* [Semantic dictionaries in automatic text processing (based on the system Dialing)]. Kandy. diss., MPIYA. M., 2000. 108 p. (In Russ).
12. Grif M.G., Demyanenko Y.A., Korolkova O.O., Tsoy Y.B. Development of Computer Sign Language Translation Technology for Deaf People. Proc. of the 6<sup>th</sup> Internation Forum of Strategic Technology (IFOST 2011). 2011. pp. 674-677.
13. Grif M.G., Korolkova O.O., Tsoy Ye.B. On Peculiarities of the Russian Language Computer Translation into Russian Sign Language for Deaf People. Proceedings of the 2-nd Indo-Russian Joint Workshop on Computational Intelligence and Modern Heuristics in Automation and Robotics. Novosibirsk, NSTU. 2011. pp. 219-222.
14. Korolkova O.O. [Features derivation Russian Sign Language]. Eds.: Berezina O.A., Grusheskaya E.N., Itskovich T.V., etc. *Sovremennaya lingvistika I meshkulturnaya kommunikasia: monografiua* [Modern linguistics and intercultural communication: a monograph]. Krasnoyarsk: Research and Innovation Center. 2012. pp. 98-152. (In Russ).
15. Ahmanova O.S. *Slovar omonimov russkogo yusika* [Dictionary of homonyms Russian language]. M: Soviet Encyclopedia. 1974. 451 p. (In Russ).
16. Tuzov V.A. *Kompiuternaya semantika usskogo yazika: uchebnoe posobie* [Computer semantics of the Russian language: a tutorial]. St. Petersburg. 2003. 391p. (In Russ).
17. *Slovars ochetaemosti slov russkogo yazika* [Collocations Dictionary of Russian]. Eds. Denisov P.N., Morkovkina V.V., M.: Russian language. 1983. 685p. (In Russ).
18. Korolkova O.O. [Morphology of Russian gesture language]. Eds.: Berezina O.A., Bisukov N.V., Korolkova O.O. *Lingvistika i meshkulturnay kommunikasia: monografiua* [Linguistics and Intercultural Communication: a monograph]. Krasnoyarsk: Research and Innovation Center. 2011. pp. 60-87. (In Russ).
19. Grif M.G., Kozlov A.N. [Comparative analysis of software and hardware in pattern recognition of sign language]. *Sbornik trudov NGTU – Proceedings of the NSTU*. Novosibirsk, 2014. pp. 63-72. (In Russ).
20. *Braclet MYO I mir Budushhego* [Braclet MYO and the World of Tomorrow]. Available at: <http://www.3dnews.ru/645483> (Accessed: 20.10.2014). (In Russ).

**Мануева Юлия Сергеевна** — Аспирант, кафедра автоматизированных систем управления Новосибирский государственный технический университет (НГТУ). Область научных интересов: семантические модели языка. Число научных публикаций — 10.

juleno4eknot1@rambler.ru; 630087 Новосибирск ул. Немировича-Данченко 138 к.523; р.т. 89231132906.

**Manueva Yulia Sergeevna** — Ph.D. student, department of Automated control systems, Novosibirsk State Technical University. Research interests: semantic models in translation. The number of publications — 10. juleno4eknot1@rambler.ru; 630087 Novosibirsk St.Nemirivich-Danchenko 138 ap.523; office phone +79231132906.

**Гриф Михаил Геннадьевич** — д-р техн. наук, заведующий кафедрой автоматизированных систем управления Новосибирский государственный технический университет (НГТУ). Область научных интересов: методы проектирования и оптимизации человеко-машинных систем, системы компьютерного сурдоперевода. Число научных публикаций — 220. grifmg@mail.ru; пр. К.Маркса, 20, Новосибирск, 630092; р.т. +7(383) 346-15-59, факс +7(383)346-11-00.

**Grif Mikhail Gennadyevich** — Ph.D., Dr. Sci., head of department, Department of Automated Control Systems of Novosibirsk State Technical University (NSTU). Research interests: methods of designing and optimization of man-machine systems, systems of sign language machine translation. The number of publications — 220. grifmg@mail.ru; prospect Karla Marksa 20, Novosibirsk, 630092, Russia; phone +7(383) 346-15-59, fax +7(383)346-11-00.

**Козлов Андрей Николаевич** — Аспирант, кафедра автоматизированных систем управления Новосибирский государственный технический университет (НГТУ). Область научных интересов: системы человеко-машинного взаимодействия. Число научных публикаций — 2. andrey.n.kozlov@gmail.com; ул. Немировича-Данченко, 136, Новосибирск, 630087; р.т. +79133937939.

**Kozlov Andrei Nikolaevich** — Ph.D. student department of Automated control systems, Novosibirsk State Technical University. Research interests: human-machine communication system. The number of publications — 2. andrey.n.kozlov@gmail.com; street Nemirivich-Danchenko 136, Novosibirsk, 630087; office phone +79133937939.

## РЕФЕРАТ

*Мануева Ю.С., Гриф М.Г., Козлов А.Н.* **Построение системы компьютерного сурдоперевода русского языка.**

Целью данной статьи является описание способа построения системы компьютерного сурдоперевода русского языка на основе словаря семантических отношений В.А. Тузова, алгоритма сопоставления синтаксических конструкций, а также существующих аппаратно-программных средств распознавания жестовой речи.

Статья состоит из 6 основных частей: введения; общей схемы компьютерного перевода русского речи (текста) на русский жестовый язык; семантического анализа русского текста; перевода русского текста на РЖЯ на основе сопоставления синтаксических конструкций; анализа аппаратно-программных средств распознавания жестовой речи.

Во введении описываются основные проблемы, которые возникают у слабослышащих людей, а также рассматриваются существующие системы компьютерного сурдоперевода, анализируются их достоинства и недостатки, обозначается актуальность задачи. Во второй части представлена общая схема компьютерного перевода русского речи на русский жестовый язык. Описаны требования к системе и модули, которые она в себя включает. В третьей части рассматриваются вопросы, посвященные семантике русского языка, представлена компьютерная семантика русского языка В.А.Тузова. Алгоритм семантического анализа состоит из двух этапов: этап предварительной обработки и этап построения независимых альтернатив. В данной части статьи представлен программный комплекс, позволяющий выполнять семантический анализ предложений. В четвертой части статьи рассмотрен модуль перевода русского текста на РЖЯ. Цель описываемых синтактико-семантических преобразований – упрощение текста РЖЯ за счёт разбиения предложений, представляющих сложные ситуации, на последовательности более простых предложений. В пятой части приводится описание аппаратных средств, их сравнительный анализ и общее применение.

## SUMMARY

*Manueva J.S., Grif M.G., Kozlov A.N.* **Sign Language Interpretation System Development of Russian Language.**

The purpose of this article is to describe to reader current systems of computer sign language and show the principle of the transfer from sounding Russian to Russian sign language and vice versa, report about the hardware and software that can be useful for solving the problem of gesture recognition.

The paper consists of six parts: introduction; the general scheme of computer translation from Russian speech (text) to Russian sign language; semantic analysis of Russian text; Russian translation of the text on the RSL based on a comparison of syntactic structures; analysis of hardware and software for recognition of sign language.

The introduction describes the main problems appeared by deaf people, as well as the current systems of computer sign language are considered, their advantages and disadvantages are analyzed, urgency of this task is denoted. In the second part, the general scheme of computer translation from Russian speech to Russian sign language is discussed. Describes the system requirements and units involved are described. In the third part, questions devoted to the semantics of the Russian language is considered, the V.A.Tuzovs computer semantics of Russian is represented. Semantic analysis algorithm consists of two stages: preliminary processing step and step of independent alternatives construction. This part of the article is presented a software package that allowed to perform semantic analysis of sentences. In the fourth part translation module from Russian text to Russian Sign language is explained. The purpose of these described syntactic and semantic transformations is simplification of Russian Sign language text by means of sentence decompositions were difficult situation into simpler sentences sequence. In the fifth part hardware, comparative analysis and general application are described.

И.В. ГАЛОВ, Д.Ж. КОРЗУН  
**ОБЕСПЕЧЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ К СБОЯМ SMART-M3  
ПРИЛОЖЕНИЯ НА УРОВНЕ ПРОГРАММНОЙ  
ИНФРАСТРУКТУРЫ**

---

*Галов И.В., Корзун Д.Ж. Обеспечение устойчивости к сбоям Smart-M3 приложения на уровне программной инфраструктуры.*

**Аннотация.** Платформа Smart-M3 позволяет создавать программные приложения как интеллектуальное пространство, в котором агенты, выполняемые на разнообразных устройствах вычислительной среды, взаимодействуют через совместное накопление и использование информации. Актуальной задачей является поддержка работоспособности приложения в условиях возникновения сбоев за счет делегирования функций хранения выделенному элементу инфраструктуры приложения. Второе решение состоит из механизмов восстановления сетевых соединений. Для экспериментального исследования используется существующее Smart-M3 приложение — система интеллектуального зала SmartRoom. На ее примере показана эффективность применения предлагаемых решений.  
**Ключевые слова:** интеллектуальные пространства, платформа Smart-M3, Интернет физических устройств, работоспособность приложения, программная инфраструктура, восстановление от сбоев.

*Galov I.V., Korzun D.G. Fault Tolerance Support for a Smart-M3 Application on the Software Infrastructure Level.*

**Abstract.** The Smart-M3 platform allows constructing software applications consisting of agents that interact by sharing information in a smart space. An important problem is dependability of the application in case of failures, which is a common place for existing networked environments. In this paper, we consider a generic software infrastructure for Smart-M3 applications and propose two solutions to support the application fault tolerance. Our first solution is introduction of a content service, which provides safety of volumetric data and their integrity due to delegation of storage functions to a separate element of the application infrastructure. The second solution is mechanisms for network connections recovery. For experimental case study, we use an existing Smart-M3 application — the SmartRoom system. Based on this case we show effectiveness of the proposed solutions.

**Keywords:** Smart Spaces, Smart-M3 platform, Internet of Things, fault tolerance, software infrastructure, fault recovery.

---

**1. Введение.** Рассматривается класс вычислительный сред, локализованных в ограниченном физическом пространстве с множеством разнообразных вычислительных устройств и использующих технологии Интернета физических устройств (от англ. Internet of Things, далее — IoT) для организации сетевого взаимодействия друг с другом и с внешними системами (напр., веб-сервисами из сети Интернет). Интеллектуальное пространство (ИП), разворачиваемое в такой IoT-среде, обеспечивает программное приложение средствами [1-4] для

а) построения сервисов разнородными динамическими участниками на основе их взаимодействия через разделение накапливаемой информации и извлечение из нее знаний и б) доставки сервисов конечному пользователю через доступные интерфейсные устройства.

Платформа Smart-M3 [5] является исследовательским прототипом с открытым кодом для создания ИП в IoT-средах. Программное приложение (далее — Smart-M3 приложение) строится как система взаимодействующих друг с другом программных агентов, называемых процессорами знаний (от англ. knowledge processor, далее — агент *КР*) и работающих на вычислительных устройствах IoT-среды. Агенты *КР* взаимодействуют друг с другом через обмен информацией, используя семантического информационного брокера (от англ. semantic information broker, далее — брокер *SIB*). Он управляет доступом к общему информационному содержанию ИП, реализуя косвенное взаимодействие агентов [6, 7]. Особая роль отводится операции подписки, позволяющей агенту *КР* отслеживать происходящие изменения информационного содержимого [8].

В данной работе исследуется задача обеспечения устойчивости к сбоям Smart-M3 приложений. Работоспособность таких приложений подвержена частым сбоям как в IoT-среде (включая ее сетевую компоненту), так и в работе инфраструктурных элементов ИП и самого приложения. Как правило, устойчивость к сбоям заключается в возможности приложения предоставлять сервисы в условиях возникновения сбоев [9]. В случае Smart-M3 приложений наиболее чувствительной к сбоям является операция подписки. Такие проблемы, как разрыв сетевого соединения или потеря оповещения подписки приводят к сбоям, нарушающим работоспособность приложения.

Повысить работоспособность приложения можно на уровне его инфраструктуры [10]. В данной статье выделено понятие программной инфраструктуры Smart-M3 приложения и предлагаются два решения для обеспечения устойчивости к сбоям. Первое решение дополняет инфраструктуру приложения сервисом для хранения объемных данных, предотвращая их повреждение при сбоях. Второе предлагаемое решение определяет механизмы, реализуемые каждым инфраструктурным агентом *КР*, для восстановления после сбоев подписки.

**2. Обзор работ.** Вопросы построения инфраструктуры для приложений ИП рассматриваются, например, в [10-13]. Примером платформы для создания приложений на основе многоагентных систем может служить платформа SISS [11]. Она, в частности, определяет многоуровневую программную инфраструктуру: уровень коммуникации обеспечивает качество сервиса и бесперебойность работы при сетевом взаимодействии

агентов, уровень координации поддерживает совместную работу агентов, а уровень сервисов содержит общие разделяемые сервисы.

В работе Wang и др. [12] предложен класс инфраструктур для ИП, основанных на технологиях Семантического Веб. Такие инфраструктуры ориентированы на явное представление данных и их семантики, на возможности поисковых запросов и выполнения на их основе рассуждений в различных контекстах.

В работе Sathish и di Flora [13] представлен программный каркас для разработки инфраструктур в ИП. Он рассчитан на инфраструктуры с динамическим построением сервисов, а также учитывает вопросы безопасности и конфиденциальности. Инфраструктура состоит из нескольких модулей: представление и обеспечение доступа к данным, хранилище и менеджер данных, репозиторий внешних данных и поддержка безопасности и конфиденциальности.

В работе da Costa и др. [10] рассмотрены инфраструктуры для сред повсеместных вычислений и сформулированы ключевые особенности их разработки. Предложена архитектурная модель, в которой работоспособность приложения позиционируется как одно из ключевых свойств, наравне с неоднородностью, расширяемостью и интероперабельностью. Следует отметить важное заключение авторов, что в системах повсеместных вычислений должны применяться такие стратегии обнаружения сбоев и восстановления, как контрольные точки, компенсация, изоляция и реконфигурация.

Вышеперечисленные работы определяют важные свойства, модели и примеры инфраструктур приложений ИП. В то же время, эти результаты неприменимы напрямую к Smart-M3 приложениям — либо из-за высокой абстрактности инфраструктур, либо, наоборот, из-за специализации инфраструктуры для частного случая.

Распространенным подходом для повышения устойчивости к сбоям в многоагентных системах является реплицирование [14]. В систему добавляются копии агентов, которые используются при возникновении сбоев в оригинальных агентах. В работе [15] предлагается использование дополнительных агентов, которые контролируют остальные агентов и обнаруживают сбои. Для платформы Smart-M3 в работе Васильева и др. [16] предложен механизм для замены агента, в котором произошел сбой, на другого. Очевидно, что такие механизмы требуют увеличения инфраструктуры приложения, пропорционального числу агентов. В данной статье нами предлагаются решения, не требующие такого значительного расширения инфраструктуры.

В работе [17] рассматриваются различные подходы для повышения устойчивости к сбоям в грид-системах. В частности, помимо репликации, выделяется стратегия реконфигурации, которая заключа-

ется в обнаружении сбоя и восстановлении состояния системы после сбоя. Этот подход используется в предлагаемом нами далее решении восстановления подписки после сбоя.

**3. Инфраструктура Smart-M3 приложения.** В общем случае, под инфраструктурой понимаются средства, которые делают возможным функционирование приложения [18]. Она включает в себя программно-аппаратное обеспечение и вычислительную среду. В данной работе мы развиваем понятие инфраструктуры Smart-M3 приложения, начатое ранее в [19-21].

Определим программную инфраструктуру Smart-M3 приложения как состоящую из брокера SIB и тех агентов KP, которые непосредственно отвечают за построение и доставку сервисов (рисунок 1). Таких агентов KP называют инфраструктурными [19]. Программная инфраструктура зависит от вычислительных устройств IoT-среды, сетевой аппаратуры и системного ПО, обеспечивающих выполнение брокера SIB, инфраструктурных агентов KP и их сетевого взаимодействия в рамках заданного приложения.



Рис. 1. Инфраструктура Smart-M3 приложения

Процесс установки, настройки и запуска основных элементов инфраструктуры на устройствах вычислительной среды называется развертыванием. Выделим три варианта развертывания инфраструктурных агентов KP (таблица 1).

Таблица 1. Развертывание инфраструктурного агента KP

Вариант развертывания	Особенности
1. Рядом с брокером SIB	Запуск основных сервисов в режиме 24/7. Простота установки и управления.
2. Рядом с аппаратурой	Взаимодействие с определенным типом устройств.
3. На отдельном сервере	Требуется трудоемкая обработка данных. Посредник между внешними источниками данных и сервисами.

Вариант 1 подразумевает запуск агента *КР* на той же ЭВМ, где запущен брокер *SIB*. Если брокер *SIB* запущен на серверной ЭВМ, то агент *КР* может функционировать постоянно, выполнять ресурсоемкие операции и получать доступ к информационному содержанию ИП с небольшой сетевой задержкой.

В варианте 2 агент *КР* запускается на отдельном компьютере, который непосредственно взаимодействует со специализированной аппаратурой для предоставления сервиса (проектор, интерактивная доска, сенсор, камера, микрофон и т.п.). Такие агенты *КР* могут служить посредниками для маломощных устройств, на которых нельзя запустить полноценных агентов *КР* (напр., сенсоры).

Вариант 3 заключается в запуске агента *КР* на серверной ЭВМ, отличной от ЭВМ с запущенным брокером *SIB*. Вариант предназначен для сервисов, построение которых требует ресурсоемких вычислений. Частный случай — это агенты-посредники, которые устанавливают связь между внешними источниками данных и ИП [22]. Здесь преобразование и синхронизация данных часто являются вычислительно ресурсоемкими. Развертывание на серверной ЭВМ подразумевает широкий диапазон используемых компьютеров: от локальных и корпоративных серверов до облачных систем в Интернет.

На рисунке 2 приведен вариант развертывания инфраструктуры на примере системы интеллектуального зала [20, 21]. Эта система предназначена для автоматизированного проведения таких мероприятий, как конференции, собрания, лекции. Для режима конференции выделены инфраструктурные агенты *КР*, реализующие опорные сервисы управления конференцией (*Conference-service*), программой мероприятия (*Agenda-service*), презентациями докладчиков (*Presentation-service*) и содержанием (*Content-service*).

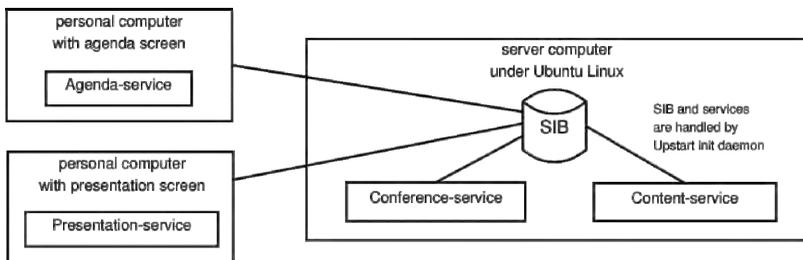


Рис. 2. Программная инфраструктура для опорных сервисов системы интеллектуального зала

Вычислительная среда системы локализована в выделенном помещении (напр., конференц-зал), оснащенном вычислительными и

медиа устройствами. Связь между устройствами обеспечивается проводными и беспроводными локальными сетями. Установлены два экрана: один отображает слайды выступающего, а другой — программу мероприятия. Два проектора для проецирования изображений на эти экраны подсоединены к двум персональным компьютерам. Брокер SIB запускается на серверной ЭВМ. Агенты для сервисов Conference-service и Content-service запускаются на ЭВМ вместе с SIB, чтобы уменьшить время сетевой передачи между агентами и ИП (вариант развертывания 1 в таблице 1). Агенты Agenda-service и Presentation-service запускаются на компьютерах, соединенных с проекторами (вариант развертывания 2).

В общем случае, программная инфраструктура предоставляет средства для функционирования приложения и обеспечивает корректность его работы. Важной характеристикой выступает работоспособность (от англ. термина *dependability*) приложения. Работоспособное приложение предоставляет сервис, которому можно обоснованно доверять [9]. Инфраструктура должна обеспечивать следующие общие свойства работоспособности программного приложения:

- доступность (*availability*): готовность к использованию;
- безотказность (*reliability*): продолжительное предоставление сервиса;
- безопасность (*safety*): отсутствие катастрофических последствий на окружающую среду;
- конфиденциальность (*confidentiality*): предотвращение неавторизованного доступа;
- целостность (*integrity*) используемых и обрабатываемых данных;
- восстановление работоспособности (*maintainability*).

Сбои во время выполнения приложения снижают его работоспособность. Обеспечение устойчивости к сбоям включает методы, позволяющие приложению предоставлять свои сервисы в условиях возникновения сбоев.

В настоящее время, для Smart-M3 приложений характерны проблемы с безотказностью работы и сохранением целостности данных, что приводит к снижению доступности сервисов. Например, сбои в операции подписки приводят к некорректной работе приложения [8] — от перерывов до полного прекращения предоставления сервисов.

Рассмотрим три причины возникновения сбоев, влияющих на работу Smart-M3 приложения: 1) сбои брокера SIB, 2) сбои инфраструктурного агента *KP*, 3) сбои сети передачи данных.

Сбои брокера SIB являются наиболее серьезными, т.к. влияют на работу всех агентов *KP*, взаимодействующих с брокером SIB. Такие

сбои связаны как с внутренними ошибками текущей реализации (статус исследовательского прототипа), так и влиянием нагрузки на брокера SIB при его работе с множеством параллельных агентов, частыми запросами к информационному содержимому ИП и с большими объемами обрабатываемой информации. Сбои инфраструктурного агента возможны как из-за наличия внутренних ошибок, так и из-за динамического участия агента в ИП. Сбои сети передачи данных связаны с ее загруженностью, приводящей к длительным задержкам или потерям данных, что особенно характерно для беспроводных коммуникаций.

Узким местом является операция подписки. Сбои приводят к потерям оповещений от брокера SIB к агентам по подписке (оповещения об изменении данных, на которые подписан агент). В частности, разрыв сетевого соединения для подписки требует от агента *KP* выполнения повторной подписки (перезапуска) [23].

Нами предлагаются два решения для применения в программной инфраструктуре Smart-M3 приложения, ориентированные на обеспечение его устойчивости к сбоям. Во-первых, в качестве одного из элементов инфраструктуры Smart-M3 приложения вводится сервис управления содержимым, который поддерживает целостность объемных данных. Во-вторых, предлагаются механизмы для восстановления подписки после сбоя. Они предназначены для обнаружения проблем с подпиской и последующего восстановления.

**4. Сервис управления содержимым.** Smart-M3 приложения часто требуют работы с объемным фактическими данными [4, 22] (проблемно-ориентированные массивы), которые могут быть получены из внешних источников (веб-сервисы, базы данных, облачные хранилища) или накапливаться во время работы приложения. Так, в рассматриваемом примере системы интеллектуального зала такими данными выступают презентации, аудио/видео материалы, истории произошедших событий.

Концептуально, ИП не подменяет собой хранилище информации, а выступает семантическим центром, позволяющим связать друг с другом разнородные источники данных и фрагменты знаний [3, 4, 24]. Фактические данные, в отличие от динамически меняющихся семантических связей между ними, рекомендуется хранить в специализированных хранилищах, обеспечивающих эффективное хранение и доступ с учетом формата этих данных.

Для хранения объемных данных предлагается в инфраструктуру приложения добавить сервис управления содержимым (Content-service). Какие данные пользователей или других сервисов требуется хранить — определяется логикой приложения на уровне каждого от-

дельного агента *КР*. Нами предлагается технически простое решение на основе известных веб-технологий для организации доступа к файлам. Каждый агент *КР* может загрузить в сервис управления содержимым некоторые данные в виде файла (текст, изображения, аудио, видео) и опубликовать в ИП ссылку на этот файл для использования другими агентами *КР*. Такие данные могут быть загружены и из внешних источников (напр., видео), что позволяет уменьшить время доступа агентов к внешним данным, так как сервис располагается ближе к пользователям. В этом случае, сервис управления содержимым служит кэшем. Другим преимуществом сервиса является удобство его использования в портативных (переносных) системах. Он позволяет накапливать и использовать данные в локальных вычислительных средах, в которых нет доступа к сети Интернет.

Предлагаемая архитектура сервиса управления содержимым представлена на рисунке 3. Сервис реализуется как веб-приложение на языке Python. Для его запуска используется веб-сервер Apache. Взаимодействие веб-сервера с веб-приложением осуществляется через специальный интерфейс WSGI (Web Server Gateway Interface). Сам сервис состоит из трех модулей: логика сервиса, HTML-шаблоны и инфраструктурный агент *КР*. Логика выполняет обработку HTTP-запросов, формирует ответ на основе HTML-шаблонов (шаблоны страниц сервиса), сохраняет полученные файлы (материалы пользователей). Агент *КР* обеспечивает взаимодействие сервиса с ИП: публикация в ИП ссылок на полученные и сохраненные файлы, доступ к необходимой информации из ИП (проверка аутентификации пользователя, уже опубликованные ссылки). Веб-сервер позволяет (агентам *КР*) напрямую обращаться к хранимым файлам по опубликованной в ИП ссылке.

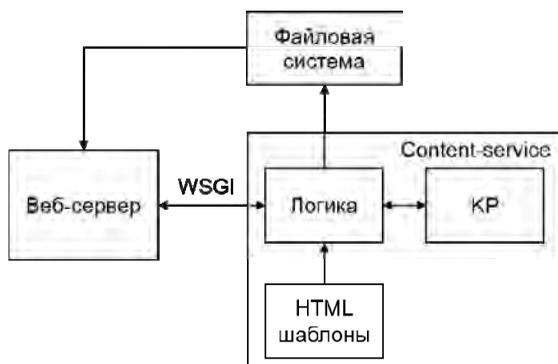


Рис. 3. Архитектура сервиса управления содержимым

Процесс загрузки и выполнения доступа к файлу изображен на рисунке 4. Пользователь 1 проходит аутентификацию и через веб-форму загружает файлы на хранение. Передача файла на веб-сервер происходит по протоколу HTTP. Файл передается на обработку в сервис Content-service, который сохраняет файл в специальную директорию в файловой системе. Доступ к файлам этой директории разрешен по протоколу HTTP через веб-сервер. Сервис публикует в ИП ссылку на этот файл. Если пользователь 2 получает из ИП соответствующую ссылку, то он может запросить файл у веб-сервера. Веб-сервер находит файл и отправляет его пользователю.

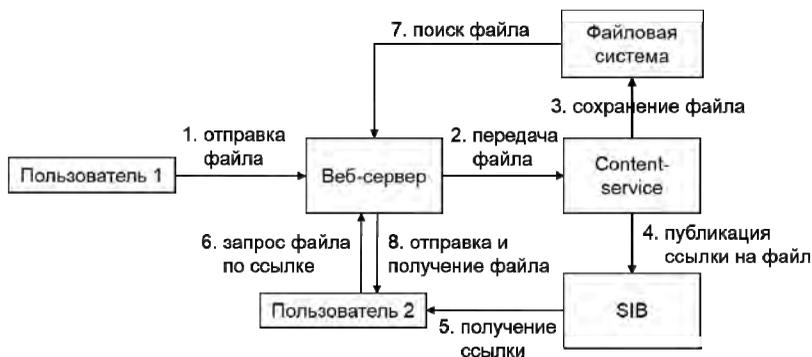


Рис. 4. Загрузка и осуществление доступа к файлу на сервисе управления содержимым

Сервис управления содержимым публикует ссылки на разделяемые данные в ИП только по запросу пользователя и не отслеживает изменения информации в ИП. Таким образом, нет необходимости использовать операцию подписки с поддержкой постоянного сетевого соединения с брокером SIB. Сетевое соединение устанавливаются только во время обработки запроса от пользователей.

В целом, за счет делегирования функций хранения объемных данных специализированному файловому хранилищу достигается повышение работоспособности работы Smart-M3 приложения. Целостность хранимых данных обеспечивается за счет использования проверенных и широко используемых технологий.

**5. Обеспечение устойчивости подписки к сбоям.** Контроль подписки и ее восстановление после сбоя требуют реализации на уровне каждого инфраструктурного агента *KP*. Совместно с сервисом управления содержимым такое решение позволяет реализовать инфраструктуру приложения, как показано на рисунке 5.



Рис. 5. Программная инфраструктура, обеспечивающая устойчивость Smart-M3 приложения к сбоям

Контроль подписки предназначен для обнаружения сбоев в подписке в двух ситуациях: 1) при потере оповещения подписки и 2) при разрыве сетевого соединения с брокером SIB. В первой ситуации инфраструктурные агенты *KP* производят проверку данных подписки (напр., по таймеру) на наличие изменений. Сбоем произошел, если агент обнаружил изменение данных. Таким образом, добавляется активная проверка подписки со стороны агента. Во второй ситуации агент обнаруживает разрыв соединения и должен перейти к процедуре его восстановления.

Для проверки пропущенных по подписке изменений может использоваться модель уведомлений, предложенная в [8]. Все сервисы приложения подписываются на собственные уведомления (специальные RDF-тройки). Уведомление представляет собой дополнительные данные в ИП, которые описывают факт изменения других данных. Если уведомление было опубликовано в ИП, но подписка не сработала, то агент *KP* может самостоятельно (автоматически или по команде пользователя) проверить наличие необработанных троек уведомления и продолжить работу. При обнаружении сбоя подписки для ее восстановления нами далее предлагаются механизмы перезапуска и переподключения.

Инфраструктурный агент *KP* переустанавливает сетевое соединение с брокером SIB и восстанавливает состояние сервиса. При переустановке соединения также происходит и переустановка подписки. При возникновении сбоя, сервис должен быть перезапущен и/или соединение агента *KP* с брокером SIB должно быть переустановлено. Ключевым моментом является восстановление предыдущего состояния сервиса (до возникновения сбоя). Перезапуск/переподключение сервиса происходит автоматически при обнаружении сбоя. При этом сохраняется возможность ручного вмешательства со стороны администратора приложения.

В механизме переподключения агент *KP* пытается возобновить сетевое соединение с брокером SIB, без прекращения работы самого сервиса. Переустановка соединения производится средствами агентов, реализующих сервис. В механизме перезапуска работа сервиса завершается, реализующие его агенты *KP* запускаются заново с установкой сетевых соединений с брокером SIB. Перезапуск осуществляется средствами внешней программной среды, где запущен сервис, например, средствами ОС.

Перезапуск рекомендуется к использованию в консольно реализованных агентах *KP*, работающих на удаленном сервере. Переподключение важно для агентов *KP* с графическим интерфейсом пользователя, т.к. их закрытие/открытие приводит к нежелательным визуальным эффектам. Перезапуск может использоваться и в консольно реализованных агентах *KP*, но для этого требуется использование обработчиков сигналов в программном коде агента.

Рассмотрим применение предложенных механизмов на примере системы интеллектуального зала (таблица 2). Брокер SIB и сервис Conference-service являются консольными приложениями, а сервис Content-service реализован как веб-приложение. Они запущены на одном сервере, чтобы работать постоянно и иметь эффективный доступ к информационному содержанию ИП. В интеллектуальном зале используется сервер под управлением операционной системы Ubuntu Linux, предоставляющей инструмент для запуска консольных приложений как сервисов (демонов): Upstart event-based init daemon. Этот инструмент управляет запуском и остановкой сервисов, поддерживает автоматический перезапуск. Если у сервиса произойдет сбой, и он завершится с ошибкой, то соответствующие инфраструктурные агенты *KP* будут перезапущены. Также Upstart позволяет организовать запуск и остановку сервисов по цепочке (при запуске одного сервиса запускаются все зависящие от него). В системе интеллектуального зала с помощью инструмента Upstart запущены консольные приложения брокера SIB и агента Conference-service.

Таблица 2. Применение механизма перезапуска/переподключения в системе интеллектуального зала

Механизм	SIB	Conference-service	Agenda-service	Presentation-service	Content-service
Перезапуск	+ (авто)	+ (авто)	+ (ручной)	+ (ручной)	+ (ручной)
Переподключение	-	-	+ (ручной)	+ (ручной)	-

Запуск брокера SIB (брокер состоит из двух процессов: redsibd и sib-tcp) и сервиса Conference-service на серверной машине должен происходить в определенной последовательности:

redsibd → sib-tcp → conference-service.

На рисунке 6 приведен пример конфигурационного файла Upstart для Conference-service. Аналогичным образом организован запуск процессов redsibd и sib-tcp. На рисунке 7 представлены зависимости, реализованные в конфигурационных файлах, между процессами SIB и Conference-service, отражающие их запуск и остановку по цепочке. При запуске процесса redsibd (при старте системы) запускаются все остальные процессы. При перезапуске/остановке одного из этих процессов (перезапуск может быть вызван автоматически, благодаря директиве respawn) все зависящие от него процессы также будут перезапущены/остановлены.

```
start on started sib-tcp           # запуск сервиса после запуска sib-tcp
stop on stopping sib-tcp         # остановка сервиса перед остановкой sib-tcp
respawn                           # директива перезапуска процесса при сбое
exec /usr/bin/conference-service # запуск сервиса
```

Рис. 6. Пример конфигурационного Upstart-файла

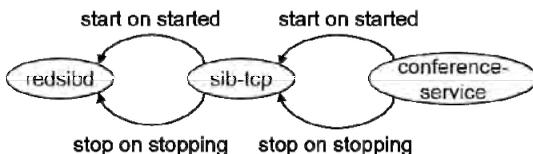


Рис. 7. Зависимости запуска брокера SIB и сервиса Conference-service

Запуском сервиса Content-service управляет веб-сервер Apache. Сетевое соединение с брокером SIB устанавливается только в момент обработки запроса от пользователя. В случае сбоя в работе для перезапуска сервиса требуется перезапустить веб-сервер.

В сервисах с графическим интерфейсом пользователя — Agenda-service и Presentation-service — перезапуск осуществляется вручную (завершение и повторный запуск). Перезапуск нежелателен для этих сервисов, т.к. они используются для отображения важной информации в интеллектуальном зале: программы мероприятия и презентации выступающего. Перезапуск испортит визуальное впечатление пользователей. Предпочтительным вариантом является использование переподключения, выполняемое администратором вручную (реализовано в программном коде, происходит при нажатии на определенную клавишу). В процессе переподключения происходит

переустановка соединения с брокером SIB и возобновление подписки без завершения самого приложения.

**6. Анализ решений.** Рассмотренные ранее решения в виде сервиса Content-service и механизмов восстановления после сбоев подписки предназначены для повышения работоспособности Smart-M3 приложения. Они улучшают такие характеристики, как безотказность и целостность данных. Рассмотрим далее применимость этих решений для Smart-M3 приложений, сходных с системой интеллектуального зала, и получаемое снижение негативных последствий от возможных сбоев.

*Сервис Content-service.* Допустим, что объемные файлы будут храниться в ИП. В этом случае, если произойдет сбой (с брокером SIB, сетью или агентом КР) во время сохранения или обработки такого файла, то он может быть поврежден или потерян. Содержимое ИП представлено набором RDF-троек. Преобразование объемных данных в тройки является сложной и затратной по времени операцией. Если сбой прервет эту операцию, то целостность данных будет нарушена. Предложенное решение в виде сервиса Content-service использует проверенные веб-технологии для сетевого обмена файлами и файловую систему для их хранения.

Сбой может произойти, когда приложение обрабатывает файл, хранящийся на удаленном компьютере. Если возникают сбои в работе сети или на удаленном компьютере, то файл становится недоступным. Сервис Content-service заранее дублирует файл локально и, таким образом, обеспечивается доступность файла.

Сервис Content-service также в определенной мере автоматизирует процесс сбора файлов. В таких системах, как система интеллектуального зала, участники должны предоставлять организаторам свои материалы для презентации. В случае ручного сбора файлов сбои часто возникают из-за влияния человеческого фактора. Организаторы могут ошибиться во время получения или сохранения файлов. Сервис Content-service автоматизирует и определяет общий подход к сбору файлов, тем самым снижая влияние человеческого фактора.

Предложенный сервис улучшает отдельные свойства работоспособности (безотказность, целостность), но он представляет централизованное решение. Отметим, что наличие распределенного хранилища может существенно усложнить систему и ухудшить ее работоспособность из-за увеличения числа элементов системы. Использование данного сервиса в системе интеллектуального зала показывает, что централизованное решение является приемлемым для рассмотренного класса Smart-M3 приложений. Более того, сбои в сервисе Content-service могут контролироваться и исправляться другими механизмами.

*Механизмы восстановления подписки.* Для определения сбоя осуществляется проверка измененных данных подписки. Тем не менее, не всегда возможно корректное определение изменения данных (например, между двумя проверками данные могут быть изменены, а затем возвращены в исходное состояние). Кроме этого, не всегда возможно быстро обнаружить разрыв сетевого соединения для подписки. Указанные проблемы требуют разработки математических методов для оценки частоты таких проверок. Для платформы Smart-M3 в работе [23] предлагается модель для определения интервалов активной проверки подписки.

Механизмы перезапуска и переподключения восстанавливают приложение после обнаруженного сбоя. Они могут применяться в инфраструктурных элементах при таких сбоях, как зависания, падения или некорректная работа. Помимо контроля подписки, требуются дополнительные механизмы для обнаружения других видов сбоев, после которых необходимы перезапуск или переподключение.

*Производительность.* Проведены эксперименты по измерению времени, за которое механизмы перезапуска и переподключения восстанавливают работоспособность отдельного сервиса. Для запуска брокера SIB, сервисов Conference-service и Content-service использовалась серверная ЭВМ (Ubuntu Linux, Intel Xeon 2.30GHz, 4GB RAM). Для запуска сервисов Agenda-service и Presentation-service использовалась персональная ЭВМ (Windows, Intel Core 2 Quad 2.40GHz, 8GB RAM). При перезапуске измерялось время между завершением сервиса и его полным запуском (готовность к обработке запросов). При переподключении измерялось время с момента разрыва сетевого соединения с брокером SIB до полного восстановления соединения. В каждом эксперименте выполнено по 10 измерений для каждого сервиса.

Результаты сведены в таблицу 3. Можно сделать вывод, что механизм перезапуска позволяет восстановить работоспособность сервиса за приемлемое время (в условиях интеллектуального зала — не более 2 с). Переподключение происходит примерно в 10 раз быстрее, поскольку процесс агента *KP* продолжает работать.

Таблица 2. Время восстановления работоспособности сервисов

Механизм	SIB (redsibd + sib-tcp)	Conference- service	Agenda- service	Presentation- service	Content- service
Перезапуск	1,045 с	2,023 с	1,350 с	0,230 с	2,193 с
Переподключение	–	–	0,134 с	0,075 с	–

Для оценки эффективности сервиса управления содержимым измерялось время загрузки данных в виде файлов размера 10Мб. Указанный объем определяет максимально разрешенный размер одной презентации в системе интеллектуального зала и отражает наиболее часто загружаемый вид объемных фактических данных. Время загрузки измерялось для двух популярных веб-серверов: Apache и nginx. Они представляют «тяжеловесный» и «легковесный» варианты веб-серверов, соответственно. Проведенное измерение позволяет оценить зависимость сервиса от используемого промежуточного ПО. Среднее время загрузки презентации размером 10Мб составляет 1,814 с (стандартное отклонение 0,014) для Apache и 1,842 с (стандартное отклонение 0,030) для nginx. Таким образом, сервис Content-service имеет сходную эффективность вне зависимости от выбора веб-сервера. Загрузка презентации требует менее 2 с, что приемлемо для условий интеллектуального зала.

**7. Заключение.** В статье развивается понятие программной инфраструктуры Smart-M3 приложения. Для обеспечения устойчивости к сбоям предложены два решения, реализуемых на уровне программной инфраструктуры. Первое заключается в добавлении сервиса управления объемным содержимым, который поддерживает целостность объемных данных приложения. Второе решение состоит из механизмов восстановления после сбоя подписки. На примере системы интеллектуального зала показано, что применение сервиса управления содержимым позволяет обеспечить целостность объемных данных при их активном использовании. Экспериментально показано, что восстановление сетевого соединения после возникновения сбоя подписки происходит за приемлемое на практике время.

### 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. *Юсупов Р.М., Ронжин А.Л.* От умных приборов к интеллектуальному пространству // *Вестник РАН: научный и общественно-политический журнал*. 2010. Т. 80. № 1. С. 45–51.
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. *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.
5. *Honkola J. et al.* Smart-M3 information sharing platform // *Proceeding of IEEE Symposium on Computers and Communications (ISCC)*. 2010. pp. 1041–1046.
6. *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.

7. *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.
8. *Галов И.В., Корзун Д.Ж.* Модель уведомлений для разработки программных приложений интеллектуальных пространств // Труды СПИИРАН. 2014. Вып. 35. С. 189–211.
9. *Lu M.R. et al.* Handbook of software reliability engineering // CA: IEEE computer society press. 1996. vol. 222.
10. *da Costa C.A., Yamin A.C., Geyer C.F.R.* Toward a general software infrastructure for ubiquitous computing // IEEE Pervasive Computing. 2008. vol. 7. no. 1. pp. 64–73.
11. *Xie W. et al.* Smart platform-a software infrastructure for smart space (siss) // Proceedings of Fourth IEEE International Conference on Multimodal Interfaces. IEEE. 2002. pp. 429–434.
12. *Wang X. et al.* Semantic space: An infrastructure for smart spaces // Computing. 2002. vol 1. no. 2. pp. 67–74.
13. *Sathish S., di Flora C.* Supporting smart space infrastructures: a dynamic context-model composition framework // Proceedings of the 3rd international conference on Mobile multimedia communications. ICST (Institute for Computer Sciences, Social-Informatics and Telecommunications Engineering). 2007. pp. 67.
14. *Guessoum Z. et al.* Towards Reliable Multi-Agent Systems: An Adaptive Replication Mechanism // Multiagent and Grid Systems. 2010. vol. 6. no. 1. pp. 1–24.
15. *Mitrovic D. et al.* Agent-based approaches to managing fault-tolerant networks of distributed multi-agent systems // Multiagent and Grid Systems. 2011. vol. 7. no. 6 pp. 203–218.
16. *Vasilev A. et al.* Mechanism for context-aware substitution of Smart-M3 agents based on dataflow network model // Proceedings of International Congress on Ultra Modern Telecommunications and Control Systems and Workshops (ICUMT). IEEE. 2013. pp. 113–117.
17. *Latchoumy P., Sheik Abdul Khader P.* Survey on Fault Tolerance in Grid Computing // International Journal of Computer Science & Engineering Survey. 2011. vol. 2. no. 4. pp. 97–110.
18. *Трутнев Д.Р.* Архитектуры информационных систем. Основы проектирования: Учебное пособие // СПб.: НИУ ИТМО. 2012. 66 с.
19. *Galov I., Korzun D.* The smartroom infrastructure: Service runtime reliability // Proceedings of the 14th Conference of Open Innovations Association FRUCT. SUAI. 2013. pp. 188–189.
20. *Korzun D., Galov I., Balandin S.* Development of Smart Room Services on Top of Smart-M3 // Proceedings of the 14th Conf. of Open Innovations Association FRUCT. SPb.: SUAI. 2013. pp. 37–44.
21. *Korzun D., Galov I., Kashevnik A., Balandin S.* Virtual shared workspace for smart spaces and M3-based case study // Proceedings of the 15th Conference of Open Innovations Association FRUCT. SPb.: ITMO University. 2014. pp. 60–68.
22. *Korzun D.G. et al.* Integration of Smart-M3 applications: Blogging in smart conference // Smart Spaces and Next Generation Wired/Wireless Networking. Springer Berlin Heidelberg. 2011. pp. 51–62.
23. *Vdovenko A., Korzun D.* Active control by a mobile client of subscription notifications in smart space // Proceedings of the 16th Conference of Open Innovations Association FRUCT. SPb.: ITMO University. 2014. pp. 123–128.
24. *Korzun D., Balandin S.* A Peer-to-Peer Model for Virtualization and Knowledge Sharing in Smart Spaces // Proceedings of the 8th International Conference on Mobile Ubiquitous Computing, Systems, Services and Technologies (UBICOMM 2014). 2014. pp. 87–92.

## 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. Yusupov R.M., Ronzhin A.L. [From smart devices to smart space]. *Vestnik RAN: nauchnyy i obshchestvenno-politicheskiy zhurnal – RAN Bulletin: scientific and socio-political journal*. 2010. vol. 80. no. 1. pp. 45–51. (In Russ.).

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. 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.
5. Honkola J. et al. Smart-M3 information sharing platform. *Proceeding of IEEE Symposium on Computers and Communications (ISCC)*. 2010. pp. 1041–1046.
6. 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.
7. 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.).
8. Galov I.V., Korzun D.G. [Notification model for smart space applications development]. *Trudy SPIIRAN – SPIIRAS Proceedings*. 2014. no. 35. pp. 189–211. (In Russ.).
9. Lyu M.R. et al. *Handbook of software reliability engineering*. CA: IEEE computer society press, 1996. vol. 222.
10. da Costa C.A., Yamin A.C., Geyer C.F.R. Toward a general software infrastructure for ubiquitous computing. *IEEE Pervasive Computing*. 2008. vol. 7. no. 1. pp. 64–73.
11. Xie W. et al. Smart platform-a software infrastructure for smart space (siss). *Proceedings of Fourth IEEE International Conference on Multimodal Interfaces*. IEEE. 2002. pp. 429–434.
12. Wang X. et al. Semantic space: An infrastructure for smart spaces. *Computing*. 2002. vol. 1. no. 2. pp. 67–74.
13. Sathish S., di Flora C. Supporting smart space infrastructures: a dynamic context-model composition framework. *Proceedings of the 3rd international conference on Mobile multimedia communications*. ICST (Institute for Computer Sciences, Social-Informatics and Telecommunications Engineering). 2007. pp. 67.
14. Guessoum Z. et al. Towards Reliable Multi-Agent Systems: An Adaptive Replication Mechanism. *Multiagent and Grid Systems*. 2010. vol. 6. no. 1. pp. 1–24.
15. Mitrovic D. et al. Agent-based approaches to managing fault-tolerant networks of distributed multi-agent systems. *Multiagent and Grid Systems*. 2011. vol. 7. no. 6 pp. 203–218.
16. Vasilev A. et al. Mechanism for context-aware substitution of Smart-M3 agents based on dataflow network model. *Proceedings of International Congress on Ultra Modern Telecommunications and Control Systems and Workshops (ICUMT)*. IEEE. 2013. pp. 113–117.
17. Latchoumy P., Sheik Abdul Khader P. Survey On Fault Tolerance In Grid Computing. *International Journal of Computer Science & Engineering Survey*. 2011. vol. 2. no. 4. pp. 97–110.
18. Trutnev D.R. *Arkhitektury informatsionnykh sistem. Osnovy proektirovaniya: Uchebnoe posobie* [Architectures of information systems. Basics of design: Textbook]. SPb.: NIU ITMO. 2012. 66 p. (In Russ.).
19. Galov I., Korzun D. The smartroom infrastructure: Service runtime reliability. *Proceedings of the 14th Conference of Open Innovations Association FRUCT*. SUAI. 2013. pp. 188–189.
20. Korzun D., Galov I., Balandin S. Development of Smart Room Services on Top of Smart-M3. *Proceedings of the 14th Conf. of Open Innovations Association FRUCT*. SUAI. 2013. pp. 37–44.
21. Korzun D., Galov I., Kashevnik A., Balandin S. Virtual shared workspace for smart spaces and M3-based case study. *Proceedings of the 15th Conference of Open Innovations Association FRUCT*. ITMO. 2014. pp. 60–68.

22. Korzun D.G. et al. Integration of Smart-M3 applications: Blogging in smart conference. *Smart Spaces and Next Generation Wired/Wireless Networking*. Springer Berlin Heidelberg. 2011. pp. 51–62.
23. Vdovenko A., Korzun D. Active control by a mobile client of subscription notifications in smart space. *Proceedings of the 16th Conference of Open Innovations Association FRUCT*. 2014. pp. 123–128.
24. Korzun D., Balandin S. A Peer-to-Peer Model for Virtualization and Knowledge Sharing in Smart Spaces. *Proceedings of the 8th International Conference on Mobile Ubiquitous Computing, Systems, Services and Technologies (UBICOMM 2014)*. 2014. pp. 87–92.

**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, программная инженерия. Число научных публикаций — 25. galov@cs.karelia.ru; пр. Ленина, д. 33, г. Петрозаводск, 185910, РФ; п.т. +7(8142)711015

**Galov Ivan Viktorovich** — Ph.D. student, junior researcher, Department of Computer Science, Faculty of Mathematics, Petrozavodsk State University (PetrSU). Research interests: smart spaces, semantic web, ontological modeling, software engineering. The number of publications — 25. galov@cs.karelia.ru; Lenin St. 33, Petrozavodsk, 185910, Russia; office 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: научных интересов: анализ распределенных систем, дискретное моделирование, повсеместные вычисления и интеллектуальные пространства, Интернет физических устройств, технологии разработки ПО, проектирование алгоритмов и вычислительная сложность, линейный диофантов анализ и его приложения, теория формальных языков и методы трансляции. Число научных публикаций — 135. dkorzun@cs.karelia.ru; 185910, Республика Карелия, г. Петрозаводск, пр. Ленина, 33, Каб.: 217; п.т. +79095689571, факс +7(8142)711000

**Korzun Dmitry Georzhevich** — Ph.D., associate professor, leading 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 — 135. dkorzun@cs.karelia.ru; Lenin St. 33, Petrozavodsk, 185910, Russia; office phone +79095689571, 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 поддержана федеральной целевой программой «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014-2020 годы», соглашение № 14.574.21.0060 (RFMEFI57414X0060).

**Acknowledgements.** Project # 1481 from the basic part of state research assignment # 2014/154 of the Ministry of Education and Science of Russia. Project # 14.574.21.0060 (RFMEFI57414X0060) of Federal Target Program.

## РЕФЕРАТ

*Галов И.В., Корзун Д.Ж.* **Обеспечение устойчивости к сбоям Smart-M3 приложения на уровне программной инфраструктуры.**

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 с использованием механизма публикации/подписки. Работоспособность Smart-M3 приложений подвержена частым сбоям в агентах, где наиболее чувствительной к сбоям является операция подписки. Одним из способов повышения работоспособности приложения является обеспечение его устойчивости к сбоям.

В работе рассматривается обеспечение устойчивости к сбоям на уровне программной инфраструктуры Smart-M3 приложения. Авторами предлагаются два решения для обеспечения устойчивости к сбоям. Первое решение заключается во введении в программную инфраструктуру агента, который обеспечивает сохранность объемных данных и их целостность. Это достигается за счет делегирования функций хранения отдельному элементу инфраструктуры приложения. Второе решение состоит из механизмов восстановления сетевых соединений после сбоев в элементах инфраструктуры приложения, в частности при проблемах с операцией подписки. Данные механизмы позволяют обнаружить сбой и восстановить работу агента после него. Для экспериментального исследования используется существующее Smart-M3 приложение — система интеллектуального зала SmartRoom. На ее примере показана эффективность применения предлагаемых решений.

## SUMMARY

### *Galov I.V., Korzun D.G. Fault Tolerance Support for a Smart-M3 Application on the Software Infrastructure Level.*

The Smart-M3 platform allows creating software applications of smart spaces based on a set of interacting agents. Interaction is organized via shared informational content using publish/subscribe mechanism. Dependability of Smart-M3 applications suffers from frequent failures in software agents where subscription operation is the most failure-sensitive operation. A possible way of improving the application dependability is implementation of fault tolerance support within a given application.

This work considers fault tolerance support on the software infrastructure level of a Smart-M3 application. The authors suggest two solutions for fault tolerance support. The first solution is extending the software infrastructure with an agent that provides safety and integrity of volumetric data due to delegation of storage functions to a separate element of the application infrastructure. The second solution is mechanisms for network connections recovery after failures in infrastructural elements of an application especially after failures in subscription operation. These mechanisms allow to detect a failure and to recover agent runtime after the failure. For the reference case study, an existing Smart-M3 application—the SmartRoom system—is used. Based on the experimental analysis for the SmartRoom system, the authors show the effectiveness of proposed solutions.

А.Н. НОСКОВ, А.А. ЧЕЧУЛИН, Д.А. ТАРАСОВА  
**ИССЛЕДОВАНИЕ ЭВРИСТИЧЕСКИХ ПОДХОДОВ К  
ОБНАРУЖЕНИЮ АТАК НА ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫЕ  
СЕТИ НА БАЗЕ МЕТОДОВ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО  
АНАЛИЗА ДАННЫХ**

---

*Носков А.Н., Чечулин А.А., Тарасова Д.А. Исследование эвристических подходов к обнаружению атак на телекоммуникационные сети на базе методов интеллектуального анализа данных.*

**Аннотация.** Анализ методик систем обнаружения сетевых атак является перспективным направлением в области защиты сетей и сетевых систем. В статье рассматривается подход к оценке алгоритмов и механизмов обнаружения атак. Новизна предлагаемой методики заключается в возможности создания самообучающихся систем для обнаружения вторжения. В статье рассмотрены основные элементы алгоритмов обнаружения атак.

**Ключевые слова:** анализ методов обнаружения атак, системы обнаружения вторжения, нежелательный трафик, метод опорных векторов.

*Noskov A.N., Chechulin A.A., Tarasova D.A. Investigation of Heuristic Approach to Attacks on the Telecommunications Network Detection based on Data Mining Techniques.*

**Abstract.** Analysis of Intrusion Detection System techniques is a perspective area for the protection of networks and network systems. This paper presents the overview of attack detection mechanisms based on data mining approach. The novelty of this kind of mechanisms is the ability to create self-learning systems for intrusion detection. Also the article describes the basic elements of intrusion detection algorithms.

**Keywords:** analysis of methods of intrusion detection, intrusion detection systems, malicious traffic, Support Vector Machines.

---

**1. Введение.** Одной из фундаментальных научных проблем является разработка методологических основ обеспечения безопасности сетей и обнаружения нежелательного трафика. Особенно важный фактор - время реакции системы на подозрительный трафик. Разработка такой системы обнаружения атак является одной из задач, направленной на повышение защищенности телекоммуникационных сетей. Данные системы используются не только в частных или коммерческих целях, но и в критически важных инфраструктурах государственного значения, вывод из строя которых в результате успешно выполненной атаки может привести к значительным материальным, финансовым и даже политическим потерям.

Существует большое количество исследований в области обнаружения атак, направленных на информационно-телекоммуникационные системы. При этом современные методы обнаружения вторжений базируются на двух принципах: сигнатурный (формальный) и эвристический (обнаружение аномалий, базирующееся на моделях штатного функционирования наблюдаемой

информационной системы) [1]. Однако, существующие методики, как правило, или характеризуются большим количеством пропущенных атак (сигнатурные методы) или высокими требованиями к доступным вычислительным и временным ресурсам (эвристические методы). К тому же, существующие методики обычно ограничиваются детальным исследованием только части характеристик процессов, происходящих в сети, что также приводит к понижению качества выявления атак [21].

Кроме теоретических подходов, для обеспечения защищенности компьютерных сетей были созданы системы, которые классифицируют сетевую активность различных программ. В случае совпадения с ситуацией, определенной экспертом, такие системы предлагают пользователю прекратить действия возможно вредоносного ПО и нейтрализовать произведенные им изменения. Однако большинство современных систем сетевой безопасности не имеют возможности самообучения и оперируют только заложенными в них вручную правилами [7].

Например, в Приказе Федеральной службы по техническому и экспортному контролю (ФСТЭК России) от 11 февраля 2013 г. N 17 г. Москва, Методический документ “Меры защиты информации в государственных информационных системах” (утв. Федеральной службой по техническому и экспортному контролю 11 февраля 2014 г.) представлены методы и рекомендации по использованию систем СОВ для обеспечения безопасности сети и данных государственных и не государственных предприятий.

Сложность таких систем, большое количество используемых программно-аппаратных средств, множество различных событий безопасности усложняют процесс обнаружения вредоносной активности. Поэтому задача повышения защищенности информационно-телекоммуникационных систем от различных угроз является важной фундаментальной проблемой [8].

В рамках данной работы предполагается разработать новый подход, в основу которого ляжет комплексная система анализа, основанная на методах интеллектуальной оценки данных, позволяющая учесть различные характеристики вторжения и принять эффективное решение на основе его глубокого анализа. Кроме того, предлагаемый подход позволит выявить вредоносную сетевую активность, использующую новые уязвимости. Применение методов искусственного интеллекта (ИИ) позволит ввести в системы защиты свойство самообучения и обеспечит обнаружение угроз «на лету». В качестве источников исходных данных могут выступать как аппаратные средства сетевой инфраструктуры, так и распределенные системы управления информацией и событиями безопасности (Security

Information and Events Management, SIEM), активно развивающиеся в последние годы. Таким образом, разработанный подход к обнаружению атак на основе методов интеллектуального анализа данных, позволит повысить эффективность отслеживания ситуации по безопасности и поддержки принятия решений в информационно-телекоммуникационных системах.

**2. Исследование существующих алгоритмов обнаружения вторжений.** В настоящее время существует множество различных видов сетевых атак, которые используют как уязвимости операционной системы, так и иного установленного программного обеспечения системного и прикладного характера. Злоумышленники постоянно совершенствуют методы нападения, результатом которых может являться кража конфиденциальной информации, выведение системы из строя, либо ее полный «захват» с последующим использованием, как части зомби-сети для совершения новых атак [5].

Для того чтобы своевременно обеспечить безопасность компьютера, важно знать, какого рода сетевые атаки могут угрожать ему. Известные сетевые угрозы можно условно разделить на три большие группы [14]:

*Сбор информации* – этот вид угроз сам по себе не является атакой, а обычно предшествует ей, поскольку является одним из основных способов получить сведения об удаленном компьютере. Этот способ заключается в сканировании хостов или отдельных UDP/TCP-портов, используемых сетевыми сервисами на интересующем компьютере, для выяснения их состояния (закрытые или открытые порты). Сканирование портов позволяет понять, какие типы атак на данную систему могут оказаться удачными, а какие нет. Кроме того, полученная в результате сканирования информация («слепок» системы) даст представление злоумышленнику о типе операционной системы на удаленном компьютере. А это, в свою очередь, еще сильнее ограничивает круг потенциальных атак и, соответственно, время, затрачиваемое на их проведение, а также позволяет использовать специфические для данной операционной системы уязвимости.

*DoS-атаки* или атаки, вызывающие отказ в обслуживании – это атаки, результатом которых является приведение атакуемой системы в нестабильное, либо полностью нерабочее состояние. Последствиями такого типа атак могут стать повреждение или разрушение информационных ресурсов, на которые они направлены, и, следовательно, невозможность их использования.

Существует два основных типа DoS атак:

– отправка компьютеру-жертве специально сформированных пакетов, не ожидаемых этим компьютером, что приводит к перезагрузке или остановке системы;

– отправка компьютеру-жертве большого количества пакетов в единицу времени, которые этот компьютер не в состоянии обработать, что приводит к исчерпанию ресурсов системы [6].

*Атаки-вторжения*, целью которых является «захват» системы. Это самый опасный тип атак, поскольку в случае успешного выполнения, система оказывается полностью скомпрометированной перед злоумышленником. Данный тип атак применяется, когда необходимо получить конфиденциальную информацию с удаленного компьютера (например, номера кредитных карт, пароли) либо просто закрепиться в системе для последующего использования ее вычислительных ресурсов в целях злоумышленника (использование захваченной системы в зомби-сетях), либо как плацдарм для новых атак.

Данная группа является также самой большой по количеству включенных в нее атак. Их можно разделить на три подгруппы в зависимости от операционной системы: атаки на Microsoft Windows-системы, атаки на Unix-системы, а также общая группа для сетевых сервисов, использующихся в обеих операционных системах.

Наиболее распространенными видами атак, использующих сетевые сервисы операционной системы, являются:

- атаки на переполнение буфера;
- атаки, основанные на ошибках обработки данных.

Преимущество сетевых систем обнаружения вторжений (ССОВ, NIPS) заключается в том, что они способны обнаруживать как угрозы, приходящие извне, так и угрозы, исходящие из локальной сети. Для этого, топология сети выстраивается таким образом, чтобы весь сетевой трафик проходил через анализаторы ССОВ (см. рисунок 1).

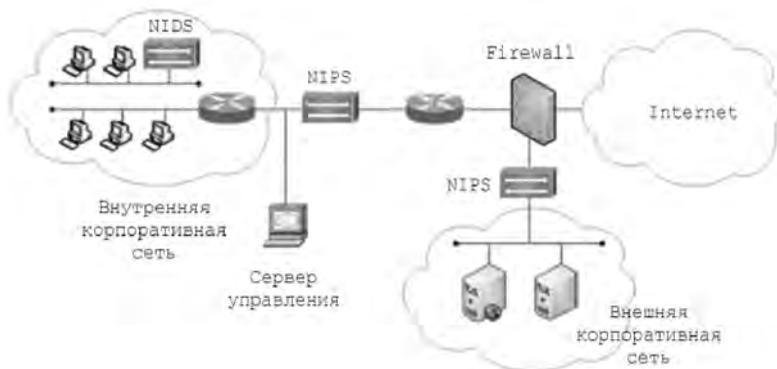


Рис. 1 Структура защищенной компьютерной сети

Обнаружение атак на сетевом уровне сводится к двум методам:

– *Сигнатурный метод* сводится к поиску признаков уже известных атак. Преимущество сигнатурного метода в том, что он практически не подвержен ложным срабатываниям. Недостатком этого метода является невозможность обнаруживать незаложенные в систему атаки.

– *Метод поиска аномалий* (эвристический) позволяет реагировать на ранее неизвестные атаки, но подвержен ложным срабатываниям и требует точной настройки для каждого наблюдаемого объекта [9].

**3. Использование машинного обучения в задаче обнаружения сетевых угроз.** Существует несколько основных алгоритмов для построения и обучения моделей классификаторов, применимых для решения задачи обнаружения сетевых атак. Рассмотрим некоторые из них более подробно.

**3.1. Динамические байесовские сети.** Байесовская сеть (БС) — это графическая вероятностная модель, представляющая собой множество переменных и их вероятностных зависимостей. БС представляют собой удобный инструмент для описания достаточно сложных процессов и событий с неопределенностями. БС оказалась особенно полезной при разработке и анализе машинных алгоритмов обучения. Основной идеей построения графической модели является понятие модульности, то есть разложение сложной системы на простые элементы. Для объединения отдельных элементов в систему используются результаты теории вероятностей.

Динамические байесовские сети являются обобщенной моделью в пространстве состояний. Название «динамические» указывает не на зависимость структуры от времени, а только на зависимость от моделирования процесса.

Достоинства байесовских сетей:

– в модели определяются зависимости между всеми переменными, это позволяет легко обрабатывать ситуации, в которых значения некоторых переменных неизвестны;

– байесовские сети достаточно просто интерпретируются и позволяют на этапе прогностического моделирования легко проводить анализ по сценарию "что, если";

– байесовский метод позволяет естественным образом совмещать закономерности, выведенные из данных, и, например, экспертные знания, полученные в явном виде;

– использование байесовских сетей позволяет избежать проблемы переучивания (overfitting), то есть избыточного усложнения

модели, что является слабой стороной многих методов (например, деревьев решений и нейронных сетей).

Байесовский подход имеет следующие недостатки:

– перемножать условные вероятности корректно только тогда, когда все входные переменные действительно статистически независимы, хотя часто данный метод показывает достаточно хорошие результаты при несоблюдении условия статистической независимости, но теоретически такая ситуация должна обрабатываться более сложными методами, основанными на обучении байесовских сетей [10];

– невозможна непосредственная обработка непрерывных переменных – требуется их преобразование к интервальной шкале, чтобы атрибуты были дискретными, однако, такие преобразования иногда могут приводить к потере значимых закономерностей;

– на результат в байесовском подходе влияют только индивидуальные значения входных переменных, комбинированное влияние пар или троек значений разных атрибутов здесь не учитывается [11]. Это могло бы улучшить качество классификационной модели с точки зрения ее прогнозирующей точности, однако, увеличилось бы и количество проверяемых вариантов.

**3.2. Метод k ближайших соседей.** Следует сразу отметить, что метод "ближайших соседей" ("nearest neighbour") относится к классу методов, работа которых основывается на хранении данных в памяти для сравнения с новыми элементами. При появлении новой записи для прогнозирования находятся отклонения между этой записью и подобными наборами данных, и наиболее подобная (или ближайший сосед) идентифицируется.

При таком подходе используется термин "k-ближайших соседей" ("k-nearest neighbour"). Термин означает, что выбирается k "верхних" (ближайших) соседей для их рассмотрения в качестве множества "ближайших соседей". Поскольку не всегда удобно хранить все данные, иногда хранится только множество "типичных" случаев. В таком случае используемый метод называют рассуждением по аналогии (Case Based Reasoning, CBR), рассуждением на основе аналогичных случаев, рассуждением по прецедентам [12].

Преимущества метода:

- Простота использования полученных результатов;
- Решения не уникальны для конкретной ситуации, их использование возможно для других случаев;
- Целью поиска является не гарантированно верное решение, а лучшее из возможных.

### Недостатки метода "ближайшего соседа":

– Данный метод не создает каких-либо моделей или правил, обобщающих предыдущий опыт, – в выборе решения они основываются на всем массиве доступных исторических данных, поэтому невозможно сказать, на каком основании строятся ответы;

– Существует сложность выбора меры "близости" (метрики). От этой меры главным образом зависит объем множества записей, которые нужно хранить в памяти для достижения удовлетворительной классификации или прогноза. Также существует высокая зависимость результатов классификации от выбранной метрики;

– При использовании метода возникает необходимость полного перебора обучающей выборки при распознавании, следствие этого – вычислительная трудоемкость;

– Типичные задачи данного метода – это задачи небольшой размерности по количеству классов и переменных [13].

**3.3. Нейронные сети.** Нейронные сети (Neural Networks) – это модели биологических нейронных сетей мозга, в которых нейроны имитируются относительно простыми, часто однотипными, элементами (искусственными нейронами).

Нейронная сеть может быть представлена направленным графом с взвешенными связями, в котором искусственные нейроны являются вершинами, а синаптические связи – дугами.

Среди областей применения нейронных сетей – автоматизация процессов распознавания образов, прогнозирование, адаптивное управление, создание экспертных систем, организация ассоциативной памяти, обработка аналоговых и цифровых сигналов, синтез и идентификация электронных цепей и систем.

### С помощью нейронных сетей решаются следующие задачи Data Mining:

– Классификация (обучение с учителем). Примеры задач классификации: распознавание текста, распознавание речи, идентификация личности;

– Прогнозирование. Для нейронной сети задача прогнозирования может быть поставлена таким образом: найти наилучшее приближение функции, заданной конечным набором входных значений (обучающих примеров). Например, нейронные сети позволяют решать задачу восстановления пропущенных значений;

– Кластеризация (обучение без учителя). Примером задачи кластеризации может быть задача сжатия информации путем уменьшения размерности данных. Задачи кластеризации решаются, например, самоорганизующимися картами Кохонена.

### Недостатки нейронных сетей:

– Сложность может вызвать вопрос о количестве наблюдений в наборе данных. И хотя существуют некие правила, описывающие связь между необходимым количеством наблюдений и размером сети, их верность не доказана;

– Количество необходимых наблюдений зависит от сложности решаемой задачи. При увеличении количества признаков количество наблюдений возрастает нелинейно;

– Аналитик должен определить количество слоев в сети и количество нейронов в каждом слое. Алгоритма выбора оптимальной структуры до сих пор не существует;

– При обучении нейронных сетей часто возникает серьезная трудность, называемая проблемой переобучения (*overfitting*).

Переобучение, или чрезмерно близкая подгонка – излишне точное соответствие нейронной сети конкретному набору обучающих примеров, при котором сеть теряет способность к обобщению. Переобучение связано с тем, что выбор обучающего (тренировочного) множества является случайным. С первых шагов обучения происходит уменьшение ошибки. На последующих шагах с целью уменьшения ошибки (целевой функции) параметры подстраиваются под особенности обучающего множества. Однако при этом происходит "подстройка" не под общие закономерности ряда, а под особенности его части – обучающего подмножества. При этом точность прогноза уменьшается.

**3.4. Метод опорных векторов.** Метод опорных векторов (Support vector machines, SVM) был описан в работах В.Н. Вапника [2, 15]. SVM – это математический метод получения функции, решающей задачу классификации [16].

Идея метода возникла из геометрической интерпретации задачи классификации. Пусть два множества точек можно разделить плоскостью (в двумерном пространстве – прямой). Тогда таких плоскостей будет бесконечное множество (рисунок 2а). Выберем в качестве оптимальной такую плоскость, расстояния до которой ближайших точек обоих классов равны (рисунок 2б). Ближайшие точки-векторы называются опорными. Поиск оптимальной плоскости приводит к задаче квадратичного программирования при множестве линейных ограничений-неравенств. В 90-х гг. прошлого века метод SVM был усовершенствован: разработаны эффективные алгоритмы поиска оптимальной плоскости, найдены способы обобщения на нелинейные случаи и ситуации с числом классов, большим двух [17].

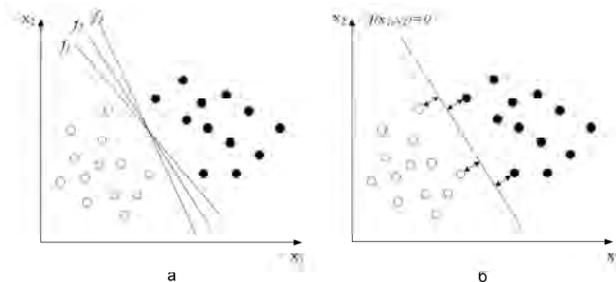


Рис. 2. Иллюстрация основной идеи SVM

#### Преимущества метода SVM:

- Метод опорных векторов, в отличие от нейронных сетей, устойчив к переобучению. Данный алгоритм может обучаться на выборке размером в гигабайты исходных данных, сильно коррелирующих между собой;
- работа с высокой размерностью входных векторов[18];
- конкурентоспособность по сравнению с методами, основанными на других алгоритмах.

#### Недостатки метода SVM:

- Метод опорных векторов неустойчив по отношению к шуму в исходных данных. Если обучающая выборка содержит шумовые выбросы, они будут существенным образом учтены при построении разделяющей гиперплоскости. Этого недостатка лишён метод релевантных векторов (relevance vector machine, RVM);
- До сих пор не разработаны общие методы построения спрямляющих пространств или ядер, наиболее подходящих для конкретной задачи. Построение адекватного ядра является искусством и, как правило, опирается на априорные знания о предметной области. На практике вполне разумные функции  $K(x, x')$ , выведенные из содержательных соображений, далеко не всегда оказываются положительно определёнными;
- В общем случае, когда линейная делимость не гарантируется, приходится подбирать управляющий параметр алгоритма  $C$  [17].

#### Снижение размерности пространства признаков при помощи МГК:

Метод главных компонент – это итерационная процедура, в которой новые компоненты добавляются последовательно, одна за другой. Важно знать, когда остановить этот процесс, т.е. как определить правильное число главных компонент,  $A$ . Если это число слишком мало, то описание данных будет не полным. С другой стороны, избыточное число главных компонент приводит к

переоценке, т.е. к ситуации, когда моделируется шум, а не содержательная информация.

Результаты исследования, представленного в таблице 1, показали, что сокращение размерности не влияет критически на уровень верного распознавания нормальных и аномальных пакетов.

В итоговой реализации размерность с 41 признака была сокращена до 27 (на 34%).

Таблица 1. Оценка параметров эффективности работы алгоритма в пространстве признаков с полной и сниженной размерностью

Тип алгоритма	CR(%)
Без сокращения размерности	90,0
С сокращением размерности на 10%	89,7
С сокращением размерности на 15%	83,7
С сокращением размерности на 20%	82,4
С сокращением размерности на 30%	89,4
С сокращением размерности на 40%	76,5

INCRemental Active Set method (INCAS). Алгоритм INCAS (INCRemental Active Set method) позволяет уменьшить число вычислений при построении SVM. Для обучения SVM применяются алгоритмы, учитывающие специфические особенности SVM. Специфика заключается в том, что число опорных векторов  $h$ , как правило, невелико,  $h \ll \ell$ , и эти векторы находятся поблизости от границы классов. Именно эти особенности и позволяют ускорить поиск опорных объектов.

Эффективность:

– Оптимизационная задача зависит только от матриц  $Q$  и  $Q_{ss}$ . Следовательно, скалярные произведения надо вычислять только для пар "опорный-опорный" и "опорный-нарушитель";

– На каждой итерации IS к множеству добавляется только один объект. Значит, для пересчета обратной матрицы требуется меньше операций.

Преимущества:

– Метод позволяет решать задачи, где нет линейной делимости;

– Алгоритм особенно эффективен, если число опорных векторов невелико;

– Данные могут поступать в режиме реального времени.

Недостатки:

– Алгоритм становится неэффективным, если число опорных векторов велико. В этом случае либо меняют ядро, либо саму постановку задачи.

Критерии эффективности работы алгоритма. Можно выделить следующие наиболее важные критерии оценки эффективности работы эвристических ССОВ (HNIDS):

– CR – количество корректно распознанных аномальных и нормальных пакетов; здесь также будет корректно предположить, что любые атаки обычно не входят в нормальный трафик сети и классифицируются как аномальные;

– FP (False Positive, ложная тревога) – количество нормальных пакетов принятых за аномальные;

– PPs (Packet per second, пакетоборот) – максимальное количество пакетов, которое система может обработать за 1 секунду на этапе тестирования;

– n (устойчивость системы) – процент отрицательных векторов в обучающей выборке, при котором система начинает работать нестабильно;

– FN (False Negative) – количество аномальных пакетов, принятых за нормальные [19].

**3.5. Исследование существующих алгоритмов ССОВ.** В условиях реальных современных сетей на применение ССОВ накладываются особые требования, связанные с высокими уровнями трафика (большими и сверхбольшими показателями пакетоборота в сети). Во-первых, скорость этапа тестирования имеет наивысший приоритет. Во-вторых, при проверке большого количества пакетов в секунду, любое ложное срабатывание вызывает появление сообщения в журналах аномалий. В таблице 2 указаны существующие ССОВ, которые удовлетворяют указанным выше условиям [20].

Таблица 2 Сравнение уровня детектирования и процента ложных срабатываний для различных алгоритмов

Метод	Основа	CR(%)	FP(%)
SPADE	временные закономерности	ок. 70	ок. 0.02
Геометрический подход Арнольда и Эскина	К ближайших соседей	89	10
fpMAFIA	адаптивная решётка	90,2	5,4
Кластеризация по Эскину	single linkage clustering	65,7	0,178
OTAD	одноклассовый SVM	59,1	3,1
PSO-SVM	одноклассовый SVM с предобработкой входящих данных и оптимизацией параметров	82,6	нет данных
Алгоритм с оптимизацией INCAS и МГК	одноклассовый SVM с предобработкой входящих данных и оптимизацией параметров	89,4	3

Если значение ложных срабатываний системы достаточно велико, то журналы системы очень быстро заполнятся ошибками распознавания и восприятие человеком настоящих аномалий в этом шуме будет сильно затруднено.

Другой важный момент заключается в том, что изначально не возможно разделить тренировочные данные на нормальные и аномальные (далее – положительные и отрицательные). То есть, тренировочная выборка может либо состоять целиком из данных, которые мы считаем положительными (или отрицательными), либо считается, что тренировочная выборка – смешанная.

**4. Заключение.** Современные методы обнаружения вторжений строятся на двух принципах: сигнатурный (формальный) и эвристический (обнаружение аномалий, основывающихся на моделях штатного функционирования наблюдаемой информационной системы).

Следует заметить, что существуют две крайности при использовании данной технологии:

- обнаружение аномального поведения, которое не является атакой, и отнесение его к классу атак (ошибка второго рода);

- пропуск атаки, которая не подпадает под определение аномального поведения (ошибка первого рода). Этот случай гораздо более опасен, чем ложное причисление аномального поведения к классу атак.

Поэтому при инсталляции и эксплуатации систем такой категории, обычные пользователи и специалисты сталкиваются с двумя довольно сложными задачами:

- построение профиля объекта — это трудно формализуемая и затратная по времени задача;

- определение граничных значений характеристик поведения субъекта для снижения вероятности появления одного из двух вышеназванных крайних случаев.

Обычно, системы обнаружения аномальной активности используют журналы регистрации и текущую деятельность пользователя в качестве источника данных для анализа. Достоинства систем обнаружения атак на основе технологии выявления аномального поведения можно оценить следующим образом:

- системы обнаружения аномалий способны выявлять новые типы атак, сигнатуры для которых еще не разработаны;

- они не нуждаются в обновлении сигнатур и правил обнаружения атак.

Недостатками систем на основе технологии обнаружения аномального поведения являются следующие:

- системы требуют длительного и качественного обучения;

- системы генерируют много ошибок второго рода;
- системы обычно слишком медленны в работе и требуют большого количества вычислительных ресурсов.

ССОВ на основе метода опорных векторов представляют собой перспективную тему для изучения, так как методы оптимизации параметров SVM применительно к специфике задачи на момент написания работы ещё малоизучены.

Мы рассматриваем существующие алгоритмы машинного обучения, такие как нейронные сети, метод К-ближайшего соседа, байесовские сети, а так же оцениваем их достоинства и недостатки;

Для реализации эвристических методов применим алгоритмы машинного обучения. Задача, поставленная перед алгоритмом, сводится к одноклассовой классификации с предварительным обучением на квазиположительной выборке. Поэтому для реализации был выбран алгоритм Support Vector Machines (SVM, машина опорных векторов) [2]

Использование данного метода применительно к текущей проблеме также представляет интерес, так как он является сравнительно малоизученным по сравнению с другими алгоритмами искусственного интеллекта.

Для минимизации размерности и повышения скорости обучения в качестве предобработки предлагаем метод главных компонент (МГК, англ. Principal component analysis, PCA) [3], позволяющий снизить время работы алгоритма без серьёзных потерь в точности обнаружения.

Для оптимизации параметров SVM предлагаем метод INCAS (INCremental Active Set method) [4] для данной задачи. В число преимуществ предложенного алгоритма обнаружения вторжений входит способность работать с любым аномальным трафиком, включая уязвимости нулевого дня. Аналогичный алгоритм может с успехом применяться на более высоких уровнях модели OSI (open system interconnection basic reference model), например, для защиты http-серверов от несанкционированного доступа.

### **Литература**

1. *Котенко И.В., Воронцов В.В., Чечулин А.А., Уланов А.В.* Проактивные механизмы защиты от сетевых червей: подход, реализация и результаты экспериментов // Информационные технологии. 2009. №. 1. С. 37–42.
2. *Cortes C., Vapnik V.* Support vector networks // Machine Learning. 1995. vol. 20. 273–297.
3. *Jolliffe I.T.* Principal components analysis // New York: Springer-Verlag. 1986. 487 p.
4. *Fine S., Scheinberg K.* INCAS: An incremental active set method for SVM // Tech. rep.: 2002.
5. *Handley M., Kreibich C., Paxson V.* Network Intrusion Detection: Evasion, Traffic Normalization // Proc. 10th USENIX Security Symposium. 2001. pp. 115-131.

6. *Ferguson P., Senie D.* Network Ingress Filtering: Defeating Denial of Service Attacks which employ IP Source Address Spoofing // Internet Engineering Task Force RFC 2267. 1998. URL: <http://www.ietf.org/rfc/rfc2267.txt>.
7. *Котенко И.В., Саенко И.Б., Полубелова О.В., Чечулин А.А.* Применение технологии управления информацией и событиями безопасности для защиты информации в критически важных инфраструктурах // Труды СПИИРАН. Вып. 1(20). 2012. С. 27–56.
8. *Kotenko I.V., Chechulin A.A.* A Cyber Attack Modeling and Impact Assessment Framework // Proceedings of 5th International Conference on Cyber Conflict 2013 (CyCon 2013). IEEE and NATO COE Publications. 2013. pp. 119–142.
9. *Чечулин А.А., Котенко И.В.* Комбинирование механизмов защиты от сканирования в компьютерных сетях // Информационно-управляющие системы. 2010. № 12. С.21–27.
10. *Тулупьев А.Л.* Задача локального автоматического обучения в алгебраических байесовских сетях: логико-вероятностный подход // Труды СПИИРАН. 2008. Вып. 7. С. 10–25.
11. *Городецкий В.И.* Алгебраические байесовские сети — новая парадигма экспертно-вычислительных систем // Юбилейный сборник трудов институтов Отделения информатики, вычислительной техники и автоматизации РАН. М.: РАН. 1993. Т. 2. С. 120–141.
12. *Zaidi N.A., Squire D.M., Suter D.* A gradient-based metric learning algorithm for k-nn classifiers // Proceedings of the Australasian Joint Conference on Artificial Intelligence. 2011. vol. 6464. pp. 194–203.
13. *Weinberger K.Q., Blitzer J., Saul L.K.* Distance metric learning for large margin nearest neighbor classification. // Proceedings of Neural Information and Processing Systems. 2006.
14. *Котенко И.В., Дойникова Е.В., Чечулин А.А.* Общее перечисление и классификация шаблонов атак (САРЕС): описание и примеры применения // Защита информации. Инсайд. 2012. № 4. С. 54–66.
15. *Zhao C., Wang H. G. Cai.* Study on a SVM-based Data Fusion Method, Proceedings of IEEE Conference on Robotics // Automation and Mechatronics. 2004 pp. 413–415.
16. *Vapnik V.N.* Statistical Learning Theory // Wiley. 1998. 768 p.
17. *Bartlett P., Shawe-Taylor J.* Generalization performance of support vector machines // Advances in Kernel Methods – Support Vector Learning. MIT Press. 1999. pp. 43–54.
18. *Collobert R., Bengio Y., Bengio S.* A parallel mixture of SVMs for very large-scale problems // Neural Information Processing Systems. Advances in Neural Information Processing Systems. MIT Press. 2002. vol. 14. pp. 633–640.
19. *Большев А.К.* Алгоритмы преобразования и классификации трафика для обнаружения вторжений в компьютерные сети: автореф. // Санкт-Петербург: б.н. 2011. 19 с.
20. *Wang J., Hong X., Ren R.R., Li T.* A Real-time Intrusion Detection System Based on PSO-SVM // Proceedings of the 2009 International Workshop on Information Security and Application (IWISA 2009). Qingdao. China. 2009. pp. 319–321.
21. *Gorodetsky V.I., Kotenko I.V., Karsaev O.I.* Multi-agent Technologies for Computer Network Security: Attack Simulation, Intrusion Detection and Intrusion Detection Learning // International Journal of Computer Systems Science and Engineering. 2003. vol. 18. no. 4. pp. 191–200.
22. *Bitter C., North J., Elizondo D. A., Watson T.* An Introduction to the Use of Neural Networks for Network Intrusion Detection // Computational Intelligence for Privacy and Security Studies in Computational Intelligence. 2012. vol. 394. pp. 5–24.
23. *Jing X.* IDS Method Based on Improved SVM Algorithm Under Unbalanced Data Sets // Proceedings of the 2012 International Conference on Cybernetics and Informatics Lecture Notes in Electrical Engineering. 2014. vol. 163. pp. 413–420.

## References

1. Kotenko I.V., Voroncov V.V., Chechulin A.A., Ulanov A.V. [Proactive security mechanisms against network worms: approach, implementation and results of the experiments] *Informacionnye tehnologii – Information Technology*. 2009. vol. 1. pp. 37–42. (In Russ.).
2. Cortes C., Vapnik V. Support vector networks. *Machine Learning*. 1995. vol. 20. 273–297.
3. Jolliffe I.T. *Principal components analysis*. New York: Springer-Verlag. 1986. 487 p.
4. Fine S., Scheinberg K. INCAS: An incremental active set method for SVM. Tech. rep.: 2002.
5. Handley M., Kreibich C., Paxson V. Network Intrusion Detection: Evasion, Traffic Normalization. Proc. 10th USENIX Security Symposium. 2001. pp. 115–131.
6. Ferguson P., Senie D. Network Ingress Filtering: Defeating Denial of Service Attacks which employ IP Source Address Spoofing. Internet Engineering Task Force RFC 2267. 1998. URL: <http://www.ietf.org/rfc/rfc2267.txt>.
7. Kotenko I.V., Saenko I.B., Polubelova O.V., Chechulin A.A. [The application of information management technologies and security events to protect the information in critical infrastructures]. *Trudy SPIIRAN – SPIIRAS Proceedings*. 2012. vol. 1(20). pp. 27–56. (In Russ.).
8. Kotenko I.V., Chechulin A.A. A Cyber Attack Modeling and Impact Assessment Framework. Proceedings of 5th International Conference on Cyber Conflict 2013 (CyCon 2013). IEEE and NATO COE Publications. 2013. pp. 119–142.
9. Chechulin A.A., Kotenko I.V. [The combination of mechanisms of protection against scanning computer networks] *Informacionno-upravljajushhie sistemy – Information and Control Systems*. 2010. vol. 12. pp. 21–27. (In Russ.).
10. Tulup'ev A.L. [The task of the local auto-learning algebraic Bayesian network: logical-probabilistic approach]. *Trudy SPIIRAN – SPIIRAS Proceedings*. 2008. vol. 7. pp. 10–25. (In Russ.).
11. Gorodeckij V.I. [Algebraic Bayesian network - a new paradigm of computing systems expert] *Jubilejnyj sbornik trudov institutov Otdelenija informatiki, vychislitel'noj tehniki i avtomatizacii RAN – Anniversary Proceedings of the Institute of the Department of Informatics, Computer Science and Automation RAS*. M.: RAN. 1993. vol. 2. pp. 120–141. (In Russ.).
12. Zaidi N.A., Squire D.M., Suter D. A gradient-based metric learning algorithm for k-nn classifiers. Proceedings of the Australasian Joint Conference on Artificial Intelligence. 2011. vol. 6464. pp. 194–203.
13. Weinberger K.Q., Blitzer J., Saul L.K. Distance metric learning for large margin nearest neighbor classification. Proceedings of Neural Information and Processing Systems. 2006.
14. Kotenko I.V., Dojnikova E.V., Chechulin A.A. [Total enumeration and classification of attack patterns (TSAPETS): description and application examples] *Zashhita informacii. Insajd – Protection of information. Inside*. 2012. vol. 4. pp. 54–66. (In Russ.).
15. Zhao C., Wang H. G. Cai. Study on a SVM-based Data Fusion Method. Proceedings of IEEE Conference on Robotics, Automation and Mechatronics. 2004 pp. 413–415.
16. Vapnik V.N. *Statistical Learning Theory*. Wiley. 1998. 768 p.
17. Bartlett P., Shawe-Taylor J. Generalization performance of support vector machines. *Advances in Kernel Methods – Support Vector Learning*. MIT Press. 1999. pp. 43–54.
18. Collobert R., Bengio Y., Bengio S. A parallel mixture of SVMs for very large-scale problems. *Neural Information Processing Systems. Advances in Neural Information Processing Systems*. MIT Press. 2002. vol. 14. pp. 633–640
19. Bol'shev A.K. *Algoritmy preobrazovanija i klassifikacii trafika dlja obnaruzhenija vrozhenij v komp'juternye seti* [Conversion algorithms and classification of traffic for intrusion detection in computer networks]. St. Petersburg. 2011. 19p. (In Russ.).

20. Wang J., Hong X., Ren R.R., Li T. A Real-time Intrusion Detection System Based on PSO-SVM. Proceedings of the 2009 International Workshop on Information Security and Application (IWISA 2009). Qingdao. China. 2009. pp. 319-321.
21. Gorodetsky V.I., Kotenko I.V., Karsaev O.I. Multi-agent Technologies for Computer Network Security: Attack Simulation, Intrusion Detection and Intrusion Detection Learning. International Journal of Computer Systems Science and Engineering. 2003. vol. 18. no. 4. pp. 191–200.
22. Bitter C., North J., Elizondo D. A., Watson T. An Introduction to the Use of Neural Networks for Network Intrusion Detection. Computational Intelligence for Privacy and Security Studies in Computational Intelligence. 2012. vol. 394. pp. 5–24.
23. Jing X. IDS Method Based on Improved SVM Algorithm Under Unbalanced Data Sets. Proceedings of the 2012 International Conference on Cybernetics and Informatics Lecture Notes in Electrical Engineering. 2014. vol. 163. pp. 413–420.

**Носков Антон Николаевич** — старший преподаватель, кафедра компьютерной безопасности математического факультета Ярославского государственного университета им. П.Г. Демидова. Область научных интересов: сетевая безопасность, сети, протоколы маршрутизации, Cisco. Число научных публикаций — 4. [lantoni@uniyar.ac.ru](mailto:lantoni@uniyar.ac.ru); 150000, г. Ярославль, ул. Советская-14. каб 225; р.т. +79106641047.

**Noskov Anton Nikolaevich** — senior teacher, Department of Computer Security of The Mathematics Faculty of P.G.Demidov Yaroslavl State University. Research interests: networks, routing protocols, network security. The number of publications — 4. [lantoni@uniyar.ac.ru](mailto:lantoni@uniyar.ac.ru); 1500006 Yaroslavl, Sovetskaya-14, 225; office phone +79106641047.

**Чечулин Андрей Алексеевич** — к-т техн. наук, старший научный сотрудник, лаборатория проблем компьютерной безопасности Федерального государственного бюджетного учреждения науки Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации Российской академии наук. Область научных интересов: безопасность компьютерных сетей, обнаружение вторжений, анализ сетевого трафика, анализ уязвимостей. Число научных публикаций — 110. [andreych@bk.ru](mailto:andreych@bk.ru), <http://comsec.spb.ru/ru/staff/chechulin>; 199178, г. Санкт-Петербург, 14-я линия В.О., д.39, комната 215; р.т. +78123287181.

**Chechulin Andrey Alexeevich** — Ph.D., senior researcher, laboratory of Computer Security Problems of the St. Petersburg Institute for Informatics and Automation of the Russian Academy of Science. Research interests: computer network security, intrusion detection, analysis of the network traffic, vulnerability analysis. The number of publications — 110. [andreych@bk.ru](mailto:andreych@bk.ru), <http://comsec.spb.ru/ru/staff/chechulin>; 199178, Saint-Petersburg, liniya 14-ya, 39, room 215; office phone +78123287181.

**Тарасова Дарья Алексеевна** — студент физического факультета Ярославского государственного университета им. П.Г. Демидова. Область научных интересов: сети, протоколы маршрутизации, методы коммутации. Число научных публикаций — 3. [lantoni@mail.ru](mailto:lantoni@mail.ru); 150000, г. Ярославль, Советская-14.; р.т. +7 4852 797725.

**Tarasova Daria Alekseevna** — student Physics Faculty of P.G.Demidov Yaroslavl State University. Research interests: networks, routing, switching. The number of publications — 3. [lantoni@mail.ru](mailto:lantoni@mail.ru); 150000, Yaroslavl, Sovetskaya-14; office phone +7 4852 797725.

**Поддержка исследований.** Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проекты №13-01-00843, 13-07-13159, 14-07-00697, 14-07-00417 и 14-37-50735), программой фундаментальных исследований ОНИТ РАН (контракт №2.2) и проектом ENGENSEC программы Европейского Сообщества TEMPUS.

**Acknowledgements.** This research is supported by RFBR (grants #13-01-00843, 13-07-13159, 14-07-00697, 14-07-00417 and 14-37-50735), by the ONIT RAS (project #2.2) as well as by the project ENGENSEC of the European Community program TEMPUS.

## РЕФЕРАТ

*Носков А.Н., Чечулин А.А., Тарасова Д.А.* **Исследование эвристических подходов к обнаружению атак на телекоммуникационные сети на базе методов интеллектуального анализа данных.**

Одна из научных проблем связанных с безопасностью систем, это разработка методологических основ обеспечения безопасности сетей и обнаружения нежелательного трафика. Современные методы обнаружения вторжений строятся на двух принципах: сигнатурный (формальный) и эвристический (обнаружение аномалий, основывающихся на моделях штатного функционирования наблюдаемой информационной системы). В статье дан анализ существующих методов машинного обучения сетевых угроз, применимых для решения задачи обнаружения сетевых атак. Одним из перспективных методов решения такой задачи является метод опорных векторов. Для минимизации размерности и повышения скорости обучения в качестве предобработки предложен метод главных компонент, позволяющий снизить время работы алгоритма без серьёзных потерь в точности обнаружения. Для оптимизации параметров SVM для данной задачи предложен метод INCAS (INCremental Active Set method).

## SUMMARY

*Noskov A.N., Chechulin A.A., Tarasova D.A.* **Investigation of Heuristic Approach to Attacks on the Telecommunications Network Detection based on Data Mining Techniques.**

One of the scientific challenges which related to network security is the development of the methodological foundations of network security and detection of malicious and unwanted traffic. Current methods of intrusion detection systems are based on two principles: signature (formal) and heuristic (anomaly detection). The paper presents the analysis of the existing machine learning methods that can be applied to enhance the quality of intrusion detection systems. One of the perspective methods for solving this problem is a support vector machine. To minimize the dimension and improve the speed of learning as preprocessing a principal component analysis was proposed. This approach allows to reduce the time of the algorithm without serious losses of accuracy detection. For optimizing the parameters of SVM a method INCAS (INCremental Active Set method) is proposed.



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 >