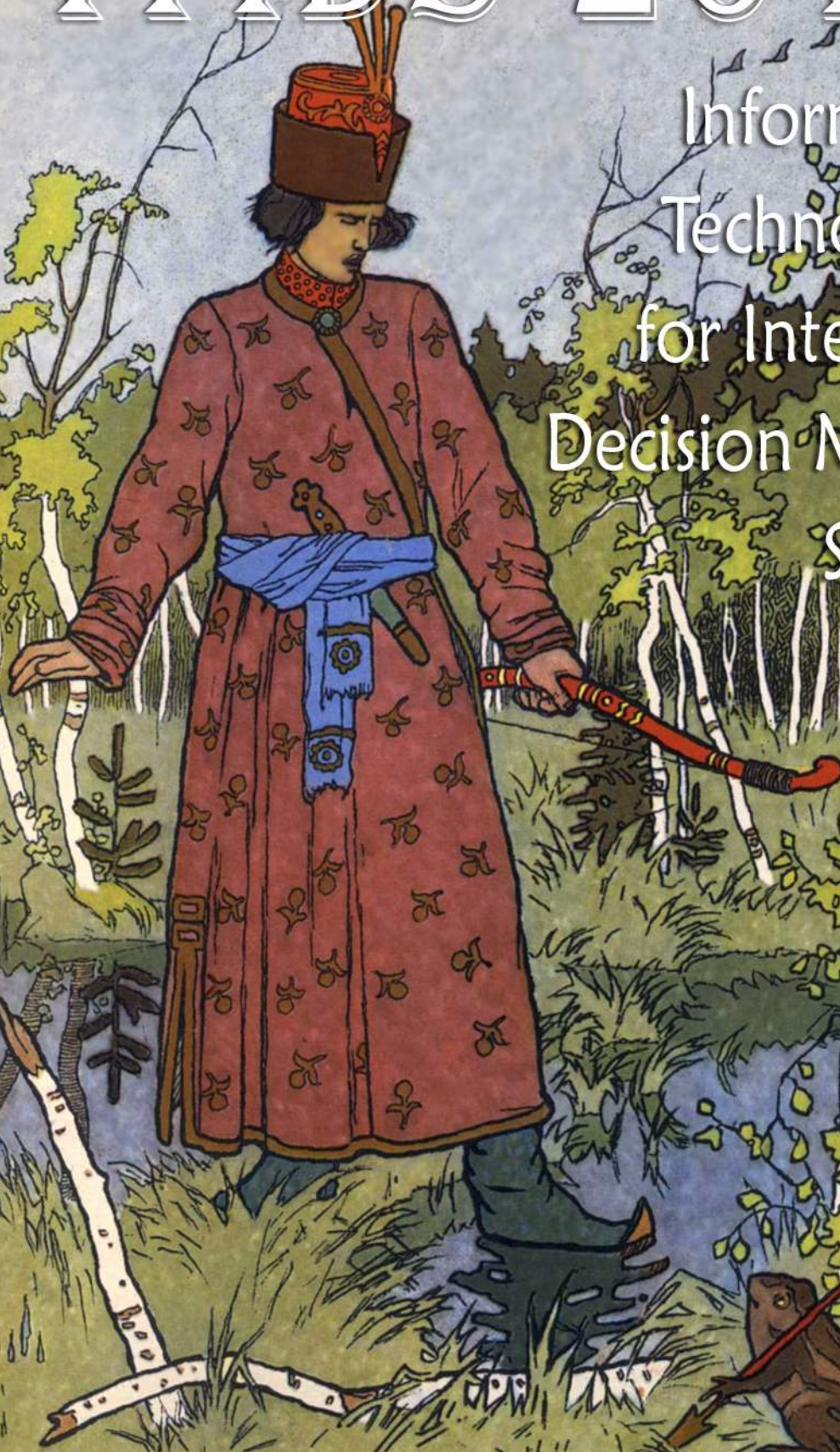


# ITIDS' 2017

Information  
Technologies  
for Intelligent  
Decision Making  
Support



Н. В. ШИШОВИЧ.

Proceedings v. 1

---

---

# ITIDS'2017

Труды V Всероссийской конференции  
**Информационные технологии  
интеллектуальной поддержки принятия  
решений**  
(с приглашением зарубежных ученых)

Proceedings of the 5<sup>th</sup> All-Russian Conference on  
**Information Technologies for Intelligent Decision  
Making Support**

Уфа, Россия  
Май 16 - 19, 2017

Том 1

---

---

The 5<sup>th</sup> All-Russian Conference on Information Technologies for Intelligent Decision  
Making Support

UDC 004.7

**Труды V Всероссийской конференции «Информационные технологии интеллектуальной поддержки принятия решений» (с приглашением зарубежных ученых), Том 1, Май 16-19, Уфа, Россия, 2017**

**Proceedings of the 5<sup>th</sup> All-Russian Conference «Information Technologies for Intelligent Decision Making Support», Volume 1, May 16-19, Ufa, Russia, 2017**

**ISBN 978-5-4221-0985-2**

**ISBN 978-5-4221-0986-9**

**V Всероссийская конференция  
«Информационные технологии интеллектуальной поддержки принятия решений»**

**The 5<sup>th</sup> All-Russian Conference «Information Technologies for Intelligent Decision Making Support»**

*Организаторы конференции*

Уфимский государственный авиационный технический университет  
Министерство образования Республики Башкортостан  
Институт социально-экономических исследований УНЦ РАН

*Organized by*

Ufa State Aviation Technical University (USATU), Ufa, Russia  
Ministry of Education of the Republic of Bashkortostan  
Institute for Social and Economic Research (USC, RAS)

**General Chair Woman: Yusupova Nafisa,**

**USATU, Ufa, Russia**

© ФГБОУ ВО УГАТУ, 2017

© Ufa State Aviation Technical University, 2017

**ПРЕДСЕДАТЕЛЬ ПРОГРАММНОГО КОМИТЕТА  
ПРЕДСЕДАТЕЛЬ ОРГАНИЗАЦИОННОГО КОМИТЕТА**

Юсупова Н.И. д.т.н., проф. (УГАТУ, Россия)

**СОПРЕДСЕДАТЕЛИ ПРОГРАММНОГО КОМИТЕТА**

Сметанина О.Н. д.т.н., проф. (УГАТУ, Россия)  
Фишер А. PhD, проф. (ТУ Дрездена, Германия)  
Ковач Дж. PhD, проф. (Венгерская академия наук, Венгрия)

**ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ**

Антонов В.В. д.т.н., проф. (УГАТУ, Уфа, Россия)  
Алимгужин В. PhD (Римский университет Сапиенца, Италия)  
Боргест Н.М. к.т.н., доц. (СГАУ, Самара, Россия)  
Верн Х. PhD, проф. (ТИ Карлсруэ, Германия)  
Васильев В.И. д.т.н., проф. (УГАТУ, Уфа, Россия)  
Вольфенгаген В.Э. д.т.н., проф. (ЮрИнфоР-МГУ, Москва, Россия)  
Гайнанов Д.А. д.э.н., проф. (ИСЭИ УНЦРАН, Уфа, Россия)  
Гвоздев В.Е. д.т.н., проф. (УГАТУ, Уфа, Россия)  
Грумпус П. PhD, проф. (Университет г. Патры, Греция)  
Ермолов И.Л. д.т.н., проф. (РАН, Москва, Россия)  
Ильясов Б.Г. д.т.н., проф. (УГАТУ, Уфа, Россия)  
Картак В.М. д.ф.-м.н., проф. (БГПУ, Уфа, Россия)  
Кассати Ф. PhD, проф. (Университет Тренто, Италия)  
Конрад У. PhD, проф. (Гельмгольц-центр Дрезден- Розендорф, Германия)  
Массель Л.В. д.т.н., проф. (ИрГТУ, Иркутск, Россия)  
Мельников А.В. д.т.н., проф. (ЧелГУ, Челябинск, Россия)  
Морозов А. PhD (ТУ Дрездена, Германия)  
Петунин А.А. д.т.н., проф. (УрФУ, Екатеринбург, Россия)  
Родионова Л.Н. д.э.н., проф. (УГАТУ, Уфа, Россия)  
Трончи Е. PhD, проф. (Римский университет Сапиенца, Италия)  
Фишер А. PhD, проф. (ТУ Дрездена, Германия)  
Христуло О.И. д.т.н., проф. (УГАТУ, Уфа, Россия)  
Шерыхалина Н.М. д.т.н., проф. (УГАТУ, Уфа, Россия)  
Янчек К. PhD, проф. (ТУ Дрездена, Германия)

# Содержание

---

## *Секция «Интеллектуальные модели, методы, технологии и системы» «Intelligent models, methods, technologies and systems»*

<i>SOME PRACTICAL APPLICATIONS OF COGNITIVE INFO-COMMUNICATION</i> 1 – Kovács G. L., 2 – Kopácsi S. (1 – Computer and Automation Research Institute, Hungarian Academy of Sciences, Budapest, Hungary, 2 – Dennis Gabor College, Budapest, Hungary).....	1
<i>VALIDATION OF THE XML DOCUMENTS IN WEB-APPLICATIONS BASED ON SITUATION-ORIENTED DATABASES (DTD, XML SCHEMA, RELAX NG)</i> Mironov V.V., Yusupova N.I., Gusarenko A.S. (Ufa State Aviation Technical University Ufa, Russia).....	10
<i>ФРАКТАЛЬНЫЙ ПОДХОД К СЕМАНТИЧЕСКОМУ МОДЕЛИРОВАНИЮ</i> Массель А.Г. (Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева СО РАН, Иркутск, Россия).....	15
<i>ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ МЕТОД И АЛГОРИТМ СОПОСТАВЛЕНИЯ УЧЕБНЫХ ДИСЦИПЛИН НА ОСНОВЕ ВЕКТОРНОГО ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ТЕКСТОВ</i> Ботов Д.С., Кленин Ю.Д. (Челябинский государственный университет, Челябинск, Россия).....	20
<i>МЕТОДЫ И АЛГОРИТМЫ СТРУКТУРНО-СЕМАНТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ИНТЕРНЕТ-ФОРУМОВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ПОИСКА ТЕКСТОВОЙ ИНФОРМАЦИИ</i> Козько А.А. (Челябинский государственный университет, Челябинск, Россия).....	27
<i>ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ ОБРАБОТКА ТЕКСТА С ПОМОЩЬЮ БИБЛИОТЕКИ GENSIM</i> Ибатуллин А.А., Нафикова А.Р. (Стерлитамакский филиал Башкирского государственного университета, Стерлитамак, Россия).....	31
<i>СЕМАНТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ УПРАВЛЕНИИ ЛОЯЛЬНОСТЬЮ КЛИЕНТОВ В БАНКОВСКОЙ СФЕРЕ</i> Чумакова М.В., Юсупова Н.И. (Уфимский государственный авиационный технический университет, Уфа, Россия).....	36
<i>ANALYSIS OF SENTIMENT AND EMOTION FROM TEXT WRITTEN IN RUSSIAN LANGUAGE</i> Abbasi Mohsin Manshad, Beltiukov A. P. (Udmurt State University, Izhevsk, Russia).....	42
<i>АРХИТЕКТУРА СИСТЕМЫ АНАЛИЗА ТРЕХМЕРНЫХ СЦЕН</i> Максютов И.Р., Валеев С.С. (Уфимский государственный авиационный технический университет, Уфа, Россия).....	48
<i>АРХИТЕКТУРА ГЕТЕРОГЕННОЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ СОСТОЯНИЯ СЛОЖНОГО ДИНАМИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА</i> Загитова А.И., Валеев С.С. (Уфимский государственный авиационный технический университет, Уфа, Россия).....	52
<i>ОРГАНИЗАЦИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ТРАНСПОРТНО-ПЕРЕСАДОЧНОГО УЗЛА</i>	

Литвинова А.А., Сапрыкин О.Н. (Самарский Университет, Самара, Россия) .....	56
<i>РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ИНЕРЦИОННЫМ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПАРАМЕТРОМ ПО БЕЗЫНЕРЦИОННОЙ МОДЕЛИ</i>	
1 – Муравьева Е.А., Григорьев Е.С, 2 – Соловьев К.А (1 – Уфимский государственный нефтяной технический университет, филиал в г. Стерлитамаке, Россия, 2 - ООО «Газпром нефтехим Салават», Салават, Россия) .....	60
<i>ВЛИЯНИЕ НЕЧЕТКОГО РЕГУЛЯТОРА НА ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ И БЫСТРОДЕЙСТВИЯ СИСТЕМ АДАПТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ МНОГОСВЯЗНЫМИ ПРИВОДАМИ</i>	
Хасанов З.М., Хасанова Н.В., Хасанов О.З. (Уфимский государственный авиационный технический университет, Уфа, Россия) .....	64
<i>К ОБЪЕКТИВАЦИИ ОРГАНИЗАЦИИ КАК ОТКРЫТОЙ, ГИБКОЙ СИСТЕМЫ</i>	
Жаринов В.Н. (Московский институт государственного и корпоративного управления, Уфа, Россия).....	67
<b>Секция «Системный анализ и математические методы принятия решений»</b>	
<b>«System analysis and mathematical methods of decision-making»</b>	
<i>ПРИМЕНЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ВЫБОРА ИНВЕСТИЦИОННОЙ ПРОГРАММЫ ПРЕДПРИЯТИЯ</i>	
Козина Е.Н., Панюков А.В. (Факультет Математики, механики и компьютерных наук, Южно-Уральский государственный университет, Челябинск) .....	74
<i>ГИБРИДНЫЙ АЛГОРИТМ ВЫБОРА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ ДЛЯ ПЕРЕРАБОТКИ МЕДНО-КОЛЧЕДАНЫХ РУД</i>	
1 – Горбатова Е.А., 2 – Емельяненко Е.А., Зарецкий М.В. (1 – ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт минерального сырья им. Н.М. Федоровского», Москва, Россия, 2 – Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Магнитогорск, Россия) .....	78
<i>НАУЧНЫЕ ПУБЛИКАЦИОННЫЕ КОЛЛАБОРАЦИИ С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ ТЕОРИИ ГРАФОВ И НЕЧЕТКИХ МНОЖЕСТВ</i>	
Логунова О.С., Ильина Е.А., Арефьева Д.Я. (Институт энергетики и автоматизированных систем Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Магнитогорск) .....	82
<i>РАЗРЕШЕНИЕ КОНФЛИКТНОЙ СИТУАЦИИ В РАСПРЕДЕЛЁННОЙ ДИНАМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ НА ОСНОВЕ МНОГОАГЕНТНОГО ПОДХОДА</i>	
Зигангирова Ю.В., Валеев С.С. (Уфимский государственный авиационный технический университет, Уфа, Россия) .....	86
<i>СТРУКТУРНО-ПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ ГЕОИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ЗОНАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ ТРАНСПОРТНЫМИ ПРОЦЕССАМИ НА ОСНОВЕ ПАТТЕРНОВ</i>	
Михеева Т.И., Головнин О.К. (Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, Самара) .....	90

*Секция «Программное обеспечение для поддержки принятия решений»*

*«Software for decision making support»*

*ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ О СТРУКТУРЕ ШИХТОВЫХ МАТЕРИАЛОВ*

1 – Логунова О.С., Сибилева Н.С., 2 – Чистяков Д.В. (1 – Институт энергетики и автоматизированных систем, Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Магнитогорск, Россия, 2 – ЗАО «КонсОМ СКС», Магнитогорск, Россия).....96

*АДАПТАЦИЯ МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ВЗРЫВА ГАЗО-ВОЗДУШНОЙ СМЕСИ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ТРЕХМЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В СИСТЕМАХ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ*

Христодуло О.И., Соколова А.В., Искандаров Ф.Ф. (Уфимский государственный авиационный технический университет, Уфа, Россия) .....101

*METHODOLOGICAL ISSUES RELATED TO THE EVALUATION OF THE COMMUNICATION NETWORKS EQUIPMENT CONFORMITY TO THE INFORMATION SECURITY REQUIREMENTS*

1 – Barabanov A.V., 2 – Markov A.S., Tsirlov V.L. (1 – Certification Department, NPO Echelon, Moscow, Russia, 2 – Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia).....105

*TENDENCIES IN INTERNATIONAL EVALUATION OF IT-PRODUCTS FOR COMPLIANCE WITH INFORMATION SAFETY REQUIREMENTS*

1 – Barabanov A.V., 2 – Markov A.S., Tsirlov V.L. (1 – Certification Department, NPO Echelon, Moscow, Russia, 2 – Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia).....111

*ПРОГРАММНАЯ СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В ПРОЦЕССЕ ПРОИЗВОДСТВА ПО ДЕЛАМ ОБ АДМИНИСТРАТИВНЫХ ПРАВОНАРУШЕНИЯХ*

Головнин О.К., Романова Е.А. (Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, Самара, Россия) .....115

*ОБЛАЧНАЯ ГЕОИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПО УПРАВЛЕНИЮ ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРОЙ ГОРОДА*

Остроглазов Н.А., Михеева Т.И. (Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, Самара) .....119

*АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ИНФОРМАЦИОННОЙ ПОДДЕРЖКИ ПЛАНИРОВАНИЯ ТУРИСТИЧЕСКОГО МАРШРУТА*

Головнин О. К., Кутовой Н.Н. (Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, Самара, Россия) .....123

*КОНЦЕПЦИЯ РАЗРАБОТКИ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В СФЕРЕ УПРАВЛЕНИЯ ИННОВАЦИОННЫМ РАЗВИТИЕМ РЕГИОНА НА БАЗЕ АДАПТИВНО-ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ*

Низамутдинов М.М., Орешников В.В. (Сектор экономико-математического моделирования, Институт социально-экономических исследований Уфимского научного центра Российской академии наук, Уфа, Россия).....127

<i>ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ АКТУАРНЫХ РАСЧЕТОВ В ДОБРОВОЛЬНОМ ПЕНСИОННОМ СТРАХОВАНИИ</i>	
Германова В.А., Прокудина Е.И. (Уфимский государственный авиационный технический университет, Уфа, Россия).....	132
<i>ПОСТРОЕНИЕ SCADA-СИСТЕМЫ КАК ЧАСТИ АРХИТЕКТУРЫ ПРЕДПРИЯТИЯ</i>	
Зубаирова Н.В., Мартынов В.В. (Уфимский государственный авиационный технический университет, Уфа, Россия).....	137
<b><i>Секция «Методы принятия решений в сложных системах»</i></b>	
<b><i>«Decision-making methods in complex systems»</i></b>	
<i>ИССЛЕДОВАНИЕ ЛОКАЛИЗАЦИИ ПРОЦЕССА ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ С ПОМОЩЬЮ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ</i>	
Житникова Н.И., Зиннатуллина О.Р., Зарипов А.А. (Уфимский государственный авиационный технический университет, Уфа, Россия) .....	143
<i>РАЗРАБОТКА АДАПТИВНЫХ ИНТЕРФЕЙСОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ СТАТИСТИЧЕСКИХ КРИТЕРИЕВ И АГЕНТНОГО ПОДХОДА</i>	
Исмагилова И.М., Валеев С.С. (Уфимский государственный авиационный технический университет, Уфа, Россия) .....	147
<i>УСТОЙЧИВОЕ ОЦЕНИВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ АВТОРЕГРЕССИОННЫХ МОДЕЛЕЙ С ЭКЗОГЕННЫМИ ПЕРЕМЕННЫМИ НА ОСНОВЕ ОБОБЩЕННОГО МЕТОДА НАИМЕНЬШИХ МОДУЛЕЙ</i>	
Мезал Я.А., Панюков А.В. (Институт естественных и точных наук, Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия) .....	151
<i>РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ МИКРОМОДЕЛИ ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ ГОРОДА САМАРА</i>	
Майоров Е.Р., Уварова Л.А., Сапрыкин О.Н. (Институт авиационной техники, Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, Самара, Россия).....	156
<i>КРИТЕРИИ ПОДОБИЯ СОСТАВЛЯЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ МОДЕЛЬНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ПРОЦЕССА ЗАГРУЗКИ ШИХТОВЫХ МАТЕРИАЛОВ В ДУГОВОЙ СТАЛЕПЛАВИЛЬНОЙ ПЕЧИ</i>	
Ошурков В.А., Логунова О.С., Чистяков Д.В. (Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Магнитогорск, Россия) .....	161
<b><i>Секция «Методы, модели и информационные технологии в естествознании и образовании»</i></b>	
<b><i>«Methods, models and information technologies in natural science and education»</i></b>	
<i>ЗАКОНОМЕРНОСТИ НАКОПЛЕНИЯ ПОГРЕШНОСТИ ОКРУГЛЕНИЯ ПРИ РЕШЕНИИ НЕКОТОРЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ ЗАДАЧ</i>	
Житников В.П., Соколова А.А., Шерыхалин К.О. (Уфимский государственный авиационный технический университет, Уфа, Россия).....	165
<i>О МОЩНОСТИ ЭЙЛЕРОВА ОЕ-ПОКРЫТИЯ ПЛОСКОГО ГРАФА</i>	
Макаровских Т.А. (Институт естественных и точных наук, Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия).....	170



*УПРАВЛЕНИЕ КОНТЕНТОМ АГРЕГАТИВНЫХ УЧЕБНЫХ МОДУЛЕЙ НА ОСНОВЕ МЕТОДА СТРУКТУРИРОВАНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ*

1 – Минасова Н.С., Тархов С.В., 2 – Тархова Л.М. (1 – Уфимский государственный авиационный технический университет, Уфа, Россия, 2 – Башкирский государственный аграрный университет, Уфа, Россия).....175

*РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННОЙ ПОДДЕРЖКИ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ «ИСТОРИЯ НАУКИ И ТЕХНИКИ»*

Ищенко Д.С. (Самарский национальный исследовательский университет им. С.П.Королева, Самара, Россия).....180

*КОНЦЕПЦИЯ РАЗРАБОТКИ ИНФОРМАЦИОННОЙ ПОДДЕРЖКИ ДЛЯ КУРСА «ОНТОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ СФЕРЫ»*

Малочкина А.В. (Самарский национальный исследовательский университет им. С.П. Королева, Самара, Россия).....183

*НОВЫЙ ПРИНЦИП ПОСТРОЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННОГО ПРОСТРАНСТВА В ВУЗЕ: ПРИНЦИП ВЫДЕЛЕНИЯ ОБЩЕГО РЕЗУЛЬТАТА*

Логунова О.С., Попов С.Н., Ильина Е.А. (Институт энергетики и автоматизированных систем, Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Магнитогорск, Россия).....187

*Авторы.....191*

# Some Practical Applications of Cognitive Info-communication

G. L. Kovács

Computer and Automation Research Institute,  
Hungarian Academy of Sciences  
Budapest, Hungary  
e-mail: gyorgy.kovacs@sztaki.hu

S. Kopácsi

Department of Information Technology,  
Dennis Gabor College,  
Budapest, Hungary  
e-mail:kopacsi@gdf.hu

## Abstract<sup>1</sup>

Some tools and methods of Cognitive Info-communication can be applied in waste material management, where the goal is to minimize real waste, applying re-use and re-make instead of re-cycle. Examples are given to show some problems and solutions, such as car sheet-metal parts, and orthosis as a medical application. 3D modeling and visualization assist the processes, as for example to support human decision making, and to create the tool paths to control Incremental Sheet Forming robots used to re-shape damaged or new parts

## 1. Introduction

It is clear that the world is running out of energy, raw materials and water, and we will soon have shortages. The “soon” as time span may mean anything from 10-20 to 100 years, i.e. a short period in history. Sustainable development (or more often used the more modest, less positive expression sustainability) has to save as much materials, energy and water as possible.

This study deals with the “last” phases of Product Life-Cycle Management (PLCM), see a little later on.. and material and energy saving are in focus. Material saving results in energy and water saving as well in most cases, as the production of new material needs more energy and water consumption, too.

PLCM starts with the idea of a product, and lasts until complete dismissal. It has several steps and phases as detailed design, assembly design, etc., which are followed by part manufacturing, assembly, testing, diagnostics and operation, advertisement, service, maintenance, etc. Then finally disassembly and dismissal arrive, but dismissal can be substituted by re-cycling (e.g. melting the metals) or re-use (application of used parts).

As a particular example in our study we examine the re-use possibilities (re-shape or re-make are often used with the same meaning) of damaged car body parts using 3D modeling and visualizations methods for finding buckles and fixing them by applying Incremental Sheet Forming.

We deal with several different, but corresponding issues, including cognitive info-communications.

To assist the reader in orientation a short explanation is given on the structure of the paper and on the relationships between the main issues:

First some of the last steps of PLCM, namely dismantling/disassembly and reuse/recycling are discussed as important actors of sustainability. Dismantling is followed by tests to decide the worthiness of re-shaping (re-forming) of certain sheet-metal parts (e.g. car body parts). The decision making between any two steps of the procedure is rather sophisticated, both computer and human knowledge are taken into account, supported by data- and knowledge bases distributed worldwide, communicated via networks. Due to the human knowledge and the human’s role decision making is done using cognition (cognitive behaviour). The decision making process is supported by 3D visualisation, too.

The sheet-metal parts are separated into two categories: repairable and non-repairable. All second type pieces are sent to a shredder for re-cycling, the rest is repaired for re-use by a robotic set-up, using ISF technology. The robot and the technology are modelled and simulated by specific tools of the VirCA system, which assist in 3D operations of any model and of any real robot as well.

Finally the KILT model and the TYPUS metrics are introduced to calculate the economic value/loss of the planned and executed repair activities and other PLC steps.

## 2. The main goal: to save natural resources

Material, water and energy shortages are the driving forces to deal with the recent topics, however now we underline that this study is born from the EU Directive 2000/53/EC according to which by 2015, the portion of each vehicle that should be recycled or reused has to increase to 95%, in other words only 5 percent may be lost. To avoid being too abstract in the following we use management of worn-out or crashed cars as an example.

## 3. EOL Cars: Ruse of sheet-metal parts

Dis-disassembly of end of life cars (EOL cars) should have the following main steps ([1], [2], [3])

---

Proceedings of the 5<sup>th</sup> All-Russian Conference  
"Information Technologies for Intelligent Decision  
Making Support", May 16 - 19, Ufa, Russia, 2017

**3.1.** Take special care of dangerous materials (oils, acids, lead in the battery, etc.). It is obligatory to start by taking them out,

**3.2.** Then a decision is needed whether to continue disassembly or not.

If we continued, all parts should be examined and classified as useful (very good, good, wrong and repairable) or useless (wrong and not repairable). This examination can be done either before or after taking the part apart. Classification should be continued until the last part has been dealt with, taking into account economic questions, too, as for example the market is full of a certain part or it is missing.

As disassembly is not a direct reverse assembly due to the fact that vehicles are used in a harsh environment, making smaller/bigger damages through everyday use, most external parts (e.g. screws and welds) become rusty, dirty and distorted.

This generally causes more complicated tools to use for disassembly than for assembly. It is true for the software support and for the hardware equipment as well.

In this study we deal only with a very restricted part of EOL cars, namely with sheet metal parts.

**3.3.** The first (mean: the next one) decision is whether to or not to disassemble the sheet metal parts. If a set of thickness measurements, or a visual examination say that the thickness is far from the requested value, or it is too much, or it is too rusty, it is better to finish the procedure and send the parts to the shredder.

If the thickness is acceptable and there are no specific visual problems

**3.4.** We have to examine the level of distortions and of all other damages and can decide to start or not to start de-welding. . De-welding means to cut (or de-weld) all welds and gain the original sheet metal parts, such as doors, wings, hood, etc.

Now we have a set of damaged metal parts.

**3.5.** We wish to re-gain the original shape of the damaged parts with a robotic ISF (Incremental Sheet Forming) system [in: Proc. NEW PROLAMAT Springer IFIP AICT 411 (pp. 239-253).

4]. The system needs digital input, and processing often needs human intervention/assistance. The main task of our recent work is the re-use (re-shape) of the sheet-metal parts, and this re-use can be reached – among others - in the way given in the following parts of this paper.

## **4. Human and Machine Decision Making**

One can see from the previous descriptions that there are several automatic, semi-automatic and human decision points in the process. Most of the decisions must be supported by sophisticated sensory measurements (mainly computer vision, laser scanning) and by sophisticated software packages, and data- and knowledge bases, which are working on networks, and

have intelligent solutions. do?” are decided, while the “why to do ?” was decided earlier.

The above discussed problems and possibilities altogether (intelligent human and computer decisions, intelligent sensors and problem solving, robotics, robot-human co-operation, all on networks, etc.) led us towards a relatively new domain, called Cognitive Info-communications (CogInfoCom, [5]).

CogInfoCom proposes a new and unified conceptual approach in which the process of merging is derived from the theoretically unified concept of different levels of cognitive capabilities co-existing in the information space (irrespective of whether they are natural or artificial capabilities, and whether they are individual capabilities or capabilities which emerge from a cloud of artificial and/or biological components). This derivation extends to various aspects of the merging, such as interactions and communication, as well as increasingly flexible interfacing between networks of living beings and artificial cognitive systems etc.

Cognitive Info-communications deals with the link between the research areas of info-communications and the cognitive sciences, necessary due to human involvement. CogInfoCom contacts the various engineering applications which have emerged as the synergic combination of these sciences.

The primary goal of CogInfoCom is to provide a systematic view of how cognitive processes can co-evolve with info-communications devices so that the capabilities of the human brain may not only be extended through these devices, irrespective of geographical distance, but may also interact with the capabilities of any artificially cognitive system. This merging and extension of cognitive capabilities is targeted towards engineering applications in which artificial and/or natural cognitive systems are enabled to work together more effectively.

The task of re-shaping sheet-metal parts of EOY (End of Life Vehicle) sounds technically simple, but as analysed it is very complex.

Now let us repeat the main steps with the decision points of sheet metal parts of worn out vehicles:

- dismantling,
- sheet metal parts' selection,
- repair (re-make, re-shape) by ISF with human assistance.

If we study the complete process several computer-, human- and joint decisions are necessary, and human assistance is needed during some technological steps, using several networked programs and data/knowledge sources all the time. Even the technology (ISF) may need human interventions. This set of computer technologies plus the human involvement directly leads to the field of CogInfoCom.

## 5. A proper vision for the human - 3D

The rapid development of graphical modelling tools made the accurate modelling of complex systems possible. More advanced models require more sophisticated rendering techniques, as well. Three-dimensional visualization can supply the most realistic feeling in a virtual environment.

As a consequence of the advanced 3D technology considering both input and output devices, there is higher need for creating 3D models.

Based on the latest research results of cognitive informatics [6] new communication methods between intelligent control systems or robots and human beings have been developed. Using these methods on the one hand we can control real robots via their virtual models applying motion sensors and other intelligent control devices, like voice recognition systems.

3D rendering today is available not only for special devices but for TV sets, for desktop and notebook computers, too. There are several methods of 3D representation, so let us have a brief look at some widespread techniques, especially at those that we used in our research. For details see [6] and [7].

Viewing side-by-side images on active or passive monitors [8] requires special software that puts the images together and either filters the image to the left and right eye, or controls the active 3D glasses that separate the images and cause 3D feeling.

## 6. The targets of our experiments

In our research we have applied 3D visualization of our industrial robot and its environment that performs *Incremental Sheet Forming*. After completing the 3D models we have connected them to the real processes in order to control them interactively.

Incremental Sheet Forming (ISF) is a relatively cheap and fast 3D shaping procedure of metal or polymer sheets to make one-of-a-kind production, or rapid prototyping. These applications would be very expensive with the traditional pressing die-sheet-die structure, as die production takes a lot of time and energy.

ISF is based on a series of local plastic deformations, created by a round or flat forming tool with a spherical head which is mounted on a CNC machine or on an industrial robot. In recent years the process has been tested also on (heated) polymer sheets. In all cases the starting point of the process is the 3D CAD model of the requested sheet part, from which the tool path calculation (for manufacturing) is done by a CAM program. The CAD model may be the result of the "original" design, or may be acquired by scanning the part.

ISF doesn't require special, complicated, expensive equipment, because a simple tool moves over the surface of the sheet causing a highly limited deformation. Consequently a broad range of 3D profiles can be shaped by moving the tool along a properly calculated track. The

advantage of ISF is the possibility of forming sheet material without dedicated dies, and to avoid huge pressing machines. This is particularly profitable for small batch or customized production [9].

Incremental Sheet Forming (ISF) can be divided into two groups, depending on the number of contact points between sheet, tool and die. We speak about Single Point Incremental Forming (SPIF) when one side of the part is supported by a faceplate (see fig.1.).



Fig. 1. Single Point Incremental Sheet Forming

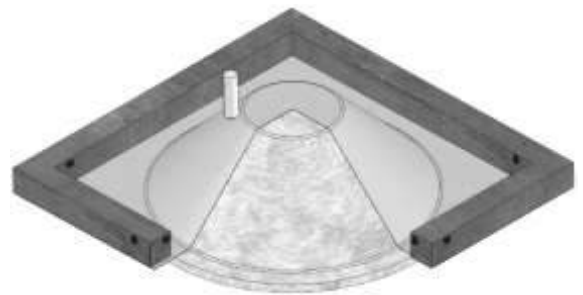


Fig. 2. Two Point Incremental Forming

The term Two Point Incremental Forming (TPIF) is used when a partial or full die is applied (see fig. 2). It is worth mentioning that a new and flexible variant with two synchronized forming tools can make almost arbitrary free form surfaces.

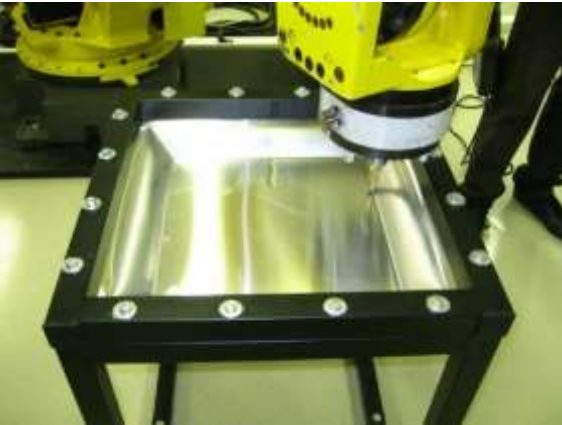
Thermoplastic materials can indeed be manufactured with ISF. Publications like dealing with the local heating of sheet metal parts in ISF, but none of them considers the possible application of it on thermoplastic materials. In [10] some preliminary experiments have been presented of SPIF of Polyethylene (PE) Sheets, but the optimization of the process still needs further research.

The automotive, aeronautic and space industry [12] are interested in this new sheet forming technique, and experimental applications in medical aid manufacturing are also promising [12].

In the our robot laboratory of the Computer and (MTA SZTAKI) an industrial robot (Fanuc S-430iF) has been set up, which has 6 degrees of freedom. It is able to lift up 130 kg, and has a ~2.5 meters horizontal reach. With this industrial robot we made several experiments in ISF (see fig. 3) forming truncated or complete pyramids, cones and similar objects, in order to establish the optimal process parameters (like forming speed and force).

## 6.1 Repairing car body parts

Generally the most complicated decision in the case of sheet-metal parts is to assess the shape/form of all objects. There are many fields of this decision making process, and the most advanced possibility is 3D modelling and visualization to assist human decision. In several cases it is enough to have a look at the sheet-metal part to decide if it is worth repairing it.



**Fig. 3. Incremental Sheet Forming using robot**

It is often hard to see whether there is an inadequacy or not (see fig.4). In this case 3D scanning and then a look at the 3D model can surely help.



**Fig. 4. Car body part**

It is clear that human visual examination of 3D models of sheet metal parts of EOL vehicles is only a very small segment in the LCM of the given parts, however it may still be a very helpful and important step in the decision making, thus we have to deal with this problem as well.

There is another important area where the ISF technology could be successfully used, namely in medical applications. These applications need a lot of intuition in problem definition, understanding and representation from both the medical and information technology experts. In the first joint efforts they have to learn a "common language".

## 6.2 A Medical application

In this study we shall speak only about spinal orthoses (see fig. 5), as physically such a piece of plastic or metal-

sheet looks similar to a car body part sheet-metal, thus we hope that similar technologies can be used for design, measurements and manufacturing.

Fig.6 shows an experimental set-up consisting of a robot and a 2.5D milling machine to make ISF of polymer sheets. ISF of polymer sheets with heating the sheet from one side (small robot) and forming it with an appropriate tool from the other side (milling machine) is an experimental set-up to gain appropriate knowledge about the technology and its parameters and the used materials.



**Fig. 5. Spinal orthosis**



**Fig. 6. Set-up with small robot and milling machine**

The processes in this setup can be started and monitored even in a 3D virtual world. Optical and other measurements for sheet thinning and thermal behavior are in process.

The goal of this research is to be involved in the medical applications of ISF, namely Orthosis design, manufacturing and repair according to the customer's and doctor's requests. It can be seen in fig.6. that the recent experiments allow a maximum size of 15 cm x15 cm for the sheet.

For a real, spinal orthosis we shall need a workspace of at least 100 cm X 50 cm X 30 cm, which can be managed easily, just the fixing and the machines should be substituted by bigger, more powerful ones. Wikipedia explains orthosis using professional sources - it is no shame to cite - and simplifies the text sometimes, what is an advantage for the recent study. An orthosis is "an externally applied device used to modify the structural and functional characteristics of the neuromuscular and skeletal system" [13] An orthosis may be used to assist in several ways, all worth to studying, but here we mention only those, which may relate to spinal orthosis, i.e.:

- To restrict movement in a given direction or to assist movement generally
- To reduce weight bearing forces for a particular purpose
- To otherwise correct the shape and/or function of the body, to provide easier movement capability or reduce pain

Orthotics combines knowledge of anatomy and physiology, pathophysiology, biomechanics and engineering. Patients benefiting from an orthosis may have a condition such as spinal bifida or cerebral palsy, or have experienced a spinal cord injury or stroke. Equally, orthoses are sometimes used prophylactically or to optimise performance in sport.

Orthoses were traditionally made by following a tracing of the extremity with measurements to assist in creating a well fitted device. Later the advent of plastics as a material of choice for construction necessitated the idea of creating a plaster of Paris mold of the body part in question. This method is still extensively used in the industry. Currently CAD/CAM, CNC machines and even 3D printing are involved in orthotic manufacture.

Orthoses are made from various types of materials including thermoplastics, carbon fibre, metals, elastic, fabric or a combination of similar materials. There are several applications of orthoses, as for example for limb, foot, ankle, knee, etc. but now we deal only with Spinal orthoses. We plan to use the ISF technology for creation and repair of plastics orthoses.

Scoliosis, a condition describing an abnormal curvature of the spine, may in certain cases be treated with spinal orthoses. As this condition develops most commonly in adolescent females who are undergoing their pubertal growth spurt, compliance with wearing is these orthoses is hampered by the concern these individuals have about changes in appearance and restriction caused by wearing orthoses.

There are a number of spinal orthotic designs common to assist individuals with pathologies of the neck and back. A thoracolumbar spinal orthosis (TLSO) is a plastic body jacket to immobilize the thoracolumbar spine, although that term describes any type of orthosis that encumbers the trunk, ranging from soft corsets to metal braces to strap and pad designs that affect pathologies ranging from back pain to scoliosis to fracture. TLSOs may also be used in the treatment of stable spinal fractures.

Without going into any medical or information technology details we can see that there are different kind problem statements, solution possibilities and necessary decisions on both professional sides. For example we should decide whether to make a new orthosis from a piece of new sheet material, or use an old one, and apply re-make (re-shape) technology. If the decision is re-shape an existing orthosis for patient B one has to decide: reshape and old piece of the patient B, or re-shape an old orthosis of any patient A for patient B.

In every decision there are several points to see and to evaluate, thus all decisions are rather complex: medical and computer science knowledge, measurement and programming capabilities, material science knowledge and lots of other things are needed. Human participation and equilibrium of human and machine intelligence are equally necessary.

At the same time accumulated experiences and data and knowledge sources – residing in several computers of the world – have to be present and assist the designer, operator, etc. - through sophisticated networks of different computers. The reader may understand already that the authors intention is to show the way to Cognitive Info-communication due to the several human and machine- players of the game, with a huge number of relationships – but still all have to be managed and used.

## 7. 3D Modelling and Simulation

We have developed the 3D models of the components (robots, machines, and their environment) of the examined processes, and after that we have tested them in the course of execution. The basis of our tests is a 3D virtual environment (VirCA [Orthosis: <http://en.wikipedia.org/wiki/Orthotics>

14]), with which we made our models alive in the cyber space.

### 7.1 Creation of 3D Models

We have created the 3D models of our system and its environment (see Fig.7) using 3D designer programs, mainly Google SketchUp 8 [15]. Some of the original 3D visual components have been created in other graphic modeler programs (e.g. SolidWorks, Solid Edge) using different file formats (e.g. STEP, DAE) that have been imported to Google SketchUp. In some cases Autodesk 3ds Max has been used for transforming original files to 3DS format that has been imported to Google SketchUp, too.



**Fig. 7. Model of Fanuc robot and its environment.**

First we tried to create the 3D models of the above mentioned car body parts by using a Kinect sensor [17]

and applying the free, non-commercial software, ReconstructMe [18]. The first trials were promising, but the models were not detailed enough, and due to the non-commercial version disturbing additional spheres were added intentionally by the software (see Fig. 8) as disturbances

Therefore in order to avoid the spheres we are going to use the commercial version of ReconstructMe, and another input device, called carmine [19] in order to improve the details of the scanned models.

### 7.2 Virtual Collaboration Arena

The Cognitive Informatics Laboratory of SZTAKI developed a Virtual Collaboration Arena (VirCA) [14 & 20], that has been used for the modeling and control of our applications [21].

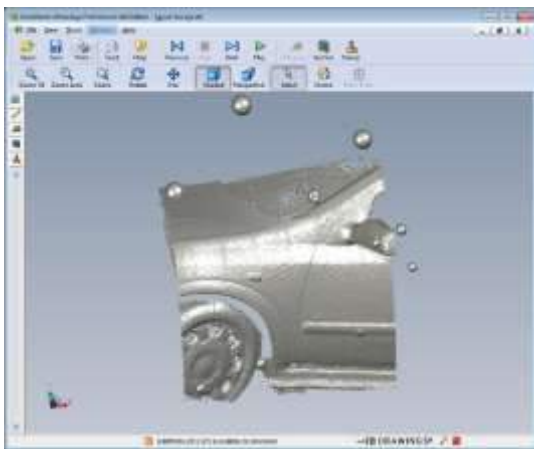


Fig. 8. Scanned car body part

VirCA is a component based, distributed, interactive virtual reality manager system for connecting, as well as displaying and manipulating virtual and real objects, realizing collaboration that way. VirCA handles real, physical as well as virtual spaces in order to realize distributed, interactive collaboration.

The innovation of the VirCA system on the other hand is the connection of virtual and real physical devices. The user can see and manipulate the different, usually distant devices together. With the help of the virtual objects, the cooperation of such real devices far from each other can be tested without the development of a simulator.

### 7.3 Applications of the 3D Models

Since the graphic engine of VirCA is Ogre [16], therefore the visual components of all models have been supplied in Ogre (mesh and material files) format. The mesh and material files have been exported from Google SketchUp, using “SketchUp to Ogre Exporter” plug-in.

Using ReconstructMe we can digitalize the damaged car body part and save it in STL format, from which we can create the 3D models for better (stereoscopic 3D) visualization, as well as for the CAD application (SolidWorks) in which we can manually reshape the model of the damaged parts.

Using an add-in software of SolidWorks, called SolidCAM we can generate the tool path for the ISF application from the reshaped 3D model of the damaged part. In this way using ISF we can either reshape the real damaged part or remake the part from new sheet metal.

As most real sheet-metal parts of cars are larger than 50cm x 50cm we work on a larger fixing equipment.

Fig .9 presents a general view of the different graphic formats of the 3D models and their connection to the VirCA system and to the ISF application.

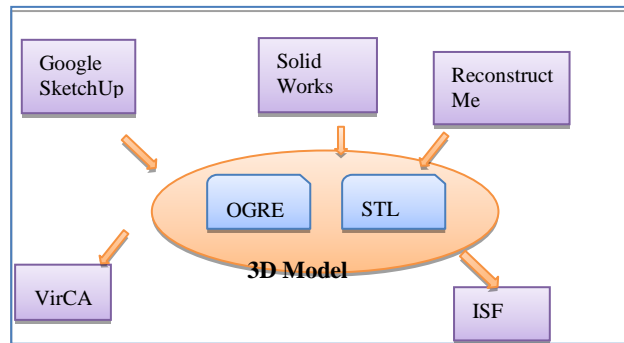


Fig. 9. Fanuc robot in VirCA

### 7.4 Operation of the 3D models

The VirCA environment allows us to be in a virtual environment and interact with it knowing that all the actions will be also done in the real environment. This way several parameters, as well as the model of the industrial process can be examined both in the virtual and in the real system .

A special web based tool [22] supports the connection of the different programs with the proper interfaces, and activates the whole system via the Internet. It controls the states and connections of all the affected components, even though they might be

### 8.Value Calculations in PLCM

When we deal with dismantling of EOL vehicles, and take a set of rather important questions under examination we should not forget about costs. It may easily happen that a part is pushed through our suggested long and sometimes complicated decision process and then a re-make or re-use process is done using human and machine resources, and finally the value chain results in financial losses. And this is a simplified value chain as costs are calculated from human and machine resources, energy, paint, and some additional costs. available from the different parts of the world.

Finally the calculation is something like this: “I do the repair if I can sell the repaired part for more than the costs of the given part + repair works + energy, materials, etc.” However this calculation does not correspond to the requests of sustainability, of energy and water saving i.e. of our future. In the future we have to take into consideration the “footprint” and “side effects”, too.

These mean that the environment may be damaged by some works, or some extra water or energy are needed, which are not taken into account, however they are contributing to a general water and energy shortage.

In this last part of our study a calculation method and some further ideas are presented to estimate the product values at each level of the PLCM for any kind of firms, SMEs in production, service, etc.

These calculations might help to evaluate re-cycling, reuse and/or dismissal of products, used parts and group of used parts. This will be a rather sophisticated numerical evaluation method in the future to assist decisions for programs and for the human. However these are only ideas today, as no precise calculations are supported, just some trends and directions can be concluded based on them.

Numerical comparisons are foreseen based on the TYPUS metrics and *KILT* model (for details see [23], [24], [25]) are given below to make go/no go decisions easy, and often give answers to the question: worthwhile?

### 8.1 The TYPUS metrics

TYPUS metrics means Tangibles Yield per Unit of Service. It is measured in money – on ecological basis. It reflects the total energy and material consumption of (all) extended products of a given unit, e. g. of an enterprise of any kind.

The metrics assumes several important aspects, and it is open for further points of view.:

- to define a scale for measuring the life-cycle function supplied by the artefact,
- to record the material and energy provisions during the manufacturing phase,
- to record the material and energy provisions during the operation service,
- to evaluate the material and energy recovery at dismissal, reuse and recycling.

To demonstrate the difference between tangibles (for example a piece of metal) and intangibles (defined by the shape and function, for example a spoon made from the metal), there are some simple provisions.

Provision of tangibles:

- Extended warranties (supply maintenance) and
- Temporary allocation of artefacts (leased commodities)

Provision of intangibles:

- Temporary use of artefacts (shared commodities) and
- Dematerialized assignments (function delivery)

**TYPUS, tangibles yield per unit service:** the measurement plot covers the materials supply chain, from procurement, to recovery, so that every enjoyed product-service has associated eco-figures, assembling the resources consumption and the induced falls-off requiring remediation. The results are expressed in money,

resorting to the arbitrariness of establishing stock-replacing prospects. The point is left open, but it needs to be detailed, to provide quantitative (legal metrology driven) assessment of the “deposit-refund” balance.

The metrics is an effective standard aiming at natural capital intensive exploitation. The supply chain lifecycle visibility needs monitoring and recording of the joint economic/ecologic issues, giving quantitative assessment of all input/output materials and energy flows.

When a metrics, such as TYPUS, is adopted, conservative behaviors are quickly fostered. The ecologic bent of the taxing systems becomes enabling spur, to turn the “knowledge” paradigms towards environmental friendly goals. The TYPUS, tangibles yield per unit service, metrics can, of course, take other forms. The objective is to look after capital conservative arrangements, notably, as for the natural assets. In different words, the objective is saving the wealth (the capital), and to tax the consumption (the imbalance of the natural resources).

### 8.2 The KILT model

*KILT* is an arbitrarily and at the same time properly chosen implementation of TYPUS, we could imagine other realizations as well. However the recently given definition seems to be the best to be used for the requested goals.

The refunding needs synthetic models describing the manufacture processes. With earlier models the delivered quantities (all outputs), *Q*, which are assumed to depend on the contributed **financial ( I ) and human ( L ) capitals** only.

$$Q = f(I, L)$$

Linear input/output models are assumed for instant marginal description of the quantities, or for related increments around an optimal setting. Enhanced models are in use, to include market entry thresholds (*I*<sub>min</sub> and *L*<sub>min</sub>), or saturations (*I*<sub>max</sub> and *L*<sub>max</sub>).

Similarly, instead of bi-linear dependence, close to steady state, the lack of symmetry could have resort to modulating exponentials.

The **know-how (K)** innovation and the **tangibles (T)** bookkeeping have non negligible effects. (Remember: *I* **and** *L* are financial and human **capitals**) The modified – and stronger, more closed to real life – relationships become:

$$Q = f(K, I, L, T)$$

$$Q_0 = \alpha KILT; \quad \text{or, incrementally}$$

$$dQ = \alpha KILT - (kK + iI + lL + tT)$$

The value of **dQ** (delta Q) **corresponds** to the **value of change** between any two life-cycle **phases p1 and p2**.

The calculation of dQ means a kind of multiplication of the four basic values K, I, L and T. If any of them has a value zero or close to zero, the yield will be close to zero



as well. There is a lot to think about the applied values and dimensions and on the necessary balance.

## 9. Conclusions

All the fields of the presented and related research are (or can be) directly connected to Cognitive Info-Communication. See [26] in addition.

Some of these relationships were explained earlier in this paper, others are only mentioned without going into explanations. A short list is given, as examples:

- 3D modelling, - scanning car body parts,
- computer networks with distributed programs,
- knowledge assisting several programs in solving problems of all kind,
- using intelligent decision support, etc.

Vehicle dismantling (including re-use with or without repair and re-cycling) is very important because of energy, water and material shortage on the earth. Due to the complexity of the tasks and decisions as well as to the high level of computer/human cooperation new methods should be used, as e.g. the above mentioned Cognitive Info-Communications. To calculate values and compare them at any level of the Product Life-Cycle Management (PLCM) at any detail the **TYPUS** metrics and the **KILT** model were discussed and suggested as possible, but not yet enough elaborated tools and means.

## Acknowledgement

This research and the establishment of the robot laboratory were supported by MTA SZTAKI. VirCA was provided by our Cognitive Informatics Laboratory.

## References

1. Lambert J. D.: Disassembly sequencing: a survey, Int. Journal on Production Research., 2003, vol. 41, no. 16, pp. 3721–3759.
2. Liu Y.: Used-Car Dismantling and Recycling of Key Technologies, Applied Mechanics and Materials (Volume 33), October 2010, pp. 655-659.
3. Kovács G.L., Paniti I.: Re-use of Sheet Metal Parts of EOL Vehicles - Some Aspects of Product Life-Cycle Management **in:** Proc. NEW PROLAMAT Springer IFIP AICT 411 (pp. 239-253).
4. Emmens, W.C. and Sebastiani, G. and Boogaard van den, A.H. (2010): The technology of Incremental Sheet Forming - a brief review of the history. Journal of Materials Processing Technology, 210 (8). pp. 981-997. ISSN 0924-0136
5. Baranyi P. Csapó A. (2012): Definition and Synergies of Cognitive Infocommunications, Acta Polytechnica Hungarica, vol. 9, no. 1, pp. 67-83
6. Baranyi, P., Persa, Gy., Csapó, Á.: Definition of cognitive infocommunications and an architectural implementation of cognitive infocomm. systems. CCICI 2011. Int. Conf. on computational intelligence and cognitive informatics. Bali, 2011. pp.1-5
7. Anaglyph (2012) : <http://www.3djournal.com/001/anaglyph.php?lgd=0>,
8. Miller, P., Monynihan, T.: Active 3D vs. Passive 3D, PCWorld, Apr. 14, 2011
9. Auto stereograms: <http://www.positscience.com/brain-resources/brain-teasers/autostereograms>, 2012.
10. Jackson K., Allwood J.: The mechanics of incremental sheet forming, J. of Materials Processing Technology, Elsevier, 2009, pp.1158–1174
11. Kaufman C. J. Rocky Mountain Research Lab., Boulder, CO, private communication, May 1995.
12. Rauch, M., Hascoet, J. Y., Hamann, J. C., Plenel, Y.: Tool path programming optimization for incremental sheet forming applications. Computer-Aided Design Vol. 41, No. 12, 2009. pp.877–885.
13. Orthosis: <http://en.wikipedia.org/wiki/Orthotics>
14. Galambos P., Reskó B., and Baranyi P., 2010. Introduction of Virtual Collaboration Arena (VirCA), The 7th International Conference on Ubiquitous Robots and Ambient Intelligence, Busan, Korea, 2010, pp. 575-576.
15. What's New in Google SketchUp 8 (2011) <http://sketchup.google.com/intl/en/product/newin8.html>
16. Junker Gregory: Pro Ogre 3D Programming, Expert's Voice in Open Source, Apress Publisher, ISBN:9781590597101, 2006
17. Kinect: <http://en.wikipedia.org/wiki/Kinect>, 2012.
18. ReconstructMe: <http://reconstructme.net/>, 2013.
19. Camine: <http://www.primesense.com/get-your-sensor2/carmine109/>, 2013.
20. VirCA: <http://virca.hu>, 2012
21. Tisza, M., Paniti, I., Kovács, P. Z.. Experimental and numerical study of a milling machine-based dieless incremental sheet forming. International Journal of Material Forming, Volume 3, Supplement 1, 2010, pp. 441-446.
22. Galambos P. and Baranyi P., "VirCA as Virtual Intelligent Space for RT-Middleware," in 2011 IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics (AIM), 2011, pp. 140-145.
23. Michelini, R.C., Kovács, G. L.: Integrated Design for Sustainability: Intelligence for Eco-Consistent Products and Services, in: EBS REVIEW, ISSN 1406-0264, Innovation, Knowledge, Marketing and Ethics, Winter 2002/2003, pp. 81-94.
24. R. Michelini R.C.: Knowledge Entrepreneurship and Sustainable Growth, (book, 325 pages), NOVA Science Publ., 2008.25.Michelini R.C: Knowledge

Society Engineering, A Sustainable Growth Pledge,  
(book, 350 pages), NOVA Science Publ., 2010.

26. Nacsá J., Paniti I., Kopácsi S.: Incremental Sheet

Forming in Cyberspace – a Process Oriented Cognitive  
Robotics Application, CogInfoCom 2011, 2nd  
International Conference on Cognitive  
Infocommunications in Budapest – July 7-9, 2011.

# Validation of the XML documents in Web-applications based on situation-oriented databases (DTD, XML SCHEMA, RELAX NG)

V.V. Mironov

Department of Computer Science and Robotics  
Ufa State Aviation Technical University  
Ufa, Russia  
e-mail: [mironov@ugatu.su](mailto:mironov@ugatu.su)

N.I. Yusupova

Department of Computer Science and Robotics  
Ufa State Aviation Technical University  
Ufa, Russia  
e-mail: [yussupova@ugatu.ac.ru](mailto:yussupova@ugatu.ac.ru)

A.S. Gusarenko

Department of Computer Science and Robotics  
Ufa State Aviation Technical University  
Ufa, Russia  
e-mail: [gusarenko@ugatu.su](mailto:gusarenko@ugatu.su)

## Abstract<sup>1</sup>

The article deals with modern and previously proven in practice means to verify the structure of the documents to the appropriate document description scheme. The problem of using schemes for validating (validating) XML documents in the model of a situationally-oriented database (SODB) with the help of an XML-based document structure. As a result, the ability to work with third-party SODB extends, XML documents stored on third-party services are downloaded and used in a web application with a preliminary validation check. Thus, the dynamic model is expanded with specifications for connecting circuits to monitor the data being downloaded. As a result, the SODB allows not only to process data, but also to control the data downloaded by users or from third-party RESTful-services. The obtained results are discussed on the example of the XML file of the information system about dissertational councils.

## 1. Introduction

At the current stage of designing SODB [1–3], in addition to data processing, the task of monitoring downloaded data from users arises. Users regularly upload XML documents to the information system for their processing and if the data generated in the system is not required to be checked, a validation scheme is required for the user data.

XML validation is a task that can be solved using schemas that specify the structure of a document. The document schema is also presented in the form of an

XML document and currently their versions are sufficiently developed, standardized. Inside the schema of the document, there are rules for matching with which the received data is checked. From the history it is known that the first scheme for determining the document structure was the DTD (DTD schema language), it does not have the form of XML and, in comparison with other languages, has more modest capabilities, does not work with namespaces. The second popular scheme is XML Schema recommended by W3C [4–7, 22–24]. A distinctive feature of the scheme is the use of element types and the orientation to use in document-oriented systems intended primarily for processing XML documents. However, XML Schema [16–21] is difficult to learn, which is its drawback. Another popular scheme in recent times is the Relax NG [24], which is closer to the DTD, but with more possibilities for specifying circuits. The Relax NG scheme differs from XML Schema in a compact description of the structure of documents. Currently, for SODB (SODB - Situation-oriented databases), a means of specifying a scheme for checking documents is required. For this, an example is considered in the article, where users send a file about the composition of the dissertational council and it needs to be checked by the scheme for correctness. The file can be stored both on the remote server and can be downloaded via the file selection dialog to the database server.

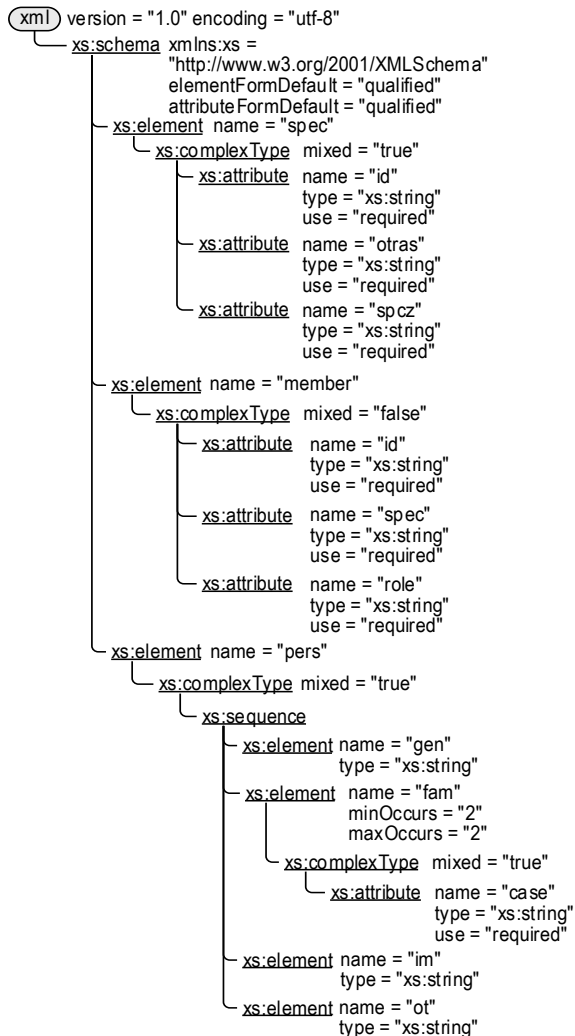
## 2. Document Validation Schemes

**XML Schema and Relax NG.** Currently, three data validation schemes for DTD, XML Schema, Relax NG have been distributed. The motivation to create an alternative scheme is the simplicity and beauty of the description of the data validation scheme. Relax NG (Regular Language for XML) has been adapted for use with XML thanks to mathematical support, which is based on regular expressions [18]. The mathematical

---

Proceedings of the 5<sup>th</sup> All-Russian Conference  
"Information Technologies for Intelligent Decision  
Making Support", May 16 - 19, Ufa, Russia, 2017

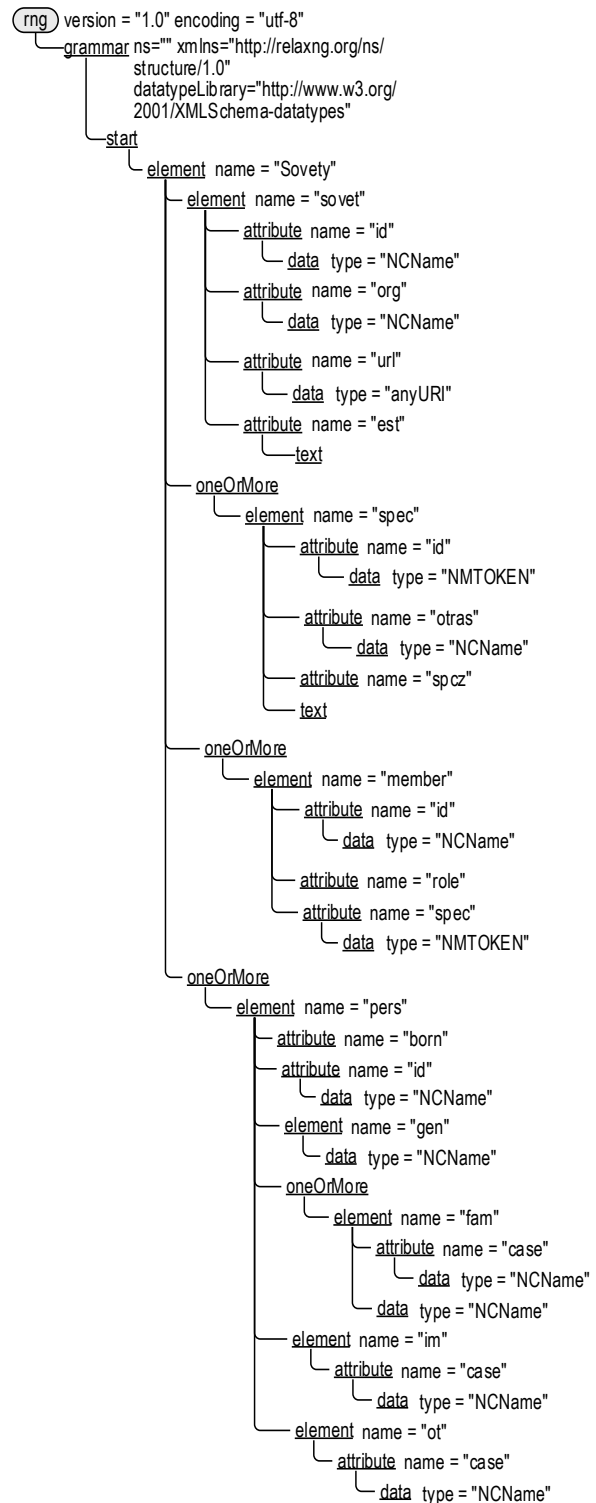
concept of "hedging" by the author Murata Makoto, which adapted his mathematical concept [24] to application in XML, also adapted the algorithm of finite state machines and another important merit was the development of an application for XML validation that can be used on Mobile devices.



**Fig 1. A fragment of the graphical and syntactic XML representation of the XML Schema element of the specialty and its key attributes**

Two syntaxes have been developed: compact and extended XML, a more compact syntax is better because of its small volume, since there is no need to build a dictionary with bulky expressions and reserved words. The compact syntax is currently supported by browsers and editors with syntax highlighting. The main advantage of XML syntax Relax NG is the generation of documentation from it, that is, from its source code, which is structured and commented. Such a program code was suggested by Donald Knuth [24] the term "literate programming", where each program is regarded as a literary work, from its point of view the best way to document programs is to design them in the form of literary works. As you can see in the graphical diagram, the required value is "required" for the "use" attribute.

The name of the attribute is specified in the "name" parameter.



**Fig 2. Fragment of graphical and syntactic representations of the Relax NG schema for the element of the specialty and its key attributes**

As you can see in the graphical diagram, the required value is "required" for the "use" attribute. The name of the attribute is specified in the "name" parameter. Also, strict typing is introduced when each attribute has a type (in our example, a string string).

The Relax NG schema has the same view as XML, but in addition the reduced syntax of the schema definition is used, since Relax NG differs from XML Schema in a simpler way (Figure 3), the additional syntax of the Relax NG scheme is the compact syntax Relax NG, visually it seems to be similar to JSON syntax, which is more economical in writing a schema. Unfortunately, now on the PHP platform there is no possibility of validating documents with the help of compact syntax, so you can implement this additional tool only in the dynamic database model language, but you will not have to use it, as the corresponding functionality will not be available in the PHP interpreter.

**DTD.** The first diagram for describing documents is DTD (Figure 3), it is considered obsolete, but it is nevertheless used for document verification. In the document to be checked, the scheme with the place of its storage must be specified during the check, otherwise the document can not be recognized as valid (valid). Errors for the board file that arise when the schema is validated are displayed when opened in the browser on the screen, if you specify the specification and location of the schema on the hard disk of the computer or the URL of the url.

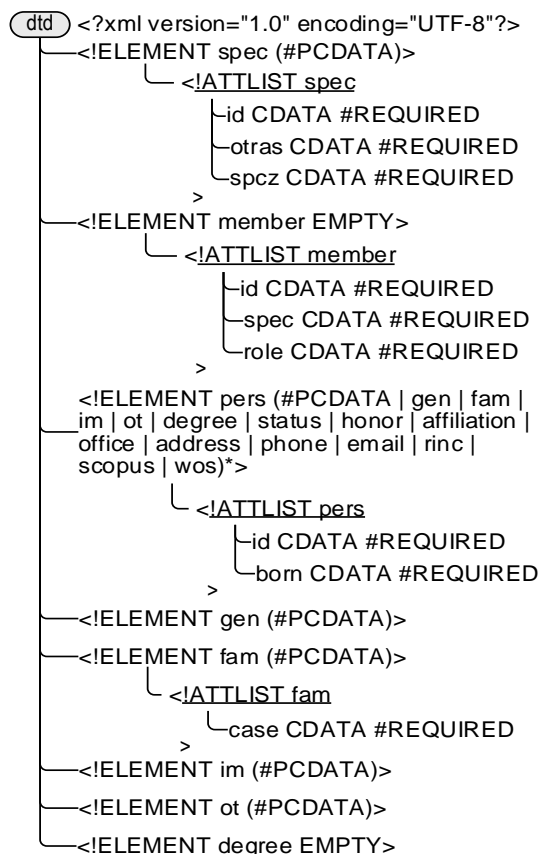


Fig 3. A fragment of the graphical and syntactic views of the DTD schema for the specialty element and its key attributes

### 3. Schemes of Documents Validation

**Validation of documents in the SODB.** Data processing in DOM objects of SODB uses XML-data, processing, during which new documents are generated in the SODB,

is maintained with a document that is correct and contains no errors. Thus, documents created on the basis of XML data within the system are not required to be checked and data schemes are not used for this. In those conditions, when documents are downloaded to the system from outside, the task of validation becomes valid. Such conditions require the SODB to provide a dynamic model for verifying documents for correctness on the basis of a data description scheme. The model can use several modern schemes for describing data structures, such as Relax NG, XML Schema. In other words, a collection of data schemas is formed on the server, which is a repository similar to the XML data store [6-12], which consists only of a large number of schema documents. Schemas also help the user to identify errors in documents that he provides for processing in the SODB application, after completing the validation procedure, the user makes changes to the document and sends it back to the system. Figure 4 shows a fragment of the model with a given schema for checking the document loaded into the DOM object. To specify a schema, use the xsdPath attribute, which specifies the path to the document from the schema collection, in this case schema.xsd. For the xsd schema building, the model uses the xsdPath attribute of the PHP extension to work with the XML Schema. The xsd schema is associated with the file for validation and has a representation in the form of text in the XML language, as well as in a diagram (Figure 4).

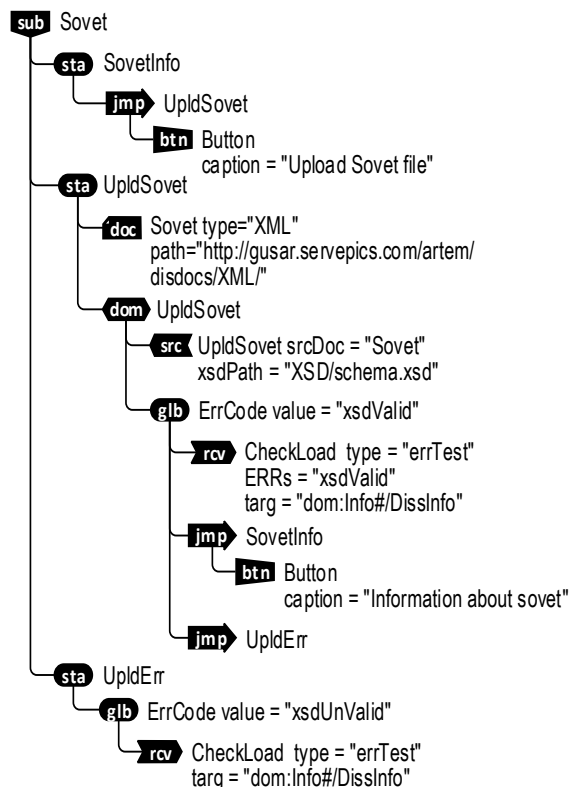


Fig 4. Syntax diagram the state of the DOM object load model from a third-party XML service using an XML Schema data schema for validating the content

This figure shows a syntax diagram, consisting of three states inside the submodel "Sovet". The first state involves downloading a file with information about the board. In this state, there is a transition to a situation, the task of which is to download information about the advice, the transition to it is carried out using the button "Download the file of the council." The "Upload Advice File" state (UpldSovet) allows you to upload to the XML directory on a server with preliminary control the XML Schema schema. This schema is specified in the source element of the DOM object UpldSovet. If no errors occur, no transition to other states occurs, and the further processing of the XML file of the board continues in the current state [6–12]. If the document contains errors during the check, the transition is triggered and a variable is created - the global array with an error, then the transition to the "UpldErr" state where all errors are processed. When errors occur, a CheckLoad element with the errTest type is created to print the result of the scan to the DOM object, which is specified in the targ = "dom: Info # / DissInfo" attribute. The targ element specifies the predefined object in which the result is written, in this DOM object (Figure 4) "DissInfo" indicates the path for saving temporary files. Processing of XML Schema,

**Relax NG and DTD errors.** When errors occur during the interpretation of the dynamic model when the document is validated, the interpreter uses the php extension to output errors called lib\_xml. The procedure in this case is the same if the relaxNGPath attribute is found in the model, then error output is turned on, then the DOM object, the loaded memory, is associated with the scheme located along the path specified in the relaxNGPath attribute. When the schema detects errors in the document, a global array is created, into which the element name, error code, and message are written. Then, users are displayed a global array of errors so that they can make changes to the document in accordance with the schema. The lib\_xml extension works for both XML Schema and Relax NG. From the error log, which is displayed on the screen, the user can understand in which line of the document an error occurred. Of course, after the error log was generated and it turned out that the document is incorrect, it can not be used on the system, so until the errors are corrected the document will not be loaded and used in the processing of data in DPO-objects. The only difference between DTDs and XML Schema and Relax NG schemas is a prerequisite for the DTD schema to be prescribed in the XML document, ie, a reference to the schema in the document header. For correct validation, this should be the path to the resource on the database server or the external Restful resource.

Implementation of validation functionality in the SODB interpreter. The functional component is implemented using the capabilities of PHP, so the interpreter of the dynamic model of the RDBMS uses the capabilities and functions of validating the PHP interpreter for working with XML. PHP already implements the schemaValidate () function to perform validation using the XML Schema schema, and another relaxNGValidate () function is

implemented to use Relax NG schemes. For the DTD, the basic function of validate () remained. These three functions also involve the PHP interpreter. After the document is sent via the XML upload form in the POST array, the interpreter parses the model in search of the elements with the attributes xsdPath, relaxNGPath, dtdPath, which were entered in the model to specify the path to the storage location of the schemas with the document dictionaries. Each attribute has its own handler, where after detection of the attribute, error control is enabled based on the built-in library lib\_xml, the user document that you want to check is already loaded into the DOM object and the schema is applied to the path specified in xsdPath using the three functions considered, and All errors that occur during the test are displayed on the user's screen after a global error array has been created and information about the situation and an error message are recorded in it.

#### 4. Conclusion

The article considers the task of validating user documents in SODB, which they load into the system. The interpreter modules for the organization of validation of user documents have been developed, using the extensions Relax NG, XML Schema, DTD. Due to the developed software, validation is specified in a declarative form in the SODB model, as well as the implementation of error control during validation using the lib\_xml PHP extension. To solve the validation problem, linguistic bases for embedding in the model were developed, the corresponding functionality for processing elements of the sources of document validation schemes was introduced into the interpreter of dynamic models.

#### References

1. Mironov V. V., Gusarenko A. S., "Situation-oriented data-bases: the concept of managing XML-data based on dynamic DOM-objects" (in Russian), in Vestnik UGATU, Vol. 16, No. 3 (48), P. 159–172, 2012.
2. Mironov V. V., Gusarenko A. S., "Dynamic DOM-objects in situation-oriented databases: lingware and knoware of data sources" (in Russian), in Vestnik UGATU, Vol. 16, No. 6 (51), P. 167–176, 2012.
3. Gusarenko A. S., "Handling XML-documents in situation-oriented databases based on dynamic DOM-objects" (in Russian), thesis abstract for the degree of candidate of technical sciences, UGATU, P. 16, 2013.
4. Mironov V. V., Kanashin V. V. "Hierarchical widgets: user interface organization in web applications on the basis of situation-oriented databases" Vestnik UGATU. 2013; Vol. 17, No. 2 (55), P. 138–149.
5. Mironov V. V., Kanashin V. V. "Hierarchical widgets: input and control of the user data in web applications on the basis of situation-oriented databases," Vestnik UGATU, 2013; Vol. 17, No. 5 (58), P. 166–176.

6. Mironov V. V., Kanashin V. V. "Hierarchical widgets: user data control algorithms in web applications on the basis of situation-oriented databases," *Vestnik UGATU*, 2014; Vol. 18, No. 1 (62), P. 204–213.
7. Mironov V. V., Kanashin V. V. "Hierarchical widgets: experience of use in the web application on the basis of situation-oriented database" *Vestnik UGATU*, 2014; Vol. 18, No. 2 (63), P. 185–196.
8. Gusarenko A. S., Mironov V. V., "Smarty- objects: use case of heterogeneous sources in situation- oriented databases," (in Russian), *Vestnik UGATU*, Vol. 18, No. 3 (63), P. 242-252, 2014.
9. Gusarenko A. S., Mironov V. V., "Using of RESTful- services in situation- oriented databases," (in Russian), *Vestnik UGA-TU*, Vol. 19, No. 1 (67), P. 204–211, 2015.
10. Mironov V. V., Gusarenko A. S., Dimetiev R. R., Sarvarov M. R., "The personalized documents generating using DOM- objects in situation- oriented databases," (in Russian), *Vestnik UGATU*, Vol. 18, No. 4 (65), P. 191–197, 2014.
11. Mironov V. V., Yusupova N. I., Gusarenko A. S., "Situation-oriented data-bases: current status and prospects of research," (in Russian), *Vestnik UGATU*, Vol. 19, No. 2 (68), P. 188–199, 2015.
12. Gusarenko A. S., "Model for creating documents in Office Open XML format based on situation-oriented databases," (in Russian), *Applied Informat-ics*, Vol. 10, No. 3, P. 62–75, 2015.
13. Balmin A., Papakonstantinou Y., Vianu V. Incremental validation of XML documents // *Journal ACM Transactions on Database Systems (TODS)*. 2004. Vol. 29, No. 4. P. 710–751.
14. Bohannon P., Freire J., Roy P., Simeon J. From XML schema to relations: a cost-based approach to XML storage // *Data Engineering*, 2002. Proceedings. 18th International Conference, San Jose, CA: IEEE, 2002, 64–75.
15. Barbosa D., Mendelzon A. O., Libkin L., Mignet L., Arenas M. Efficient incremental validation of XML documents // *Data Engineering*, 2004. Proceedings. 20th International Conference, IEEE, 2004, 671–682.
16. Kostoulas M. G., Matsa M., Mendelsohn N., Perkins E., Heifets A., Mercaldi M. XML screamer: an integrated approach to high performance XML parsing, validation and deserialization // *Proceedings of the 15th international conference on World Wide Web*, New York, USA, 2006. P. 93–102.
17. League C., Eng K. Schema-Based Compression of XML Data with Relax NG // *Journal of Computers*, 2007, Vol. 2, No. 10, P. 9–17.
18. Myllymaki J. Effective Web data extraction with standard XML technologies // *Computer Networks*. Vol. 39, No. 5, 2002, P. 635–644.
19. Kosek J., Nálevka P. Relaxed: on the way towards true validation of compound documents // *Proceedings of the 15th international conference on World Wide Web*. New York, USA, 2006. P. 427–436.
20. Bouchou B., Halfeld Ferrari Alves M. Updates and Incremental Validation of XML Documents // *Database Programming Languages Lecture Notes in Computer Science*. Vol. 2921, P. 216–232.
21. Segoufin L., Sirangelo C. Constant-Memory Validation of Streaming XML Documents Against DTDs // *Database Theory – ICDT*, Vol. 4353 in *Lecture Notes in Computer Science*, 2007, P. 299–313.
22. Rinner C., Janzek-Hawlat S., Sibinovic S., Duftschmid G. Semantic Validation of Standard based Electronic Health Record Documents with W3C XML Schema // *Methods of Information in Medicine*. Vol. 49, No. 3, 2010, 271–280.
23. Sang-Kyun Kim, Myungcheol Lee, Kyu-Chul Lee Immediate and Partial Validation Mechanism for the Conflict Resolution of Update Operations in XML Databases // *Advances in Web-Age Information Management* Vol. 2419 *Lecture Notes in Computer Science* P. 387–396.
24. Eric van der Vlist (2011, Dec.). RELAX NG [Online]. Available: <http://books.xmlschemata.org/relaxng/>

# Фрактальный подход к семантическому моделированию

А.Г. Массель

Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева СО РАН

Иркутск, Россия

e-mail: amassel@gmail.com

## Аннотация<sup>1</sup>

В статье рассмотрен подход, основанный на применении семантического моделирования, который используется в исследованиях проблем энергетической безопасности. Обозначена основная проблема интеграции этих моделей. Предложен фрактальный подход к семантическому моделированию, который заключается во взаимодействии фрактальных стратифицированных моделей ситуационного управления и интеграции семантических моделей.

## 1. Введение

В лаборатории информационных технологий Института систем энергетики им. Л.А. Мелентьева СО РАН был предложен фрактальный подход к структурированию знаний [1]. Подход заключается в построении фрактальной стратифицированной модели структурирования знаний (ФС-модели), которая основана на представлении разных форм (видов) знаний как информационных объектов расслоенного (стратифицированного) пространства [2, 3]. В настоящее время фрактальный подход активно применяется при построении онтологического пространства знаний в энергетике [4].

В качестве интегрирующей идеи для применения фрактального подхода во всех видах семантического моделирования предложено использовать концепцию ситуационного управления, развитие которой для целей стратегического управления в энергетике рассмотрено в [5, 6].

## 2. Ситуационное управление и семантическое моделирование

В [7] используется идея ситуационного управления, суть которой заключается в выборе управленческих решений с учетом сложившейся ситуации из некоторого набора допустимых (типовых, стандартных) управляющих воздействий. Под текущей ситуацией  $S$  при этом понимается

совокупность текущего состояния объекта (вектор состояния  $X$ ) и его внешней среды (вектор возмущений  $F$ ). Тогда  $S = \langle X, F \rangle$ . Вводится также понятие полной ситуации  $S = \langle C, G \rangle$ , где  $C$  – текущая ситуация,  $G$  – цель управления. В свою очередь, цель управления  $G$  может быть представлена в виде целевой ситуации  $G_g$ , к которой должна быть приведена имеющаяся текущая ситуация. Тогда  $S = \langle C, G_g \rangle$ . Полагая, что текущая ситуация  $C$  принадлежит некоторому классу  $Q'$ , а целевая (заданная) ситуация  $G_g$  – классу  $Q''$ , ищется такое управление (вектор управляющих воздействий  $U$ ), которое принадлежит множеству допустимых управлений  $\Omega_u$  и обеспечивает требуемое преобразование одного класса ситуаций в другой:

$$C \in Q' \xrightarrow{U \in \Omega_u} G_g \in Q''$$

Таким образом, ситуационное управление выступает как отображение:

$$(Q', Q'') \rightarrow U \in \Omega_u$$

сопоставляющее паре «текущая ситуация - целевая ситуация» требуемый результат – управление  $U$  [7].

Другими словами, при ситуационном управлении проблема выбора управляющих воздействий сводится к адекватной оценке состояния объекта и среды (что усложняется при наличии факторов неопределенности), отнесению соответствующей текущей ситуации к одному из типовых классов и выбору такого управления (из определенного набора альтернатив), которое приводит к достижению поставленной цели управления (целевой ситуации) [8]. Исходя из этого, автор предлагает в качестве основных методов ситуационного управления методы ситуационного анализа и ситуационного моделирования, основанные, в свою очередь, на семантическом моделировании.

Под *семантической моделью* в обобщенном виде понимается информационная модель, отражающая понятия предметной области и отношения между ними [9]. Автор рассматривает семантическое моделирование на примере онтологических, когнитивных, событийных и вероятностных моделей [10].

---

Труды пятой всероссийской конференции "Информационные технологии интеллектуальной поддержки принятия решений", 16 - 19 мая, Уфа, Россия, 2017



Под *онтологическим моделированием* понимается построение онтологий, как в графическом, так и формализованном виде. Онтологии определяют как базу знаний специального вида, или как «спецификацию концептуализации» предметной области [11]. Последнее означает процесс классификации базовых терминов предметной области с определением основных понятий (концептов) и установлением связей между ними. В свою очередь, процесс спецификации заключается в описании онтологии в графическом виде («легкие», или эвристические онтологии) или на одном из формальных языков (XML, RDFS, OWL и др.) («тяжелые», или логические онтологии). Для работы с экспертами коллектив, представляемый автором, использует графическое представление онтологий; для хранения онтологий используется их представление на языке XML.

Под *когнитивным моделированием* понимается построение когнитивных моделей, или, иначе, когнитивных карт (ориентированных графов), в которых вершины соответствуют факторам (концептам), а дуги – связям между факторами (положительным или отрицательным), в зависимости от характера причинно-следственного отношения. В простейшем случае веса связей могут иметь значения +1 или -1 либо принимать нечеткие значения из отрезка  $[-1, 1]$  или некоторой лингвистической шкалы, что в наибольшей степени соответствует качественному анализу [12].

Под *событийным моделированием* понимается построение поведенческих моделей, причем в качестве объектов моделирования могут выступать как люди, так и технические объекты. Сущность событийного метода моделирования заключается в отслеживании на модели последовательности событий в том же порядке, в каком они происходили бы в реальной системе. Задаваемые моделью последовательности реализации событий – цепочки событий – описывают сценарии реакции системы на возникновение инициирующего события, стоящего в начале цепочки. В результате событийная модель позволяет получить множество альтернативных сценариев развития заданной ситуации в системе, что и является основной целью событийного моделирования [13].

Байесовской сетью является графическая модель, отображающая вероятностные зависимости множества переменных, и позволяющая проводить вероятностный вывод с помощью этих переменных. Последние публикации в этой области, объединили в себе результаты исследований, выполненных преимущественно в 1980-е годы XX века [14].

Методика совместного использования онтологического, когнитивного и событийного моделирования в исследованиях ЭБ с использованием инструментальных средств их поддержки включает в себя этап перехода от

когнитивных карт к событийным моделям в виде событийных карт [13]. До настоящего времени этот переход осуществлялся вручную с помощью эксперта, что занимало довольно много времени и не позволяло оперативно перейти к количественному анализу полученных результатов и проведению вычислительных экспериментов.

### **Фрактальный подход**

ФС-модель определяется как совокупность непересекающихся слоев (информационных миров), и их отображений в информационном пространстве. Каждому уровню соответствует свой слой (страта) этого пространства, и, следовательно, свой информационный мир; последовательность отображений отражает процесс познания. Графически ФС-модель удобно изображать в виде совокупности вложенных сферических оболочек. Информационный объект, обозначаемый условно точкой на одной из сфер, в свою очередь, может быть расслоен при необходимости более детального его рассмотрения (в одном случае может быть удобно рассматривать сложный объект как точку, а в другом - перейти к более детальному рассмотрению выбранного объекта при сохранении «точечного» представления других).

Таким образом, мы можем работать с разномасштабными объектами, используя одни и те же методы, сохраняя при отображении (переходе от слоя к слою) инвариант объекта – его существующие свойства.

Поскольку знания любого исследователя не всеобъемлющи, каждый практически работает со своим «фракталом» знаний - «вырезкой» из информационного пространства, которую можно представить в виде конуса или пирамиды, что соответствует, например, выделению дисциплин при изучении реального мира (рис. 1). Тогда наша сфера оказывается состоящей из множества «конусов», что согласуется, например, с «пирамидами знаний» в когнитологии, предложенными Т.А. Гавриловой [16]. Математическое описание ФС-модели приведено в [1, 2].

Идея применения фрактального подхода обусловлена тем, что экспертам приходится работать с семантическими моделями большой размерности (включающих большое количество концептов и связей), которые при полном их представлении неудобны для восприятия. Применение фрактального подхода позволяет осуществлять расслоение (детализацию) и/или агрегирование концептов с сохранением внутренней структуры связей и смысла и обеспечивает возможность разномасштабного представления семантических моделей.

Коллективом, который представляет автор, предложена двухуровневая технология поддержки принятия решений [17], использующая различные виды семантического моделирования

(онтологическое, когнитивное, событийное и вероятностное). В связи с этим автор предлагает расширить область применения фрактального подхода и использовать его не только при построении совокупности взаимосвязанных онтологических и когнитивных моделей в энергетике, а расширить область применения этого подхода на остальные семантические модели. В качестве интегрирующей идеи предлагается использовать концепцию ситуационного управления, изложенную выше [8]. Более подробно применение ситуационного управления в энергетике рассмотрено в [18].

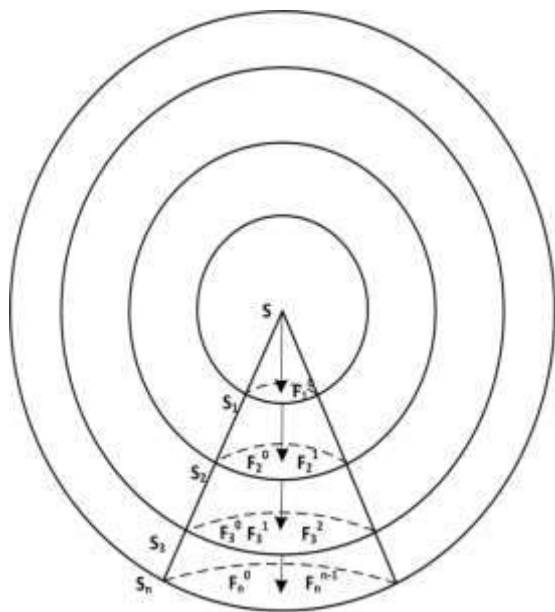


Рис. 1. Фрактальная стратифицированная (ФС)

модель.  $S_i$  - слои (страты) ФС-модели,  $F_j^i$  - отображения из  $i$ -го слоя в  $j$ -ый.

В [19] рассматривалась возможность интеграции семантических моделей с использованием фрактального стратифицированного подхода.

Этот подход рассматривает моделирование угроз ЭБ в информационном пространстве об энергетических системах, где в качестве слоев рассматриваются модели, описывающие угрозы ЭБ: каждый последующий слой более детально описывает некоторую угрозу с помощью отображений из любого слоя в каждый, начиная от онтологического описания предметной области и заканчивая детальными математическими моделями. В таком случае можно представить информационное пространство знаний  $D$  об угрозах ЭБ как:

$$D = \{D_O, D_C, D_E, D_B, D_M\},$$

где  $D_O$  – слой онтологий;

$D_C$  – слой когнитивных моделей;

$D_E$  – слой событийных моделей;

$D_B$  – слой вероятностных моделей (БСД-моделей);

$D_M$  – слой математических моделей.

В свою очередь, слой онтологий можно представить как:

$$D_O = \{D_T\} \cup \{D_P\} \cup \{D_S\},$$

где  $D_T$  – слой метаонтологий;  $D_P$  – слой предметных онтологий;  $D_S$  – слой онтологий событий, расширяющих пространство знаний об объектах ТЭК (онтологии событий и их применение в описаниях угроз ЭБ описаны в [20]).

Помимо формального описания интеграции семантического моделирования, приведенного выше, для дальнейшей работы с этими моделями и автоматизации переходов от одного вида к другому автор предлагает ввести в фрактальной модели метауровни, базирующиеся на применении концепции ситуационного управления.

В качестве основных слоев предлагается использовать:

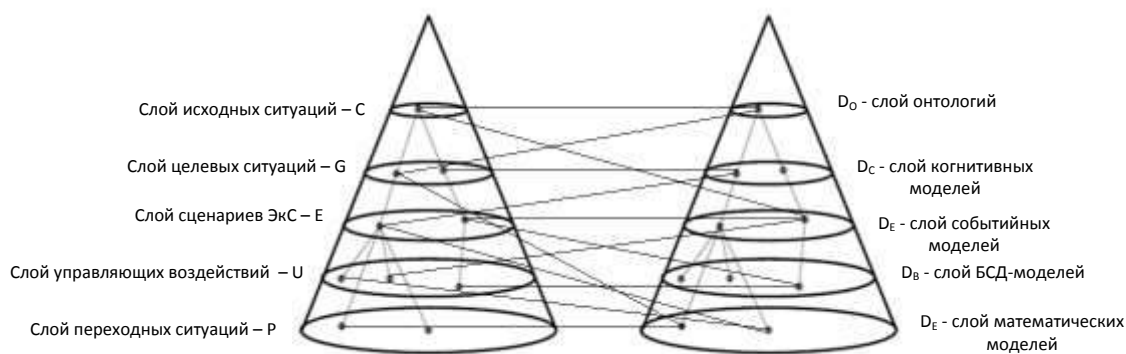
- С – слой исходных ситуаций;
- G – слой целевых ситуаций;
- E – слой сценариев ЭКС;
- U – слой управляющих воздействий;
- P – слой переходных ситуаций.

Рис. 2 иллюстрирует взаимные отображения слоев фрактальной модели, основанной на применении концепции ситуационного управления (слева), и слоев фрактальной модели семантического моделирования (справа).

Использование предлагаемого подхода позволяет отображать различные ситуации и сценарии с помощью семантических моделей. Такое отображение позволит перейти к единой классификации концептов для различных моделей, и, как итог, автоматизировать интеграцию семантических моделей и переход к математическим моделям.

### Заключение.

В статье описаны подходы, применяемые в исследованиях энергетической безопасности России и ее регионов. Рассмотрены различные виды семантических моделей. В качестве интегрирующей идеи для применения фрактального подхода во всех видах семантического моделирования предложено использовать концепцию ситуационного управления. Отобрана взаимосвязь фрактальных стратифицированных моделей ситуационного управления и семантического моделирования.



**Рис. 2. Взаимное отображение слоев ФС-модели, основанной на применении концепции ситуационного управления (слева) и слоев ФС- модели семантического моделирования (справа).**

## Благодарности

Работа выполняется при частичной финансовой поддержке грантов РФФИ №17-07- 01341, №15-07-01284, №16-07-00474.

## Список используемых источников

1. Массель Л.В. Фрактальный подход к структурированию знаний и примеры его применения. // *Онтология проектирования*. 2016. Т. 6. № 2 (20). С. 149-161.
2. Массель Л.В. Фрактальная модель структурирования знаний // *Сб. науч. трудов Национальной конференции с международным участием "Искусственный интеллект-94"*. - Рыбинск, 1994.- т.1.- С. 46-49.
3. Массель Л.В. Фрактальный подход к построению информационных технологий / В кн.: Криворучий Л.Д., Массель Л.В. Информационная технология исследований развития энергетики.- Новосибирск: "Наука", Изд. фирма РАН, 1995.- С. 40-67.
4. Массель Л.В., Массель А.Г., Ворожцова Т.Н., Макагонова Н.Н. Онтологический инжиниринг ситуационного управления в энергетике / *Материалы Всероссийской конференции с международным участием «Знания, онтологии, теории» (ЗОНТ-2015)*. Т. 2, 2015.-Новосибирск: ИМ СО РАН.- С. 36-43.
5. Массель Л.В., Массель А.Г. Ситуационное управление и семантическое моделирование в энергетике // *IV Международная конференция OSTIS-2014: труды*. Беларусь, Минск: БГУИР. 2014. С. 111-116.
6. Массель Л.В., Пяткова Н.И., Массель А.Г. // *Адаптация методов ситуационного управления для решения задач оценки влияния угроз на состояние энергетической безопасности / Информационные и математические технологии в науке и управлении*. № 1(27). – 2016. – С. 28-38.
7. Васильев В.И., Ильясов Б.Г. *Интеллектуальные системы управления. Теория и практика*. М. Радиотехника. 2009. 392 с.
8. Поспелов Д.А. *Ситуационное управление. Теория и практика*. – М.: Наука, 1986. – 284 с.
9. Массель Л.В. Интеграция семантического и математического моделирования в исследованиях проблем энергетической безопасности // *Международная конференция «Моделирование-2012»: труды*. Киев. ИПМЭ НАН Украины. 2012. С. 270-273.
10. Массель Л.В., Массель А.Г. Семантические технологии на основе интеграции онтологического, когнитивного и событийного моделирования // *III международная научно-техническая конференция OSTIS-2013: труды*. Беларусь. Минск. БГУИР. 2013. С. 247-250.
11. Гаврилова Т.А., Хорошевский В.Ф. *Базы знаний интеллектуальных систем*. – СПб: Питер, 2001. – 384 с..
12. Трахтенгерц Э.А. *Компьютерная поддержка принятия решений*. М.: СИНТЕГ. 1998. 376 с.
13. Столяров Л.Н. *Философия событийного моделирования на примере сценария энергетической катастрофы* // *Международная конференция «Информационные технологии в науке, образовании, телекоммуникации и бизнесе»: труды*. Украина. Гурзуф. 2010. С. 197-200.
14. Массель Л.В., Пяткова Е.В. Применение байесовских сетей доверия для интеллектуальной поддержки исследований проблем энергетической безопасности // *Вестник ИргТУ*. №2. 2012. С. 8-13.
15. Массель А.Г., Тюрюмин В.О. Интеграция семантических моделей в исследованиях проблем энергетической безопасности // *Известия Томского политехнического университета*. № 5. Том 324. 2014. С. 70-78.

16. Извлечение и структурирование знаний для экспертных систем / Гаврилова Т.А., Червинская К.Р. // М.: Радио и связь, 1992.- 200 с.
17. Массель Л.В., Массель А.Г. Интеллектуальные вычисления в исследованиях направлений развития энергетики // Известия Томского политехнического университета. 2012. Т. 321. № 5. Управление, вычислительная техника и информатика. С. 135-141.
18. Массель Л.В., Массель А.Г. Методы и средства ситуационного управления в энергетике на основе семантического моделирования // V Международная конференция OSTIS: труды. Беларусь. Минск. БГУИР. 2015. С. 199-204.
19. Массель Л.В., Тюрюмин В.О. Интеграция семантического и математического моделирования в исследованиях энергетической безопасности // Труды XX Байкальской Всероссийской конференции «Информационные и математические технологии в науке и управлении». Т.3.- Иркутск: ИСЭМ СО РАН, 2015.- С. 138-143.
20. Массель А.Г., Тюрюмин В.О. Онтологии событий и их применение для описания угроз ЭБ / Труды 24-й Международной Крымской конференции «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии (КрыМиКо-2014)». Т. 1. – Севастополь, 2014. – С. 443-444.

# Интеллектуальный метод и алгоритм сопоставления учебных дисциплин на основе векторного представления текстов

Д.С. Ботов

Институт информационных технологий  
Челябинский государственный университет  
Челябинск, Россия  
e-mail: [dmbotov@gmail.com](mailto:dmbotov@gmail.com)

Ю.Д. Кленин

Институт информационных технологий  
Челябинский государственный университет  
Челябинск, Россия  
e-mail: [jklen@yandex.ru](mailto:jklen@yandex.ru)

## Аннотация<sup>1</sup>

В статье описывается метод интеллектуального анализа и алгоритм сопоставления программ учебных дисциплин на основе использования подходов векторного представления текстов с помощью модели paragraph2vec, что в отличие от описанных ранее подходов позволяет проводить семантический анализ без необходимости трудоемкого онтологического моделирования предметных областей образовательных программ, описания правил логического вывода или использования экспертных оценок. Приводятся результаты эксперимента по оценке качества предложенного метода для классификации учебных дисциплин на представительном корпусе текстов рабочих программ дисциплин.

## 1. Введение

В современном образовании в условиях постоянного изменения образовательных стандартов, появления профессиональных стандартов, возрастания объемов учебно-методической документации и изменения требований к ее оформлению все более трудоемким становится процесс разработки образовательных программ и отдельных учебных дисциплин и модулей.

Кроме того взрывной рост объемов образовательного контента в Интернет, стремительного развития массовых онлайн курсов (МООС) и технологий дистанционного образования приводит к увеличению конкуренции на рынке образовательных услуг и повышает требования к качеству и актуальности содержания образовательных программ.

Все эти факторы приводят к существенному увеличению нагрузки на профессорско-

преподавательский состав в задачах разработки и актуализации образовательных программ и курсов.

С учетом применения компетентностного подхода, как основного для формирования образовательных программ, крайне важным становится анализ не только структуры учебной дисциплины, но и целей курса и результатов обучения в их увязке с требованиями образовательных и профессиональных стандартов, а также учет требований рынка труда для профессиональных дисциплин и направленности (профиля) образовательной программы.

И хотя сегодня увеличиваются темпы внедрения средств автоматизации учебного процесса в образовательные организации, постоянно усложняется функциональность информационных систем, позволяющих в том числе разрабатывать учебные планы, рабочие программы дисциплин и прочие виды учебно-методической документации, на сегодняшний день на рынке подобного рода программного обеспечения отсутствуют действительно эффективные средства, позволяющие независимо от предметной области направления подготовки проводить сравнительный анализ содержания, целей и результатов обучения образовательных программ и курсов с целью их дальнейшей актуализации и формирования конкретных рекомендаций по содержанию образования для преподавателей с учетом последних требований образовательных стандартов, развития экономики, науки и техники, изменения требований на рынке труда.

Данное исследование посвящено решению задачи интеллектуальной поддержки процесса сопоставления учебных дисциплин образовательных программ высшего образования с целью снижения трудоемкости разработки новых и актуализации существующих учебных дисциплин и повышения качества образовательного контента.

---

Труды пятой всероссийской конференции  
"Информационные технологии интеллектуальной  
поддержки принятия решений", 16 - 19 мая, Уфа,  
Россия, 2017

## 2. Обзор методов интеллектуального анализа образовательных программ

Сравнительный анализ образовательных программ с целью определения сопоставимости образования и принятия решений при планировании образовательных программ и управления образовательными траекториями представлен в работах М.Б. Гузаирова, Н.И. Юсуповой, О.Н. Сметаниной, М.М. Гаяновой, С.В. Тархова, А.С. Пирской, Л.С. Лисицыной и других [1,2,3,4,5,6, 7].

Так в работе О.Н. Сметаниной [5] рассматривается проблема управления образовательным маршрутом в условиях организации и развития академической мобильности. Для решения проблемы предложена модель управления и система поддержки принятия решений с использованием комплекса дискретно-событийных моделей для ситуационного управления и комплекса концептуальных онтологических моделей и методов инженерии знаний для обеспечения информационной поддержки. Степень схожести российских и международных образовательных программ путем сопоставления терминов (ключевых слов), формулировок знаний, умений, навыков, компетенций и наименований дисциплин учебных планов.

В работе Е.А. Черниковой [8] предлагается для сопоставления образовательных курсов использовать онтологические модели, и определяются меры семантической близости курсов на основе анализа ключевых слов содержания дисциплин и результатов обучения с помощью таксономии образовательных целей.

Также онтологические модели применяются в работе А.Ю. Ужва [9] для адаптивного поиска образовательных ресурсов с помощью рассуждений по прецедентам.

Формализованная модель составления учебного плана на основе модульно-компетентного подхода представлена в работе И.М. Харитоновой [10]. Для построения учебного плана используются метод экспертных оценок и метод контент-анализа. А для определения значимости дисциплин (модулей) с учетом потребностей рынка труда используется метод латентно-семантического анализа.

Метод экспертных оценок и когнитивные карты используются в работе И.В. Сибикиной [11] для определения перечня дисциплин, формирующих определенную компетенцию образовательной программы. Для получение перечня значимых дисциплин и перечня компетенций строится лингвистический классификатор на основе синтаксических правил и нечетких множеств.

В работе А.С. Пирской, Л.С. Лисицыной [7] рассматривается модель управления образовательными траекториями студентов на основе результатов освоения компетенций образовательных

стандартов с учетом принципа междисциплинарности обучения. Для формализации образовательной траектории используется графовая модель в виде план-графа.

Алгоритм автоматизированного составления учебного плана образовательной программы на основе компетентного подхода предложен в работе С.С. Котова [12]. В работе применяется графовая модель структурно-логических связей дисциплин, рассмотрены различные эвристические алгоритмы формирования учебного плана с использованием экспертных оценок.

Стоит отметить, что основная сложность использования рассмотренных подходов на практике заключается в необходимости привлечения представительного состава экспертов для методов с использованием экспертных оценок, формирования онтологических моделей, правил и/или прецедентов для каждой из предметных областей направлений подготовки образовательных программ.

Прямое сопоставление ключевых слов и названий дисциплин, тем и разделов показывает низкое качество сопоставления образовательных программ и курсов, учитывая имеющиеся различия в подходах разных образовательных организаций к разделению программ на дисциплины и модули, структурирование разделов и тем внутри дисциплины, формулирование результатов обучения по дисциплинам. Все еще более отягощается тем фактом, что в последних изменениях образовательных стандартов третьего поколения (ФГОС ВО) практически отсутствуют (за исключением трех-четырёх обязательных дисциплин) требования к наличию и содержанию определенных дисциплин, их структуре и распределению компетенций по дисциплинам.

## 3. Метод сопоставления учебных дисциплин образовательных программ

В последнее время большую популярность и широкое применение получили модели векторных вложений (word embedding), в частности, созданная сотрудниками компании Google модель word2vec, использующая двухслойные нейронные сети для быстрого и качественного осуществления отражения слов (или любых других токенов, употребляющихся в последовательности) в их векторное представление. Основной идее данной модели было сопоставление слов с контекстами их употребления, ориентирующееся на сопоставление косинусной близости векторов слов количеству их общих контекстов употребления.

Модель показывает высокие результаты как в качестве, так и в скорости работы, имея, при этом, полную языковую независимость. На данный момент, популярность word2vec особенно заметна на соревнованиях по анализу языка, таких как Dialog,

большинство участников которого применяют эту модель в анализе данных.

Позже, в качестве расширения идей word2vec, оригинальными авторами модели была выпущена модель paragraph2vec, фокусирующаяся уже на сопоставлении целых документов и отражении их в векторное пространство.

В данном разделе описан метод сопоставления учебных дисциплин различных образовательных программ, который использует современные подходы векторного представления текстов с помощью модели paragraph2vec, что в отличие от описанных ранее подходов позволяет проводить сопоставление без необходимости трудоемкого онтологического моделирования предметных областей образовательных программ и построения баз знаний, без необходимости описания эвристических алгоритмов, правил логического вывода, а также без использования экспертных оценок.

Метод позволяет решать задачи семантического анализа учебных дисциплин, включая информационный поиск с ранжированием семантически близких программ дисциплин, классификацию по различным признакам и кластеризацию учебных дисциплин.

### 3.1. Модель учебной дисциплины

В результате проведенного ранее анализа описания образовательных курсов на сайтах ведущих российских и зарубежных университетов, а также

требований к оформлению рабочих программ дисциплин, установленных Минобрнауки РФ, были определены основные элементы, описывающие учебную дисциплину или модуль [13].

Для формализации описания учебной дисциплины (модуля) была построена концептуальная онтологическая модель, представленная на рисунке 1. На ней отражены наиболее важные с точки зрения формирования образовательных программ концепты, которые присутствуют во всех рабочих программах дисциплин. Концепты можно разделить на три условные части:

1. Образовательные цели и задачи курса, компетенции образовательной программы и результаты обучения по дисциплине (как правило, описываются в виде знаний/умений/навыков).
2. Структура дисциплины: описание разделов, тем курса, содержания лекционных и практических занятий, заданий на самостоятельную работу обучающихся.
3. Описание формы промежуточной аттестации, оценочные средства с примерами заданий и привязкой к проверяемым результатам обучения.

На практике преподаватель при разработке нового курса или актуализации существующего курса в первую очередь анализирует первые две составляющие описания дисциплин.

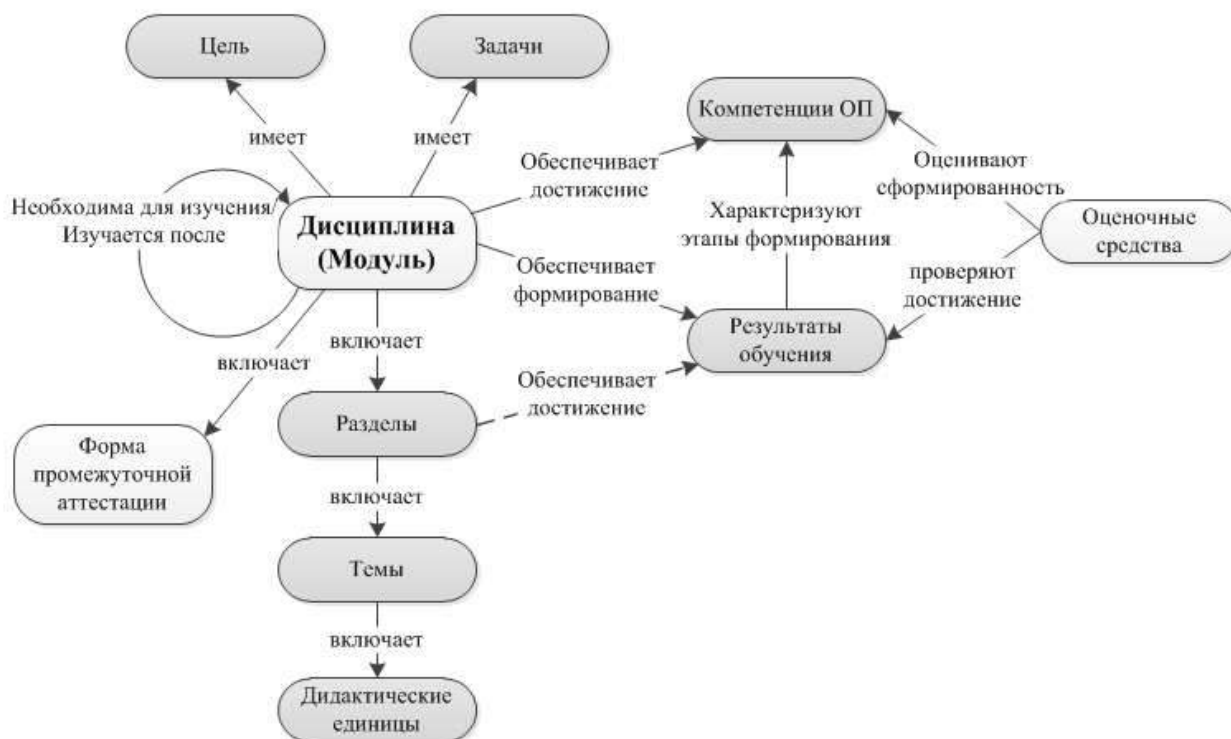


Рис. 1. Онтологическое представление учебной дисциплины (модуля)

### 3.2. Векторное представление текстов

В последние несколько лет набирают популярность нейросетевые модели языка, которые показывают передовые результаты в задачах определения семантической близости [14,15], в том числе и для русского языка, как это показано в работах по оценке методов определения семантической близости слов RUSSE [16]. Нейросетевые модели такие как word2vec основываются на дистрибутивной гипотезе понимания смысла текста и подходе векторного представления слов (word embedding) с использованием нейронных сетей [15].

В данной работе предлагается использовать нейросетевую модель paragraph2vec [17], которая обучается на текстах входного корпуса, преобразуя их в векторные представления в  $n$ -мерном пространстве. А затем позволяет определять семантическую близость или связанность для новых текстов путем сравнения векторов обученной модели (например, по косинусной мере близости).

Существует значительное количество публикаций, использующих paragraph2vec как для более базовых вариантов использования векторных моделей – генерации наборов параметров для использования в задачах классификации (например, задачи анализа тональности), так и более специфических случаев использования.

Так в работе [18] авторы представляют вариант использования paragraph2vec в связке с Wikipedia в качестве базы знаний для реализации именованного связывания объектов. При наличии упоминаний именованных сущностей, контекстов употребления этих упоминаний и некоторого набора кандидатов, обученная на базе Wikipedia модель генерирует вектора для контекстов и ищет наиболее близкий к ним вектор среди кандидатов-статей Wikipedia.

Другая группа исследователей, под руководством Hashimoto [19] применила paragraph2vec в задаче тематического моделирования. Авторы обучают модель на базе исследуемого корпуса, а затем осуществляют кластеризацию. Исходя из предположения, что кластеры являются темами, авторы используют модель для генерации слов для каждой темы и сравнивают результаты с латентным размещением Дирихле (LDA). Исходное предположение о том, что кластера векторов текстов соответствуют темам требует дополнительных проверок. В частности, представленные авторами наборы тем и слов не сравнимы по качеству с традиционным LDA.

Еще одно исследование предлагающее сравнение paragraph2vec с LDA представлено в [20]. Здесь, авторы показывают потенциал модели, обученной на Wikipedia и используемой для выявления групп статей энциклопедии, показывая достаточно качественные результаты в задаче поиска наиболее близких концептов статей.

В задачах анализа образовательного контента векторное представление текстов ранее не применялось. Хотя в области Educational Data Mining находят широкое применение методы и алгоритмы машинного обучения. Более подробная информация представлена в обзорах [14,21].

Авторами данного исследования высказывается гипотеза, что методы на основе нейросетевых моделей языка (с помощью word2vec и paragraph2vec) могут показать лучшее качество моделирования и оценки семантики в задачах сопоставления учебных дисциплин при простоте обучения самой модели. При этом стоит учесть один из основных недостатков нейросетевых моделей (в отличие, например, от методов вероятностного тематического моделирования) – отсутствие возможности интерпретировать отдельные признаки полученных на выходе нейронной сети векторов.

### 3.3. Алгоритм сопоставления содержания учебных дисциплин

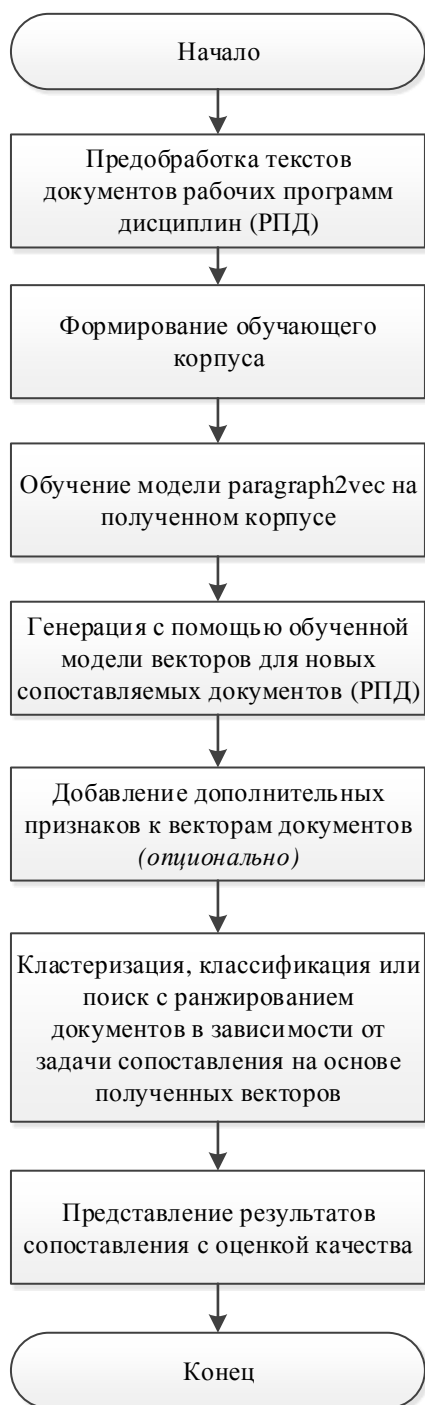
На рисунке 2 представлена обобщенная схема алгоритма сопоставления учебных курсов с использованием модели paragraph2vec, обученной на корпусе текстов рабочих программ дисциплин.

На первом шаге алгоритма предусмотрена предварительная обработка документов, включающая выбор из текстов документов наиболее важных фрагментов – целей и задач курса, результатов обучения и компетенций, структуры курса, включая описание тем и разделов курса. Предварительная обработка завершается лемматизацией и отбрасыванием стоп-слов.

После обучения модели paragraph2vec на подготовленном корпусе появляется возможность генерации векторов документов для новых, ранее неизвестных модели paragraph2vec рабочих программ дисциплин.

В дальнейшем можно добавить к полученным векторам новых документов и векторам документов из корпуса дополнительные признаки, которые могут улучшить качество сопоставления рабочих программ и учесть дополнительные факторы для отдельных задач в процессе формирования и актуализации образовательных программ. Данные признаки создаются и отбираются экспертами в ходе традиционного для машинного обучения процесса Feature Engineering. Например, такими признаками могут быть направление подготовки, объем дисциплины в зачетных единицах, распределение часов, период освоения дисциплины (семестр) по учебному плану, форма аттестация и т.д.





**Рис. 2. Алгоритм сопоставления учебных дисциплин с использованием paragraph2vec**

Последние этапы обобщенного алгоритма могут варьироваться в зависимости от конкретных задач анализа образовательных программ. Если необходимо подобрать наиболее семантически близкие учебные дисциплины к заданной, то можно применять алгоритмы информационного поиска с ранжированием результатов по степени семантической близости векторов документов (как правило используется косинусная мера близости).

Можно провести классификацию учебных дисциплин по определенным областям знаний, направлений подготовки, циклам дисциплин, предварительно обучив классификатор на обучающей выборке.

#### 4. Эксперимент

По причине отсутствия открытых тренировочных корпусов образовательных программ на русском или английском языках в данном исследовании для анализа применимости paragraph2vec в рассматриваемой задаче сопоставления учебных дисциплин, авторы воспользовались текущим вариантом создаваемого собственными силами корпуса рабочих программ дисциплин.

На данный момент, экспериментальный корпус содержит более ста различных учебных дисциплин, которые могут быть разделены на семь групп в соответствии с предметной областью: информационные технологии, экономика, математика и статистика, лингвистика, история, медицина, и право. В каждой группе имеется от 3 до 5 меньших категорий, соответствующих конкретным дисциплинам, каждая из которых содержит 4 документа, представляющих каждый образовательный курс. Пример таких категорий для области математика и статистика: математический анализ, алгебра и геометрия, теория вероятностей и математическая статистика, методы оптимизации.

В рамках эксперимента оценивается качество классификации программ учебных дисциплин в двух задачах: классификации по предметным областям (7 классов) и классификации по категориям в рамках предметных областей (26 классов).

В качестве реализации paragraph2vec используется doc2vec из библиотеки gensim. Обучается модель distributed bag of words, которая, согласно оценкам, приведенным в работе [17], показывает лучшие результаты, чем альтернативная модель distributed memory, на большинстве наборов данных.

Обучающая выборка для модели paragraph2vec и последующего обучения классификаторов составляет 75% от корпуса, а тестовая выборка, по которой производится оценка качества, составляет оставшиеся 25% корпуса. Также при оценке применяется стандартная методика кросс-валидации.

В сравнении участвуют популярные алгоритмы классификации: логистическая регрессия, support vector классификатор, k-ближайших соседей, дерево принятия решений и различные ансамбли лесов деревьев принятия решений.

Результаты оценки основных показателей качества работы классификаторов – точность (precision), полнота (recall) и F-мера, представлены в таблице 1.

**Таблица 1. Результаты эксперимента по классификации рабочих программ дисциплин**

	Классификация по категориям близких дисциплин в рамках предметной области			Классификация дисциплин по предметным областям		
	Precision	Recall	F-мера	Precision	Recall	F-мера
Logistic Regression	0.83	0.88	0.85	<b>0.97</b>	<b>0.96</b>	<b>0.96</b>
Extra-trees	0.77	0.85	0.79	<b>0.97</b>	<b>0.96</b>	<b>0.96</b>
Random Forest	0.72	0.81	0.75	<b>0.97</b>	<b>0.96</b>	<b>0.96</b>
Decision Tree	0.26	0.35	0.28	0.69	0.65	0.65
k-nearest neighbors	0.77	0.85	0.79	<b>0.97</b>	<b>0.96</b>	<b>0.96</b>
C-Support Vectors	<b>0.84</b>	<b>0.88</b>	<b>0.85</b>	<b>0.97</b>	<b>0.96</b>	<b>0.96</b>

Как и ожидалось, результаты классификации по предметным областям превышают аналогичные показатели для отдельных дисциплин внутри категорий. Однако, как видно из приведенных показателей, все базовые алгоритмы, за исключением дерева принятия решений показали высокие результаты в обеих выбранных задачах классификации. Это означает, что даже в простейшем варианте применения без добавления дополнительных признаков к векторам, paragraph2vec хорошо подходит для семантического анализа программ учебных дисциплин.

## 5. Заключение

Основные результаты проведенного исследования:

- Предложен метод и алгоритм сопоставления учебных дисциплин на основе использования метода векторного представления текстов путем обучения модели paragraph2vec.
- Проведен эксперимент с реализацией предложенного метода для задач классификации учебных дисциплин на составленном представительном текстовом корпусе рабочих программ дисциплин.
- Результаты эксперимента позволяют сделать вывод о применимости модели paragraph2vec для оценки семантической близости программ учебных дисциплин. Лучшие показатели F-меры (0.85) показал классификатор на основе алгоритма C-Support Vectors.

Направления дальнейшего исследования:

- Оценка применимости предложенного метода в задачах информационного поиска и классификации учебных дисциплин в сравнении с другими подходами к обработке естественного языка (например, взвешенный TF-IDF, LSA, pLSA, LDA, извлечение ключевых слов, word2vec в сочетании с ключевыми словами).

- Извлечение дополнительных количественных и семантических признаков (Feature Engineering) из программ учебных дисциплин и учебных планов для анализа их влияния на качество решения задач интеллектуальной поддержки формирования образовательных программ.
- Определение удобных для конечных пользователей способов визуализации результатов сопоставления учебных дисциплин и образовательных программ.
- Применение векторного представления текстов для сопоставления требований профессиональных стандартов, вакансий рынка труда и результатов освоения образовательных программ в задаче формирования актуальных результатов обучения по профессиональным дисциплинам.

## Список используемых источников

1. Гузаиров М.Б., Юсупова, Н.И., Маркелова А.В. Подход к управлению образовательным процессом в университете в рамках Болонского процесса // Матер. 12-й межд. науч. конф. CSIT'2010. Москва – Санкт-Петербург. – Уфа : УГАТУ, 2010. – Т. 2. – С. 187–192.
2. Университетские образовательные программы. Модели и методы для сопоставительного анализа / М. Б. Гузаиров [и др.]. – М.: Изд-во МАИ. 2006. – 117 с.
3. Поддержка принятия решений при управлении академической мобильностью / М.Б. Гузаиров, Н. И. Юсупова, О. Н. Сметанина, В. А. Козырева // Системы управления и информационные технологии. 2011. №3.1. С. 131–136.
4. Гаянова М.М. Информационная поддержка принятия решений при анализе университетских образовательных программ. Дис. канд. техн. наук / Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т. – Уфа, 2006. – 143 с.

5. Сметанина О.Н., Методологические основы управления образовательным маршрутом с использованием интеллектуальной информационной поддержки: дис. доктора техн. наук. — УГАТУ, Уфа, 2012.
6. Тархов С.В. Методологические и теоретические основы адаптивного управления электронным обучением на базе агрегативных учебных модулей: дис. д-ра техн. наук: 05.13.10 / Тархов Сергей Владимирович. — Уфа, 2009. — 336 с.
7. Лисицына Л.С., Пирская А.С. Автоматизация управления образовательными траекториями для разработки модульных компетентностно-ориентированных образовательных программ вуза // Тр. Всерос. научно-практ. конференции с международным участием «Информационные технологии в обеспечении нового качества высшего образования (14-15 апреля 2010г., Москва, НИТУ «МИСиС»)). М.: Исследовательский центр проблем качества подготовки специалистов НИТУ «МИСиС», 2010. Кн. 3. С. 75-86.
8. Черникова Е.А., Черников А.С. Формализация и сравнение учебных программ на основе онтологического подхода // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. "Приборостроение". Спецвыпуск "Информационные технологии и компьютерные системы", 2011. - С.101-104.
9. Ужва А.Ю. Автоматизированная разработка онтологической модели предметной области для поиска образовательных ресурсов с использованием анализа текстов рабочих программ. // Современные проблемы науки и образования – 2013 - №1. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.science-education.ru/107-8324> (дата обращения: 01.03.2017).
10. Харитонов, И. М. Алгоритм формирования учебного плана с применением методики формализованного представления учебной дисциплины (на примере дисциплины «моделирование систем») [Текст] / И. М. Харитонов // Вестник АГТУ. Серия «Управление, вычислительная техника и информатика»: научный журнал - Астрахань, 2011. - № 2. - С. 53.
11. Сибикина, И.В. Оценка значимости дисциплин, формирующих компетенцию на основе лингвистического классификатора / И.В. Сибикина, Н.Ю. Квятковская // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. — 2012. — №2. — С. 182 — 186.
12. Котов С.С., Столбов В.Ю. Управление структурой образовательных программ компетентностного содержания с учетом нечетких социальных предпочтений // Системы управления и информационные технологии. - 2009. - №1.3-С.411-416.
13. Botov D.S. Educational Content Semantic Modelling for Mining of Training Courses According to the Requirements of the Labor Market / D. Botov, J. Klenin // Proceedings of the 1st International Workshop on Technologies of Digital Signal Processing and Storing. Russia, Ufa, 2015. P. 214–218.
14. Melnikov A.V., Botov D.S., Klenin J.D., On usage of machine learning for natural language processing tasks as illustrated by educational content mining // Scientific journal «Ontology of Designing» - v.7, № 1(23)/2017, 2017, P. 34-47.
15. Mikolov T., Sutskever I., Chen K., Corrado G. S., Dean J. Distributed Representations of Words and Phrases and their Compositionality. // Advances in neural information processing systems, 2013, P. 3111-3119.
16. Panchenko A., Loukachevitch N. V., Ustalov D., Paperno D., Meyer C. M., Konstantinova N. RUSSE: The First Workshop on Russian Semantic Similarity [Report]. Computational Linguistics and Intellectual Technologies Papers from the Annual International Conference “Dialogue”, Moscow, RGGU, 2015, vol. 2, P. 89-105.
17. Q. Le, T. Mikolov. Distributed Representations of Sentences and Documents. In Proceedings of ICML 2014, P. 1188–1196.
18. Kirsch L. et al. Named Entity Linking using Paragraph Vector // Paper for seminar Knowledge Mining Summer Semester 2016, Hasso Plattner Institute, Potsdam University, 2016.
19. Hashimoto, K., et al., Topic detection using paragraph vectors to support active learning in systematic reviews // Journal of Biomedical Informatics, v.62, 2016. P. 59-65.
20. Dai, A.M., Olah C., Le Q.V., Corrado G.S., Document embedding with paragraph vectors // Proc. of the NIPS Deep Learning Workshop, 2014.
21. Romero, C., Ventura, S. Educational Data Mining: A Review of the State-of- the-Art. IEEE Transaction on Systems, Man, and Cybernetics, Part C: Applications and Reviews, 2010, 40 (6). P. 601-618.

# Методы и алгоритмы структурно-семантического анализа интернет-форумов для повышения качества поиска текстовой информации

А.А. Козько

Институт информационных технологий  
Челябинский государственный университет  
Челябинск, Россия  
e-mail: [alkozko@yandex.ru](mailto:alkozko@yandex.ru)

## Аннотация<sup>1</sup>

Работа посвящена рассмотрению явления информационной перегрузки пользователей интернет-форумов. В статье рассматриваются основные подходы к борьбе с перегрузкой и предлагается метод и алгоритм структурно-семантического анализа форума, для выделения подтем с целью повышения качества поиска информации. Также экспериментально показывается эффективность применения предложенного метода для поиска текстовой информации в сравнении с классическими подходами.

## 1. Введение

За последнее время, быстрое развитие технологий доступа к сети интернет, привело к значительному увеличению количества пользователей интернет-сервисов. Вместе с этим, увеличиваются объемы информации, которую, с одной стороны, эти пользователи создают, а с другой – с которой пользователям приходится сталкиваться и работать. Под работой, в данном случае, понимается любая деятельность, связанная с обработкой информации, это включает, например, в том числе ежедневное чтение новостных сайтов. При этом, существующий объем информации и скорость его роста, давно превысили физические возможности человека, для их восприятия. Такой переизбыток информации ведет к трудностям понимания различных вопросов трудностям принятия правильных решений. Подобное явление принято называть *информационной перегрузкой* [1]. Сам этот термин был впервые введен в 60-х годах двадцатого века [2], а с появлением всемирной сети указанная проблема стала ещё более актуальна, и сейчас пользователи сталкиваются с перегрузкой каждый день при

использовании совершенно разных сервисов – от новостных сайтов до онлайн-кинотеатров.

## 2. Информационная перегрузка пользователей форумов

Информационная перегрузка является проблемой и при использовании различных средств массовой коммуникации и сотрудничества в интернете. Миллионы людей по всему миру используют различные средства, такие как онлайн-чаты, форумы, списки рассылки, блоги и т.д. для обмена информацией, обучения, создания профессиональных сообществ и просто общения. И конечно, в процессе коммуникации создается огромное количество текстовых сообщений, что особенно заметно на примере форумов, где сообщения остаются на долгое время, а дискуссии могут вестись годами. Накопленная на форумах за долгое время текстовая информация, в свою очередь приводит к эффекту информационной перегрузки, из-за чего страдает эффективность форума, как средства коммуникации [3]. Это может проявляться, например, как неспособность пользователя найти ответ на вопрос в огромном количестве существующих сообщений и создание им нового вопроса, что в свою очередь только увеличивает информационный шум.

Самыми распространенными и широко применимыми средствами снижения информационной перегрузки можно назвать рекомендательные и поисковые системы, которые часто могут использоваться совместно.

Классической задачей систем информационного поиска (ИП) является поиск документов, удовлетворяющих запросу от пользователя, в рамках некоторой статической коллекции документов [4]. При этом подразумевается, что запрос является неким отражением информационной потребности пользователя.

Задачей же рекомендательной системы является сформировать и предложить пользователю услуги, товары или другие элементы (например, новости), которые могут быть им полезны или интересны в

---

Труды пятой всероссийской конференции "Информационные технологии интеллектуальной поддержки принятия решений", 16 - 19 мая, Уфа, Россия, 2017

Всероссийская конференция "Информационные технологии интеллектуальной поддержки принятия решений", 16-19 мая, Уфа, Россия, 2017

будущем, т.е. «облегчать проблему выбора» [5]. При этом список рекомендаций формируется на основании поведения текущего пользователя в системе и поведения пользователей, которые являются схожими с данным по каким-либо критериям. Например, рекомендации фильмов могут формироваться на основании предыдущих оценок пользователя, или на основании оценок пользователей, которым понравились те же фильмы, что и текущему пользователю.

Можно подытожить, что и рекомендательные и поисковые системы, так или иначе пытаются найти и предложить пользователю информацию, релевантную его информационной потребности. Только в случае поисковых систем, информационная потребность явно специфицируется самим пользователем в виде запроса, а в случае рекомендательных – информационная потребность пользователя формулируется неявно и самой системой на основании предыдущей активности пользователя.

### 3. Структура форумов

Форум представляет собой дерево, вершиной которого является корневая страница, на которой располагаются разделы (или секции). Разделы, в свою очередь, содержат темы (или топики), каждый из которых состоит из корневой записи и комментариев к ней. Комментарии представляются в виде дерева (в явном или скрытом виде) и соответственно образуют ветви обсуждения. Наглядно это показано на рисунке 1. Эта структура формируется модераторами и администраторами форума,

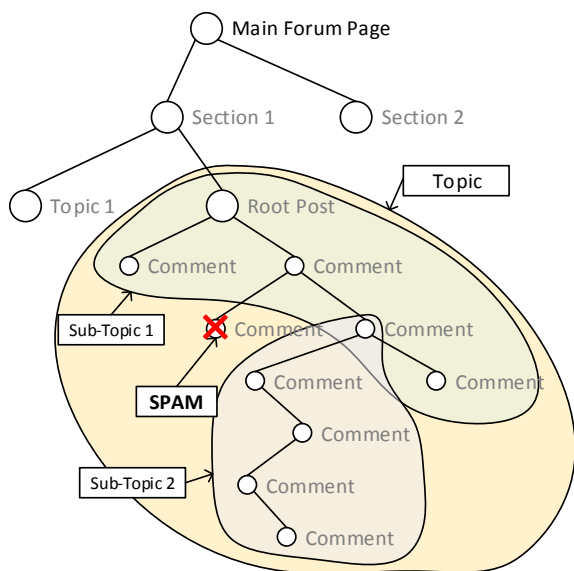


Рис 1. Структура форумов

Основной сложностью при работе с форумами, является большое количество тем на форумах, каждая из которых характеризуется политематичностью [6], это означает, что одна тема на форуме, может содержать сразу несколько обсуждений (подтем) на

близкие или далекие тематики, по сравнению с начальной, в результате пользователь или сталкивается с необходимостью изучать нерелевантный его целям контент, чтобы самостоятельно вычленив из темы небольшой кусочек, интересный именно ему. Или же, рискует не найти или пропустить необходимую ему информацию, из-за того, что обсуждение содержалось в теме, на первый взгляд не связанной с его целями.

### 4. Существующие подходы к организации поиска на форуме

В теории информационного поиска принято выделять вертикальные и горизонтальные поисковые системы [7]. Вертикальными являются системы, сосредоточенные на поиске тематической информации или информации из конкретных источников, например, поиск по патентам. Горизонтальными или поисковыми системами общего назначения называются системы, не делающие акцента на тематике информации и позволяющие искать по разнородным и разноформатным документам, к таким системам относятся системы веб-поиска – Google, Yandex и т.д.

Если рассматривать возможности поиска по форумам горизонтальных систем ИП, то они ограничиваются рассмотрением форума как набора веб-страниц из-за чего качество поиска не всегда является удовлетворительным. Однако безусловным важным плюсом подобных систем, является то, что их возможности поиска не ограничиваются конкретным форумом.

Если же рассматривать именно системы поиска по форумам, то абсолютное большинство из них, рассматривают форум как набор отдельных независимых сообщений, и индексируют эти сообщения как документ. Небольшое число систем объединяют все сообщения темы в отдельный документ и используют при индексировании его. Причем, чаще всего для ранжирования результатов используется только текст сообщения или темы.

Однако у этих подходов есть существенные минусы. Минусом первого подхода является то, что сообщения на форуме существуют в контексте дискуссии и по отдельности часто несут слишком мало информации для качественной оценки из релевантности поисковому запросу. А минус второго подхода вытекает из политематичности форума – одна тема содержит несколько обсуждений, часто мало связанных друг с другом.

Существуют работы и по более сложным подходам в области поиска по форумам. Например можно выделить работу университета ИТМО [8] в которой предлагается подход к выделению наиболее релевантных сообщений с помощью дополнительных признаков, таких как репутация автора и тональность ответов.

## 5. Структурно-семантический анализ для извлечения подтем

Для выделения из темы на форуме отдельных подтем, которые являются группами семантически и структурно связанных между собой сообщений нами вводится мера структурно-семантической близости, которая комбинирует признаки, полученные из текста сообщения, и признаки, полученные из структуры форума. Мера семантической близости постов показывает, насколько тесно связаны два сообщения между собой по смыслу. Мы используем эту меру чтобы убрать спам и другие нежелательные сообщения и для выделения подтем.

Для оценки семантической близости двух сообщений можно использовать множество подходов, однако большинство способов плохо работают с короткими сообщениями (такими как например, твиты или комментарии на форуме). Кроме того, часть методов, требуют подготовки онтологии (например, меры Резника или Лина), что является довольно трудоемкой задачей.

Поэтому для оценки семантической близости между сообщениями мы предлагаем использовать методы word2vec или Explicit Semantic Analysis (ESA). Это способы, основанные на векторном представлении терминов, для обучения которых требуется размеченный корпус. Чаще всего в качестве такого корпуса используется набор статей википедии, что делает их универсальными для различных языков. Кроме того, эти методы хорошо себя показывают в задачах сравнения коротких документов, размером в несколько слов или предложений [9], [10].

### 5.1 Алгоритм извлечения подтем на основании структурно-семантической близости

В нашей работе мы будем рассматривать алгоритм для форумов с древовидной структурой представления сообщений, это означает, что каждое сообщение (кроме корневого) имеет родительское сообщение, ответом на которое, оно является и эта диалоговая связь видна явно. В случае с линейным представлением форума, необходимо предварительно восстановить скрытую диалоговую структуру по косвенным признакам (по тегам, тексту и т.д.) [11].

Алгоритм представлен в псевдокоде.

```
function process_comment(current){
  for (child in current.children){
    if (sim(child,current) < thres)
      process_comment(child)
    else
      if (value(child) > value_thres)
        create_new_topic(child)
      else
        remove(child)
  }
}
```

Описанная функция рекурсивно применяется к каждому узлу в дереве сообщений темы начиная с родительского. На основании близости между выбранным сообщением и дочерними к принимается решение об исключении, из дерева сообщений нерелевантных частей. В этом случае исключается вся ветка, которая начинается с дочернего элемента, который будет оценен как нерелевантный остальному обсуждению. При этом исключение может происходить как с переносом ветки в новую тему (метод декомпозиция темы на несколько), так и без него (метод скрытие нерелевантных постов).

Решение об исключении сообщения (функция sim) из дерева принимается на основании признаков, которые можно разделить на две группы:

1) признаки близости между сообщениями: семантическая близость между анализируемым сообщением (CURRENT) и его родителем (PARENT), средняя близость между PARENT и дочерними к CURRENT, близость между CURRENT и другими дочерними сообщениями PARENT, количеством пользователей, которые участвуют в основном обсуждении и в дочернем к CURRENT и т.д.;

2) признаки сообщения: общее количество детей CURRENT, глубине поддерева обсуждения, которое начинается с CURRENT и т.д.

Решение о создании новой темы или простом полном удалении ветки CURRENT (функция value) принимается на основании оценки только признаков сообщения.

Обе оценки выдают некое численное значение, которое сравнивается с пороговым для данного типа оценки, Пороговые оценки вычисляются на основании средних или медианных значений среди всех сообщений в теме или всех сообщений в конкретной подветке.

## 6. Экспериментальная оценка поиска

Наш эксперимент проводился на массиве комментариев из livejournal. Нами были загружены комментарии к записям по тегу «фуршет» из журнала tema.livejournal.com. Всего 98 записей с более чем 489,000 комментариями. Отличительной особенностью этих записей и комментариев к ним является ярко выраженная политематичность – каждая запись содержит комментарии по совершенно различным тематикам, от медицины и образования до обсуждения фильмов и музыки. Все комментарии изначально имели древовидное представление – т.е. общая структура дискуссии была представлена в явном виде.

В эксперименте сравнивалось две системы – первая система представляла собой классический поиск по форуму, при котором в качестве документов индексируются отдельные сообщения, а вторая – система в которой в индекс в качестве документов попадали подтемы.

Работа второй системы отличается только дополнительным шагом предобработки, на котором был добавлен этап выделения подтем, с помощью представленного алгоритма на основании

структурно-семантического анализа. Остальные параметры и этапы обработки текстов, включая удаление стоп-слов, лемматизацию и т.д. были одинаковы для двух систем. В качестве формулы ранжирования использовалась формула BM-25 с рекомендуемыми коэффициентами ( $k_1=2.0$ ,  $b=0.75$ ).

Оценка результатов поиска двух систем осуществлялась по стандартным для поиска метрикам Mean Average Precision (MAP) [12] и Normalized Discounted Cumulative Gain (NDCG) [13].

Сравнительные результаты качества поиска двух систем представлены на рисунках ниже. На графиках видно, что по обоим метрикам, поиск основной на подтемах оказывается более качественным.

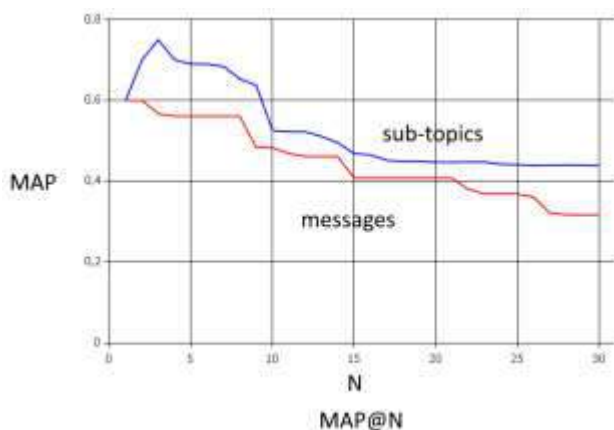


Рис. 1 График MAP@N двух систем

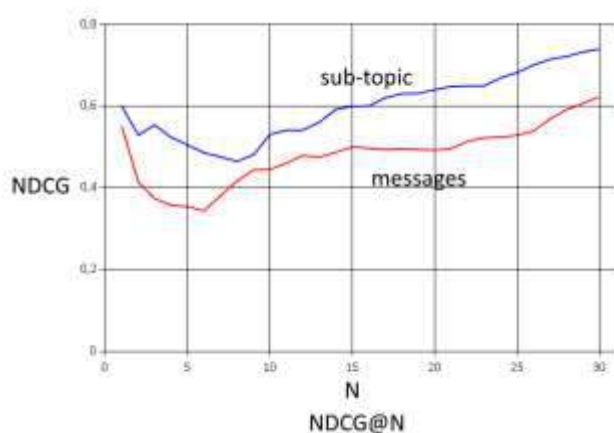


Рис. 2 График NDCG@N двух систем

## 7. Заключение

Пользователи форумов сегодня сталкиваются с информационной перегрузкой также часто, как и пользователи других систем, при этом инструменты для борьбы с ней недостаточно развиты и не всегда учитывают особенности форума.

Мы предлагаем метод и алгоритм, основанный на семантическом представлении тем форума как набора отдельных подтем. В проведенном нами эксперименте показано, что подобный подход может повысить качество поиска текстовой информации на форуме в сравнении с традиционными методами

Кроме того, мы надеемся, что предложенный нами подход к представлению форума в виде набора подтем, как связанных дискуссий поможет увеличить эффективность и других видов систем обработки информации на форуме, и справиться с проблемой информационной перегрузки.

## Список используемых источников

1. C. Speier, J. S. Valacich, and I. Vessey, "The Influence of Task Interruption on Individual Decision Making: An Information Overload Perspective," *Decis. Sci.*, vol. 30, no. 2, pp. 337–360, Mar. 1999.
2. Bertram Myron Gross, *The Managing of Organizations: The Administrative Struggle*. Free Press of Glencoe, 1964.
3. M. Qiu and D. McDougall, "Influence of group configuration on online discourse reading," *Comput. Educ.*, vol. 87, pp. 151–165, 2015.
4. R. Baeza-Yates and B. Ribeiro-Neto, *Modern information retrieval*. New York, N.Y., 1999.
5. А. Г. Дьяконов, "Алгоритмы для рекомендательной системы: технология lenkor," *Бизнес-информатика*, vol. 1 (19), pp. 32–39, 2012.
6. Л. С. Патрушева, "Функционально-стилистические особенности форума как жанра интернет-коммуникации," *Вестник Удмуртского университета. Серия «История и филология»*, vol. 4, pp. 128–134, 2013.
7. G. Almpandis, C. Kotropoulos, and I. Pitas, "Combining text and link analysis for focused crawling—An application for vertical search engines," *Inf. Syst.*, vol. 32, no. 6, pp. 886–908, 2007.
8. K. Buraya, V. Grozin, V. Trofimov, P. Vinogradov, and N. Gusarova, "Mining of relevant and informative posts from text forums."
9. T. Mikolov, W. Yih, and G. Zweig, "Linguistic Regularities in Continuous Space Word Representations.," in *Hlt-naacl*, 2013, vol. 13, pp. 746–751.
10. E. Gabrilovich and S. Markovitch, "Computing semantic relatedness using wikipedia-based explicit semantic analysis.," in *IJcAI*, 2007, vol. 7, pp. 1606–1611.
11. Y.-C. Wang, M. Joshi, W. W. Cohen, and C. P. Rosé, "Recovering Implicit Thread Structure in Newsgroup Style Conversations.," in *ICWSM*, 2008.
12. T. Saracevic and Tefko, "Evaluation of evaluation in information retrieval," in *Proceedings of the 18th annual international ACM SIGIR conference on Research and development in information retrieval - SIGIR '95*, 1995, pp. 138–146.
13. K. Järvelin and J. Kekäläinen, "Cumulated gain-based evaluation of IR techniques," *ACM Trans. Inf. Syst.*, vol. 20, no. 4, pp. 422–446, Oct. 2002.

# Интеллектуальная обработка текста с помощью библиотеки Gensim

А.А. Ибатуллин  
Факультет математики и информационных технологий  
Стерлитамакский филиал Башкирского государственного университета  
Стерлитамак, Россия  
e-mail: [ktd.iamlion12@gmail.com](mailto:ktd.iamlion12@gmail.com)

А.Р. Нафикова  
Факультет математики и информационных технологий  
Стерлитамакский филиал Башкирского государственного университета  
Стерлитамак, Россия  
e-mail: [albinabikbaeva@gmail.com](mailto:albinabikbaeva@gmail.com)

## Аннотация<sup>1</sup>

Одна из задач искусственного интеллекта – обработка естественного языка. Математические модели не могут работать с «сырым» текстом – для этого слова должны быть представлены в виде чисел. На сегодняшний день существует множество алгоритмов обработки текста. Наиболее популярным является набор алгоритмов Word2Vec – инструмент, разработанный компанией Google и реализованный в виде библиотеки Gensim. Он позволяет обучить нейронную сеть так, чтобы она могла представить слова в виде векторов, при этом близкие по смыслу слова будут близки в пространстве. В статье описаны принципы обработки текста с помощью библиотеки Gensim на языке Python и примеры работы с обученными моделями.

## 1. Введение

Python – высокоуровневый язык программирования, с удобочитаемым синтаксисом, на котором реализовано множество библиотек, предназначенных для удобной работы с алгоритмами машинного обучения. Одна из таких библиотек называется Gensim, которая позволяет «без лишних движений» построить семантические модели самыми эффективными алгоритмами. Авторами данного проекта являются Радим Рехерп (ориг. Radim Řehůřek) и Петр Сошка (ориг. Petr Sojka). Появившись на свет в 2008 году в виде коллекции скриптов Python для Чешской электронной математической библиотеки, Gensim, по мнению автора, является на сегодняшний день самой «крепкой», эффективной и легкой в использовании библиотекой для реализации неконтролируемых семантических моделей из обычного текста [1].

---

Труды пятой всероссийской конференции "Информационные технологии интеллектуальной поддержки принятия решений", 16 - 19 мая, Уфа, Россия, 2017

Инструмент приобрел широкую популярность среди сообщества, например на интернет-площадке Kaggle (<https://www.kaggle.com>), где проводятся конкурсы по машинному обучению, и содержатся статьи по работе с библиотекой [2].

Gensim создан для обработки сырого, неструктурированного текста, или «обычного текста». Алгоритмы в Gensim, такие как Латентно-семантический анализ, Латентное размещение Дирихле и Случайные проекции раскрывают семантическую структуру документа путём статистического изучения совпадений на образцах слов в своде учебных документов (корпусах). Эти алгоритмы неконтролируемы, что означает человеческое «невмешательство». Данное свойство является очень важным при работе с корпусами текстов [3].

Библиотека использует три основных понятия: корпус, вектор и модель. Корпуса – документы, представленные на естественном языке, их можно найти на сайте Национального корпуса русского языка [4]. Вектор – в реальном виде то же, что и матрица, и обладает теми же свойствами. Модель – объект класса, в реальном виде словарь, состоящий из кортежей вида «слово»: «вектор» [прим. для алгоритма Word2Vec].

## 2. Установка и подготовка к работе

Так как Gensim – библиотека для языка Python, то ее установка производится с помощью команды `pip install - - upgrade gensim`. Для работы с библиотекой Gensim также требуется установить NumPy и SciPy – библиотеки языка Python, которые обычно устанавливаются вместе с интерпретатором языка, все зависит от дистрибьютора. Также используются библиотеки logging и bz2.

Перед началом необходимо ввести команду:

```
import gensim
```

После чего, может быть осуществлена работа с библиотекой.



Рассмотрим примеры работы с алгоритмами.

### 3. Примеры работы с алгоритмами

#### 3.1. Word2Vec

Word2Vec (сокр. W2V) – группа нейросетевых моделей для создания векторного представления слов [5]. Был разработан командой компании Google, возглавляемой Томасом Миколовым.

В основе алгоритма лежит двухслойная нейронная сеть, обучаемая сконструировать лингвистическое значение слов, проще говоря – смысловое значение. На вход подаются большие корпуса текстов, и создается векторное пространство, обычно большой размерности, причем каждому уникальному слову в корпусе присваивается соответствующий вектор в пространстве. Векторы-слова расположены в векторном пространстве таким образом, что слова, которые имеют общие контексты в корпусе, расположены в непосредственной близости друг от друга в пространстве. Word2Vec имеет большие преимущества перед другими подобными алгоритмами, например, латентно-семантический анализ [5].

Основная идея алгоритма базируется на старом изречении Джона Руперта «слова со схожими значениями разделяют схожий контекст». Однако, если до появления W2V семантические модели строились путём составления матрицы, значениями элементов которой являлись количества соседних слов, после чего применяли SVD-разложение, то в W2V используется иной подход. Каждому слову алгоритм предсказывает слова, которые его окружают, либо наоборот, то есть угадывается центральное слово, исходя из контекста.

Пример работы алгоритма представлен на рис. 1.

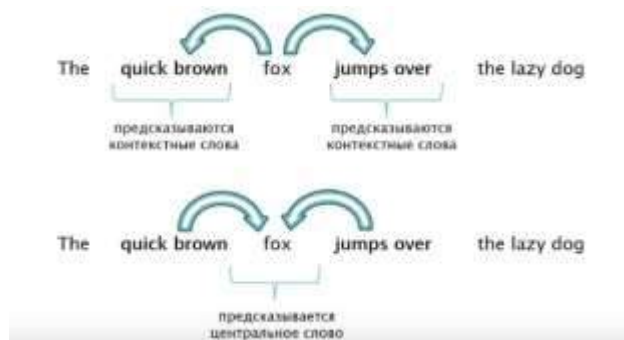


Рис. 1. Схема работы алгоритма W2V

Формализованная задача формулируется следующим образом: по корпусу документов  $T$  необходимо построить вектора слов для словаря  $V$  таким образом, чтобы максимизировать вероятность «появления на свет» корпуса  $T$ . Другими словами:

$$\theta' = \arg \max_{\theta} P(T, \theta) \quad (1)$$

где  $\theta'$  – координаты векторов слов,  $P(T, \theta)$  – вероятность появления корпуса  $T$  при векторах  $\theta$ .

Чтобы натренировать модель на обучающем корпусе, требуется всего лишь задать конструктор класса, после чего произвести обучение:

```
model = Word2Vec(sentences, size=100, window=5, min_count=5, workers=4),
```

где параметр `sentences` – корпус текстов, `size` – количество слоев нейронной сети, которое соответствует «степеням» свободы, по умолчанию значение равно 100. Большее значение размера требует большого корпуса текстов, но может повлиять на точность модели. Параметр `window` определяет ширину окна, аналогично методу `k` ближайших соседей. На рис. 1 ширина окна равна 2, то есть центральное слово `fox` и его «соседи» – слева `quick brown` и справа `jumps over`. `Min_count` – параметр, который игнорирует слово, если его общее появление в документах меньше заданного значения. Рекомендуются, чтобы все слова встречались в корпусе хотя бы 10 раз, исключение составляют только стоп-слова, то есть те слова, которые не несут никакой смысловой нагрузки, например, местоимения.

Следующий параметр `workers` отвечает за распараллеливание вычислений для увеличения скорости при обучении моделей. По умолчанию установлено значение, равное 1, которое означает, что распараллеливание не будет произведено. Для параллельных вычислений требуется, чтобы был установлен Cython – без него использование других ядер будет невозможно из-за глобальной блокировки интерпретатора в Python [6]. Полный список параметров можно прочитать на официальном сайте библиотеки, в разделе Tutorial [7].

Сохранение и загрузка обученной модели осуществляются с помощью методов `save(<имя_файла>)` и `load(<имя_файла>)`.

Пример:

```
model.save(fname)
model = Word2Vec.load(fname)
#fname – переменная с именем файла
```

Как говорилось ранее, модель W2V – словарь, элементами которого являются кортежи вида `<ключ>:<значение>`, где `<ключ>` – слово, `<значение>` – вектор библиотеки NumPy, то же, что и вещественная матрица. Поэтому для работы с моделью потребуется значительное количество памяти.

Оценку модели можно произвести с помощью испытательного набора от Google, где содержится около 20000 синтаксических и семантических текстовых примеров, соответствующих задаче «А относится к В, как С к D»[8].

Метод `most_similar` позволяет найти наиболее похожие по смыслу слова, при этом в качестве параметров можно передать список положительных слов, вектора которых будут суммироваться, и такой

же список отрицательных слов, сумма которых будет вычтена из первой. На практике это можно представить в виде выражения: «женщина» + «король» - «мужчина». Считается, что в идеале у подобного выражения ответом должно быть слово «королева», независимо от языка.

Существует проект RusVectores [9] от компании Mail.ru, где есть возможность опробовать обученные модели для русского языка. Представленные на сайте модели были обучены на разных текстовых корпусах, при этом все слова были помечены начальными частями речи. Пример проекта с использованием модели от RusVectores можно посмотреть в статье «Пирожки в дистрибутивной семантике» [10].

### 3.2. Doc2Vec

Предыдущая модель позволяет векторизовать отдельные слова в пространстве, но для работы с документами требуются добавочные алгоритмы. Предложенная Томасом Миколовым модель Doc2Vec позволяет работать не с одним словом, а с целым текстовым документом.

Doc2Vec (также известный как Paragraph2Vec) изменяет алгоритм Word2Vec на неконтролируемое изучение непрерывных представлений для больших блоков текста, таких как предложения, параграфы или целые документы.

Поскольку класс Doc2Vec расширяет исходный класс Word2Vec, многие шаблоны использования схожи. Можно легко настроить размер представления, размер скользящего окна, значение параметра workers или значение любого другого параметра, которое можно изменить с помощью модели Word2Vec. Единственным исключением из этого правила являются параметры, относящиеся к методу обучения, используемого моделью. В архитектуре Word2Vec имеются два алгоритма - «непрерывный мешок слов» (cbow) и «skip-gram» (sg). В архитектуре Doc2Vec соответствующими алгоритмами являются «распределенная память» (dm) и «распределенный пакет слов» (dbow). Поскольку модель распределенной памяти в документе заметно улучшилась, этот алгоритм используется по умолчанию при запуске Doc2Vec [11].

Входные данные в Doc2Vec создаются с помощью итератора объектов LabeledSentence. Каждый такой объект представляет собой одно предложение и состоит из двух простых списков: списка слов и списка меток.

Например:

```
sentence =  
LabeledSentence(words=[u'some',  
u'words', u'here'],  
labels=[u'SENT_1'])
```

Затем алгоритм проходит через итератор предложений дважды: один раз для создания словаря

и один раз для обучения модели, изучения векторного представления для каждого слова и для каждой метки в наборе данных. Doc2Vec изучает представления для слов и меток одновременно.

В текущей реализации все векторы меток хранятся отдельно в ОЗУ. В случае с уникальной меткой для каждого предложения это приводит к линейному росту использования памяти с размером корпуса, что может быть проблемой, в зависимости от размера корпуса и объема доступной памяти на компьютере. Например, можно успешно запустить над коллекцией из более чем 2 миллионов предложений без каких-либо проблем. Однако, если попытаться запустить его на данных больше в 20 раз, на компьютере может закончиться ОЗУ, поскольку для каждого предложения нужно будет создать новый вектор.

Использование для Doc2Vec такое же, как для Word2Vec. Можно сохранять и загружать Gensim экземпляры Doc2Vec обычными способами: напрямую с файлом формата .pkl из Python или с использованием оптимизированных методов Doc2Vec.save () и Doc2Vec.load ():

```
model = Doc2Vec(sentences)  
# store the model to mmap-able files  
model.save('/tmp/my_model.doc2vec')  
# load the model back  
#model_loaded =  
Doc2Vec.load('/tmp/my_model.doc2vec')
```

Вспомогательные функции, такие как model.most\_similar(), model.doesnt\_match(), model.similarity() также существуют. Векторы исходных слов и меток также доступны индивидуально через model ['word'], или все сразу через model.syn0.

Главное, метки действуют так же, как слова в Doc2Vec. Таким образом, чтобы получить самые похожие слова / предложения к первому предложению (например, SENT\_0), нужно прописать:

```
print(model.most_similar('&quot;SENT_0&  
&quot;))
```

### 3.3. Суммаризация текста

Автоматическое суммирование – это процесс сокращения текстового документа с помощью компьютерной программы, чтобы создать сводку, в которой сохраняются наиболее важные точки исходного документа. Технологии, которые могут составлять согласованное резюме, учитывают такие переменные, как длина, стиль письма и синтаксис.

Автоматическая суммаризация данных является частью машинного обучения и интеллектуального анализа данных. Основная идея суммаризации – найти репрезентативное подмножество данных,

которое содержит информацию всего набора. Технологии суммирования используются во многих отраслях промышленности. Примером использования технологии уплотнения могут служить поисковые системы, такие как Google. Другие примеры включают обобщение документов, сводку коллекции изображений и видео. Суммаризация документа пытается автоматически создать репрезентативное резюме или резюме всего документа, найдя наиболее информативные предложения. Аналогичным образом, при суммировании изображений система находит наиболее представительные и важные (или существенные) изображения. Точно также в видеороликах потребителей хотелось бы удалить скучные или повторяющиеся сцены и извлечь из них гораздо более короткую и краткую версию видео. Это также важно и для видеонаблюдения, где можно захотеть извлечь только важные события в записанном видео, так как большая часть видео может быть неинтересной, и ничего не происходит. По мере роста проблемы информационной перегрузки и по мере увеличения объема данных интерес к автоматической сводке также возрастает. Как правило, существует два подхода к автоматическому обобщению: извлечение и абстракция. Методы извлечения работают, выбирая подмножество существующих слов, фраз или предложений в исходном тексте для формирования сводки. Напротив, абстрактные методы создают внутреннее семантическое представление, а затем используют технологии генерации естественного языка для создания сводки, которая ближе к тому, что может создать человек. Такое резюме может содержать слова, явно не указанные в оригинале. Исследование абстрактных методов является все более важной и активной областью исследований, однако из-за сложности ограничений, исследования до настоящего времени были сосредоточены главным образом на добывающих методах. В некоторых доменах приложений более сложной является суммаризация.

Суммаризация в Gensim основана на популярном алгоритме «TextRank», и недавно была представлена представителями инженерного факультета университета в Буэнос-Айресе.

Модуль Gensim.Summarization автоматически суммирует данный текст, извлекая одно или несколько важных предложений из текста. Аналогичным образом он может также извлекать ключевые слова.

Рассмотрим использование модуля суммаризации на небольшом примере. Этот суммаризатор основан на алгоритме «TextRank», представленном в статье Рада Михалцея. Алгоритм был впоследствии усовершенствован Федерико Барриосом в статье «Вариации функции подобия TextRank для автоматического суммирования» [12], введя «рейтинговую функцию BM25».

Примечание: суммаризация Gensim пока работает только с англоязычным текстом [13].

Основную идею алгоритма TextRank можно описать в три шага [14]:

1. построение графа на основе текста на естественном языке;
2. приближенное вычисление PageRank [15] для построенного графа;
3. применение полученных весов для извлечения сведений из текста.

Для начала нужно импортировать функцию суммаризации.

Попробуем суммаризировать небольшой текст. На самом деле текст слишком мал, но его достаточно для иллюстрации. Исходный текст представлен на рис. 2.

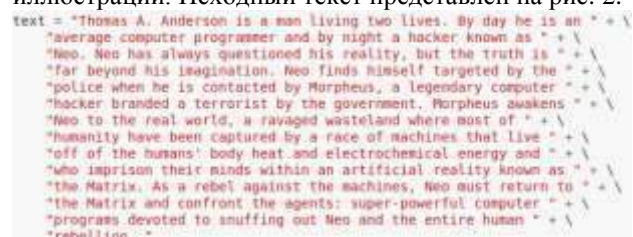


Рис. 2. Исходный текст

Для суммаризации этого текста необходимо передать необработанные строки функции суммаризации. В результате мы получим сжатую версию, в которой будет отображена суть входного текста. В нашем примере выходными данными будет 2 и 3 предложения.

Можно настроить параметры выходного текста, используя параметры функции суммаризации `ratio` или `word_count`. Используя параметр `ratio`, мы указываем, какая часть предложений в исходном тексте должна быть возвращена в качестве результата. Ниже мы указываем, что хотим получить 50% исходного текста (по умолчанию 20%):

```
summarize(text, ratio=0.5)
```

Используя параметр `word_count`, мы указываем максимальное количество слов, которые хотим найти в выходных данных. Ниже мы указали, что хотим найти не более 50 слов.

```
summarize(text, word_count=50)
```

Как упоминалось ранее, модуль суммаризации также поддерживает извлечение ключевых слов. Извлечение ключевого слова работает так же, как суммаризация (то есть извлечение главных предложений), поскольку алгоритм пытается найти слова, которые важны или кажутся репрезентативными для всего текста. Эти ключевые слова не всегда являются отдельными словами. В случае многословных ключевых слов они, как правило, все существительные. Для вывода ключевых

слов на экран требуется вызвать функцию `keywords(text)`.

#### 4. Заключение

Таким образом, в данной работе:

- описаны принципы интеллектуальной обработки текста с помощью библиотеки Gensim на языке Python;
- представлены примеры работы с алгоритмами.

#### Список используемых источников

1. Řehůřek R. About Gensim // Gensim topic modeling for humans; URL: <https://radimrehurek.com/gensim/about.html> (дата обращения: 15.03.2017).
2. Part3 more fun with word vectors // Kaggle your home for data science; URL: <https://www.kaggle.com/c/word2vec-nlp-tutorial/details/part-3-more-fun-with-word-vectors> (дата обращения: 15.03.2017).
3. Řehůřek R. Introducing: Gensim. // Gensim topic modeling for humans; URL: <https://radimrehurek.com/gensim/intro.html> (дата обращения: 15.03.2017).
4. Национальный корпус русского языка; URL: Word2vec // Wikipedia свободная энциклопедия.; URL: <https://en.wikipedia.org/wiki/Word2vec> (дата обращения: 15.03.2017).
5. Word2vec // Wikipedia свободная энциклопедия; URL: <https://en.wikipedia.org/wiki/Word2vec> (дата обращения: 15.03.2017).
6. GIL // Wikipedia свободная энциклопедия; URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Global\\_Interpreter\\_Lock](https://ru.wikipedia.org/wiki/Global_Interpreter_Lock) (дата обращения: 15.03.2017).
7. Řehůřek R. Gensim.models.word2vec // Gensim topic modeling for humans.-2004; URL: <http://radimrehurek.com/gensim/models/word2vec.html#gensim.models.word2vec.Word2Vec> (дата обращения: 15.03.2017).
8. Řehůřek R. Word2vec Tutorial // RaRe Technologies; URL: <https://rare-technologies.com/word2vec-tutorial/> (дата обращения: 15.03.2017).
9. RusVectōrēs: distributional semantic models for Russian; URL: <http://ling.go.mail.ru/dsm/> (дата обращения: 15.03.2017).
10. Пирожки в дистрибутивной семантике // Интересные публикации / Хабрахабр; URL: <https://habrahabr.ru/post/275913/> (дата обращения: 15.03.2017).
11. Řehůřek R. Doc2vec Tutorial // RaRe Technologies; URL: <https://rare-technologies.com/doc2vec-tutorial/> (дата обращения: 15.03.2017).
12. Automatic\_summarization // Wikipedia свободная энциклопедия; URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Automatic\\_summarization](https://en.wikipedia.org/wiki/Automatic_summarization) (дата обращения: 15.03.2017).
13. Řehůřek R. Text Summarization // RaRe Technologies; URL: <https://rare-technologies.com/text-summarization-with-gensim/> (дата обращения: 16.03.2017).
14. TextRank // NLPub; URL: <https://nlpub.ru/TextRank> (дата обращения: 16.03.2017).
15. PageRank // NLPub; URL: <https://nlpub.ru/PageRank> (дата обращения: 16.03.2017).

# Семантический анализ информации для принятия решений при управлении лояльностью клиентов в банковской сфере

М.В. Чумакова  
Факультет информатики и робототехники  
Уфимский государственный авиационный  
технический университет  
Уфа, Россия  
e-mail: [mary.chumakova@gmail.com](mailto:mary.chumakova@gmail.com)

Н.И. Юсупова  
Факультет информатики и робототехники  
Уфимский государственный авиационный  
технический университет  
Уфа, Россия  
e-mail: [yussupova@ugatu.ac.ru](mailto:yussupova@ugatu.ac.ru)

## Аннотация<sup>1</sup>

В данной статье рассматриваются вопросы лояльности клиентов и семантического анализа их отзывов в банковской сфере. В настоящее время бизнесу недостаточно оказывать удовлетворительные услуги: экономически выгодно формировать лояльность своих потребителей. Предлагаемый способ решения проблемы управления лояльностью – семантический анализ отзывов клиентов нескольких российских банков, на основе которого вырабатываются рекомендации по управлению лояльностью клиентов.

## 1. Введение

Одним из основных стейкхолдеров компании является клиент, для которого создается добавочная стоимость. По статистике затраты на привлечение нового клиента обходятся в 5 раз выше затрат по удержанию существующего, а также именно постоянные клиенты приносят компании большую часть прибыли. Таким образом, экономически выгодно формировать лояльность своих потребителей. Изучению вопросов лояльности клиентов посвящено много литературы [1–10]. Узнать степень приверженности клиентов компании позволяют их отзывы.

Отзывы и обсуждения клиентов различных организаций в сети Интернет становятся все более ценным информационным источником для компаний. Мнение клиентов в Интернете представляет собой большой массив неструктурированных данных, которые могут быть использованы для определения клиентской лояльности. Семантический анализ [12–

---

Труды пятой всероссийской конференции "Информационные технологии интеллектуальной поддержки принятия решений", 16 - 19 мая, Уфа, Россия, 2017

14] позволяет обработать текст отзывов и получить ценную информацию из сырых данных.

Данная статья посвящена семантическому анализу отзывов клиентов с целью выработки обоснованных рекомендаций по управлению лояльностью.

## 2. Анализ вопросов повышения лояльности клиентов

Для того, чтобы говорить о том, как компании следует взаимодействовать с клиентами, чтобы создать из них лояльных потребителей, следует остановиться на том, что же такое лояльность и какие у этого понятия границы.

Под лояльностью потребителей понимают приверженность клиентов какому-либо бренду, компании. Это позволяет потребителям снизить риски по таким параметрам, как функциональность, безопасность, психологический и финансовый аспекты [2].

Очень важно понять психологические аспекты лояльности. Ведь почти всегда клиенты становятся лояльными из-за определенных мыслей, идей или ассоциаций, которые у них возникают от потребления продукта или услуги компании. И с психологической точки зрения лояльность характеризуется эмоциональной привязанностью и удовлетворенностью брендом, рациональным пониманием клиента выгод от использования данного продукта, безразличием клиента к брендам конкурентов [3].

Лояльность клиента говорит о том, что для клиента данный бренд является чем-то большим, чем набор функциональных характеристик, формируется эмоциональная связь [4]. Ключевым фактором формирования лояльности является живое общение. Согласно Д. Аакеру существует пять этапов формирования лояльности:

№	Этап	Характеристики
1	Потенциальный покупатель	Организация либо бренд малознакомы клиенту
2	Случайный клиент	Единичный опыт приобретения товара или получения услуги
3	Клиент	Регулярно приобретает товары либо пользуется услугами организации. Но также может обращаться в аналогичные компании
4	Постоянный клиент	В основном пользуется услугами данной организации, испытывает доверие к оказываемым услугам и мнению сотрудников
5	Приверженец	Полностью лояльный клиент

Программа лояльности представляет собой совокупность мер, которые позволяют компании добиться расположения своих потребителей и предоставлять им качественные услуги.

Создание успешной программы лояльности начинается с определения четких целей, которые необходимо достичь. Журнал Harvard Business Review выделяет основные цели, на достижение которых направлены программы лояльности [5]:

- Удержание своих клиентов. В некоторых случаях программы лояльности могут создавать барьеры, препятствующие клиентам переходить к другим компаниям.
- Получение большей доли бюджета. Это означает, что программа лояльности может привести к консолидированным покупкам, чтобы как можно больше продуктов и сопутствующих им услуг приобреталось покупателями в конкретной компании.
- Получение понимания потребительского поведения и предпочтений клиентов.
- Побуждение клиентов к дополнительным покупкам.
- Понимание того, насколько эффективны маркетинговые программы.
- Улучшение взаимодействия с клиентами, что позволяет сделать система CRM (Customer relationship management).
- Обеспечение дифференцированного обслуживания для наиболее лояльных клиентов.
- Привлечение новых потребителей.

Для повышения приверженности потребителей компании необходимо:

- Выбрать наиболее подходящий способ управления преданностью потребителей;
- Провести анализ отдельных групп клиентов с точки зрения их приверженности компании;
- Провести анализ мотивов потребителя, по которым он обращается к компании (удовлетворенность товарами и услугами, удобное расположение точек продаж и офисов, а также чем мотивированы повторные покупки);
- На основе анализа определить цены на продукцию, размеры скидок и т.д.;
- Внедрить систему управления взаимоотношениями с клиентами, которая позволяет консолидировать информацию и делать выводы о приверженности потребителей какому-либо бренду.

Успешная деятельность компании зависит от применяемой бизнес-модели. Авторами книги «Бизнес-модели. 55 лучших шаблонов» приводятся 55 шаблонов, на которых строят свою деятельность наиболее успешные современные компании [6].

Среди выделенных авторами шаблонов существуют бизнес-модели, в основе которых лежит лояльность клиентов к компании:

- Лояльность клиентов: стимулирование преданности. В этой модели клиенты удерживаются, а лояльность увеличивается за счет предоставления стоимости, превосходящей базовые товары и услуги.
- Привязывание клиентов: принуждение к лояльности за счет высоких расходов на смену поставщика. В основе этого шаблона лежит мнение, что удержать имеющихся клиентов дешевле, чем привлечь новых.
- «Бритва и лезвие». Базовый продукт предлагается по низкой цене или вообще бесплатно. А комплектующие/аксессуары – по высокой.

### 3. Инструментальные средства оценки лояльности клиентов

Существуют определенные методы, позволяющие оценить степень приверженности клиентов к компании.

Одним из способов выявления значения факторов, влияющих на лояльность потребителей, является расчет индекса удовлетворенности потребителя - CSI (Customer Satisfaction Index) [7]. Каждый фактор имеет свой уровень удовлетворенности по 5-ти балльной шкале, где значение 1 означает, что фактор не важен для клиента, 5 – очень важен.

Формула, по которой рассчитывается индекс, следующая:

$$CSI = \sum W_j (P_{ij} - E_{ij}),$$

Где  $W_j$  – весовой фактор атрибута,  $P_{ij}$  – созданное восприятие стимула  $i$  по отношению к атрибуту  $j$ ;  $E_{ij}$  – ожидаемый уровень для атрибута  $j$ , который является нормативом стимула  $i$ .

Чистый индекс поддержки NPS показывает разницу между количеством людей, готовых распространять позитивные отзывы на рынке, и количеством тех, кто дает негативные отзывы после обслуживания:

$$NPS = \text{Доля промоутеров} - \text{Доля детракторов}$$

По статистике клиенту для принятия решения об обращении в данную компанию необходимо получить 5-6 позитивных рекомендаций. При этом одна негативная рекомендация равна по силе 5 позитивным [7].

В Российской Федерации для дифференциации доходов населения применяется децильный анализ. За рубежом данный анализ позволяет определить рентабельность и аспекты продаж продукции сегментированным покупателям. Анализ выделяет процент самых активных покупателей, которые приносят фактическую прибыль компании [8].

RFM (Recency Frequency Monetary) анализ является лучшим инструментом для предсказания будущих покупателей, которые принесут основную прибыль компании [8]. Recency – это промежуток времени с момента последнего действия клиента (как покупки, так и, например, ответа на письмо) [9]. Frequency – частота покупок, совершаемых клиентом. Monetary – количество затрачиваемых средств.

Метод разделения потребностей заключается в определении лояльности клиента в численном значении. Например, если человек приобрел нужный ему товар 8 раз из 10, то это означает, что организация удовлетворяет 80% его потребностей.

Конверсионная модель [10], предложенная Яном Хофмейром и Бутчем Райсом, показывает степень удовлетворенности брендом, важность выбора бренда, альтернативы выбора и колебания.

Методика ANA [10], разработанная специалистами авиакомпании ANA. В данной методике выделяются 4 основных клиентских сегмента:

- Клиенты, у которых нет возможности выбора, они вынуждены приобретать продукт или услуги только у этой компании;
- Клиенты, которые не удовлетворены обслуживанием или продукцией;
- Клиенты, которые не определились в выборе бренда;
- Постоянные клиенты;

Согласно данной методике необходимо привлекать постоянных потребителей из сегмента неопределившихся клиентов.

#### 4. Методы семантического анализа текста

Интеллектуальный анализ текста – Text Mining – это направление в искусственном интеллекте, целью которого является выделение знаний из текста. Методы ИАТ схожи с методами интеллектуального анализа данных, но имеет дело с корпусами текстов, а не с хранилищами и базами данных. Корпус текста представляет собой подобранную и обработанную для исследования совокупность текстов.

Актуальность применения интеллектуального анализа текста заключается в следующем:

- Постоянный рост неструктурированных данных;
- Анализ отзывов клиентов и выделение знаний из неструктурированной информации дает конкурентное преимущество;
- Решения по анализу текстов позволяют получить больше знаний;
- Более глубокое понимание текущего положения бизнеса;
- Сократить риски и расточение ресурсов;
- Улучшить принятие решений в компании.

Изначально текст необходимо обработать и подготовить к последующему анализу по извлечению ценной информации. Для этой цели необходимы следующие методы для интеллектуального анализа текста:

- Токенизация – разбиение текста на отдельные слова для дальнейшего анализа;
- Удаление стоп-слов. Под стоп-словами понимаются любые слова, которые не несут смысловой нагрузки: предлоги, союзы, местоимения и т.д.;
- POS-теггирование – морфологический анализ, который включает в себя определение части речи каждого слова и приведение слова к его начальной форме;
- Стемминг – определение основы слов;
- Лемматизация – определение начальной формы каждого слова;
- Частотный анализ – анализ, в ходе которого подсчитывается, насколько часто в корпусе текстов встречается то или иное слово или фраза;
- Построение N-грамм – выделение фраз по 2 и более слов.

Одним из направлений семантического интеллектуального анализа текста является анализ тональности (Sentimental Analysis). Выделяют три основных метода определения тональности текста:

- Статистический. В данном случае происходит обучение модели на заранее размеченных по тональности корпусах текстов. Шаг по ручному определению тональности является базовым, т.к. в дальнейшем на этих текстах модель обучается и затем модель определяет тональность новых фраз и текстов.
- Метод поиска лексической тональности в тексте, основанный на словарях и правилах. Словари состоят из заранее определенных позитивных и негативных слов и выражений.
- Смешанный метод, который представляет собой комбинацию первых двух методов.

При применении статистического метода при обучении модели выделяются следующие методы интеллектуального анализа:

- Деревья решений;
- Наивный байесовский классификатор;
- К-ближайших соседей.

## 5. Программное обеспечение

Рынок программного обеспечения по интеллектуальному анализу текста достаточно обширный и включает в себя как платное, так и бесплатное ПО, которое по функциональным возможностям не уступает проприетарному. Также владельцы платного ПО могут предоставлять студенческие/образовательные лицензии для выполнения работы.

Выбор программы осуществлялся в 2 этапа. На 1 этапе программы для интеллектуального анализа текста оценивались по следующим критериям:

- Наличие модулей ИАТ (модуль анализа текстовой информации входит в программы интеллектуального анализа данных);
- Бесплатное ПО либо есть возможность использования demo-версии.
- Программы, предоставляющие студенческую/образовательную лицензию;
- Поддержка русского языка.

В итоге была выбрана программа RapidMiner. Это ПО является бесплатным и по функционалу не уступает платным аналогам.

Доля на рынке аналитического ПО у RapidMiner составляет 1,6%, занимает пятое место после SAS, IBM, SAP и Oracle, программой пользуются 606 компаний по всему миру.

## 6. Результаты

Изначально было собрано 2 000 отзывов Сбербанка для обучения модели в соответствии со статистическим методом; 328 отзывов АО КБ Модульбанк за период от 1 квартала 2015 по 4 квартал 2016. Отзывы были собраны в формате .xlsx.

Модель для определения тональности в программе RapidMiner выглядит следующим образом:

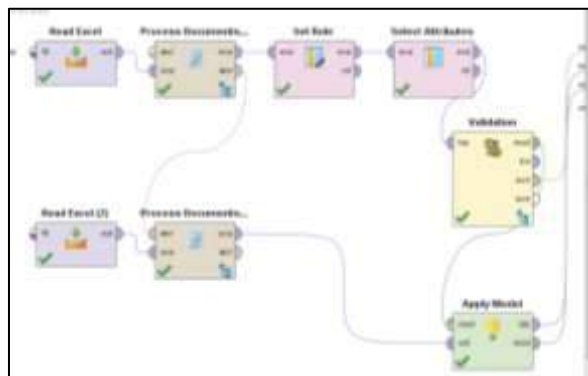


Рис. 1. Модель определения тональности текста отзывов

Изначально модель обучается на отзывах Сбербанка. Тональность отзывов для обучения проставляется вручную.

Модель обучается на трех методах интеллектуального анализа текста: Деревья решений, наивный байесовский классификатор и к-ближайшего соседа. В соответствии с полученными результатами наибольшей точностью обладает модель, обученная на наивном байесовском классификаторе (92.59%).

После применения данной модели к файлу отзывов АО КБ Модульбанк были получены следующие результаты:

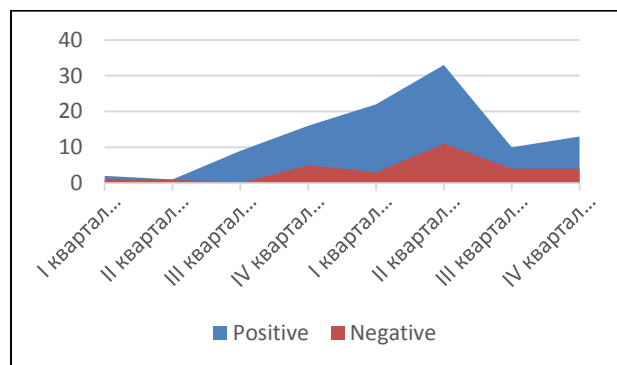


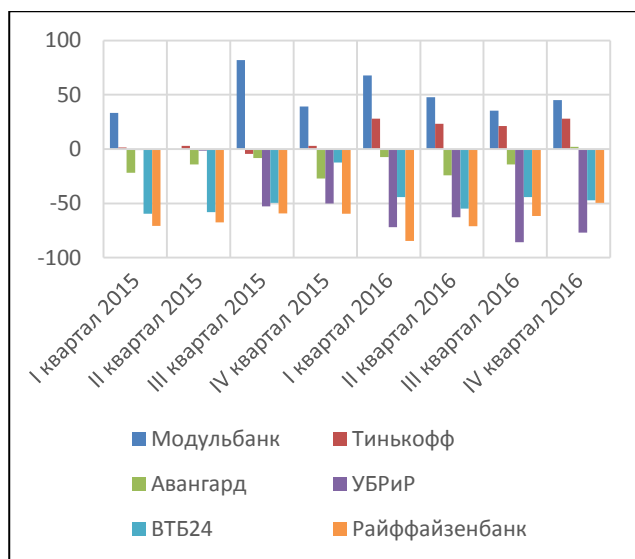
Рис. 2. Распределение негативных и позитивных отзывов АО КБ Модульбанк

Следующим шагом было определение тональности отзывов банков, которые являются лидерами отрасли в сфере обслуживания малого бизнеса. В соответствии с исследованием аналитического агентства Markwebb за IV квартал 2016 года лидерами банковской отрасли для малого бизнеса



являются банк Авангард, УБРиР, Тинькофф Банк, ВТБ24 и Райффайзенбанк.

Затем был построен график сравнения динамики NPS для указанных банков, а также для АО КБ Модульбанк:

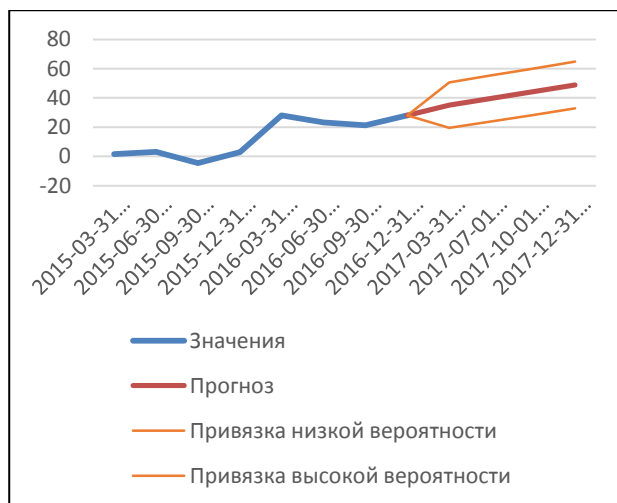


**Рис. 3. Сравнение динамики NPS АО КБ Модульбанка с лидерами отрасли**

Из графика видно, что самые высокие значения индекса NPS у АО КБ Модульбанка и у банка Тинькофф. Прогноз на 2017 для указанных банков с доверительным интервалом 95% выглядит следующим образом:



**Рис. 4. Прогноз для АО КБ Модульбанк**



**Рис. 5. Прогноз для банка Тинькофф**

На основании оценки динамики NPS и прогноза для указанных банков были выработаны рекомендации для повышения лояльности клиентов АО ВБ Модульбанк. Для выработки рекомендаций необходимо выделять группы клиентов, например:

- ИП или ООО;
- Получают постоянный доход или доход нестабильный;
- По ОКВЭД;
- Начинаящий бизнес или развивающийся.

Данную информацию можно получить из CRM (Customer Relationship Management) системы, которая управляет взаимоотношениями с клиентами.

Для повышения лояльности групп клиентов применимы различные рекомендации. Во-первых, предложение услуг, которыми может воспользоваться малый бизнес:

- Ведение бухгалтерского учета с различными условиями для ИП и ООО, т.к. в ООО могут быть сотрудники, для которых необходимо также рассчитывать и начислять заработную плату.
- Предоставление банковских гарантий начинающему бизнесу. Банковская гарантия обязательна при участии малого бизнеса в госзакупках, а также при заключении сделок с частными компаниями. Это позволяет подтвердить свою платежеспособность и надежность.
- Предложение услуг по сегментам малого бизнеса по ОКВЭД, например, для розничных магазинов предлагаются кассы для оплаты товара, а для интернет-магазинов – оплата на сайте, т.е. интернет-эквайринг.
- Предложение открывать депозит и увеличивать накопления;

- Предложение овердрафта клиентам со стабильным доходом. Для клиента это удобно тем, что он может всегда воспользоваться деньгами банка, если на его счет ещё не поступил доход.

Во-вторых, обучение бизнес-ассистентов и клиентских менеджеров правилам общения с клиентами и оперативного решения задач. А также обучение всех сотрудников, чтобы было понимание, что работа каждого влияет на клиентское восприятие банка.

## 7. Заключение

В данной статье рассмотрены вопросы лояльности клиентов и семантический анализ их отзывов. Выбрано программное обеспечение для анализа, произведен анализ тональности текста отзывов клиентов АО КБ Модульбанк. На основе полученных результатов рассчитан индекс NPS для указанного банка и приведено сравнение динамики индекса со значениями индексов банков, которые являются лидерами отрасли в обслуживании малого бизнеса. На основе полученных результатов выработаны рекомендации по управлению лояльностью клиентов в банковской сфере.

## Благодарности

Исследования частично поддержаны грантами РФФИ 16-07-00239, 16-07-00773, 15-07-01565.

## Список используемых источников

1. Фирма «ФОЛИО» [электронный ресурс] – Что такое лояльность клиента и зачем она Вам? Режим доступа [http://www.folio.ru/edy51/\\_progy/crm\\_loyalty.php](http://www.folio.ru/edy51/_progy/crm_loyalty.php);
2. Научно-практический журнал «Российское предпринимательство» [электронный ресурс] – Методы оценки лояльности потребителей. Кузнецова Л.В., Брусенцова Л.С. Режим доступа <https://bgscience.ru/lib/7565/>;
3. Реклама, маркетинг, PR [электронный ресурс] – Практическая психология лояльности. Режим доступа <http://www.sostav.ru/publication/prakticheskaya-psikhologiya-loyalnosti-3490.html>;
4. Бизнес-конспект (собрание образовательных материалов по экономическим и юридическим наукам) [электронный ресурс] – Формирование потребительской лояльности – инструмент эффективного управления брендингом. Режим доступа <http://www.konspekt.biz/index.php?text=51309>;
5. Harvard Business Review [электронный ресурс] – Your loyalty program is betraying you. Режим доступа <https://hbr.org/2006/04/your-loyalty-program-is-betraying-you>;
6. Оливер Гасман, Каролина Франкербергер, Микаэла Шик. Бизнес-модели. 55 лучших шаблонов. Изд. «Альпина Паблишер», 2017.
7. Высшая школа экономики. Высшая школа маркетинга и развития бизнеса [электронный ресурс] – Customer Satisfaction Index. Режим доступа <https://marketing.hse.ru/data/2013/12/06/1336473230/Методика%20CSI.pdf>;
8. Management Study Guide [электронный ресурс] – Methods and tools for customer retention. Режим доступа <http://www.managementstudyguide.com/methods-tools-for-customer-retention.htm>;
9. Хабрахабр [электронный ресурс] – Применение RFM-анализа в сегментировании клиентской базы. Режим доступа <https://habrahabr.ru/company/unisender/blog/131225>;
10. Интеллектуальный клуб 4brain [электронный ресурс] – Исследования лояльности клиентов – современные методики. Режим доступа <https://4brain.ru/blog/исследование-лояльности-клиентов>;
11. Н.И. Юсупова, Ю.Ф. Ахметова, Д.Р. Богданова. Классификация клиентов на основе нечеткой информации. Вестник УГАТУ, 2013.
12. Н.И. Юсупова, Д.Р. Богданова, М.В. Бойко. Обработка слабоструктурированной информации на основе методов искусственного интеллекта. Издательство «Инновационное Машиностроение», 2016.
13. Н.И. Юсупова, Д.Р. Богданова, М.В. Бойко. Алгоритмическое и программное обеспечение для анализа тональности текстовых сообщений с использованием машинного обучения. Вестник УГАТУ, 2012.
14. М.В. Бойко. Исследование удовлетворенности потребителей в банковской сфере на основе анализа текстовых отзывов. Вестник УГАТУ, 2014.

# Analysis of Sentiment and Emotion from text written in Russian Language

Abbasi, Mohsin Manshad  
Department of Theoretical Foundations of  
Computer Science  
Udmurt State University  
Izhevsk, Russia  
e-mail: [mohsinmanshad@gmail.com](mailto:mohsinmanshad@gmail.com)

A. P. Beltiukov  
Department of Theoretical Foundations of  
Computer Science  
Udmurt State University  
Izhevsk, Russia  
e-mail: [belt.udsu@mail.ru](mailto:belt.udsu@mail.ru)

## Abstract<sup>1</sup>

The paper is written to review the work already done on emotion and sentiment analysis in text written in Russian language and to view the scope further exist in this field. Sentiment analysis is a topic of growing interest. It is because of abundant amount of data available online and offline in different languages. In languages like English, German and Spanish a lot of work has already been done whereas the interest in analyzing Sentiment from Russian Text started only during the last decade. This paper aims to study the work already done and to conclude by giving direction to further explore the field of sentiment analysis from Text written in Russian language.

## 1. Introduction

Natural Language Processing is one of the most pursued research topics in recent times. Many researchers and companies have explored the area of opinion identification and its analysis. With the increase in the number of Internet users, there is a proliferation of opinions available on the web. Not just to read opinions from web but also to post more opinions through mechanisms such as product review sites, news group message boards, personal blogs and social sites. This phenomenon has a huge impact on various applications such as product review summarization and the public opinion monitoring systems.

Text is the primary medium of representing information by instant messages, e-mails, news articles, weblogs and printed materials. There is an urgency to develop technologies to help us arrange and manage the resulting information overload. Expert systems have enjoyed some success in assisting information retrieval, data mining

and natural language processing (NLP) systems. There is growing necessity of sentiment analysis systems that can automatically process the sentimental information available in online electronic text. The necessity is the driving force for massive research effort on Sentiment Analysis.

Sentiment analysis defines as the application of computational linguistics and natural language processing to identify and extract sentiment information from text. It also refers as emotion analysis and opinion mining which is a step by step procedure involving many tasks. An important among them is the classification of a document based on its polarity at word, feature or sentence level. This classification is then used to identify the sentiment in the text document as positive, negative or neutral. Sentiment analysis is highly dependent upon the characteristics of the target language and a language is influenced by the culture, values, and religious tidings of its native speakers. That is why the techniques applied for analysis of sentiment from text in one language cannot be applied same way on other language.

## 2. Importance of Sentiment Analysis

The World Wide Web has become a platform where users do not only gather but also share information. This information can be objective or subjective. Objective pieces of information are factual explanations or descriptions, such as the description of scientific phenomena on wikis for example. Subjective information includes opinions and evaluations, e.g. in product reviews on an online retailer website, as well as feelings and emotions, for example in blog-entries recounting a particular event or experience. The resulting phenomenon of "big data", i.e. of very large quantities of data collections that cannot be managed and analyzed manually anymore, has led to the fast emergence and development of new NLP tasks, among which sentiment analysis resides.

In an industrial or commercial context for example, companies are interested in knowing as much and as fast

---

Proceedings of the 5<sup>th</sup> All-Russian Conference  
"Information Technologies for Intelligent Decision  
Making Support", May 16 - 19, Ufa, Russia, 2017

as possible about how popular their products are. Online reviews and customer e-mails, but also people expressing themselves on social media platforms, constitute a very large source of raw information. Sentiment analysis tools allow to quickly and automatically analyzed and synthesize this data: they assess whether the opinions expressed in a collection of texts (e.g. reviews or articles) are positive or negative, and deduct the dominant opinion that is being expressed. This allows the concerned companies to rapidly respond to their customers' feedback and demands. Sentiment analysis is also increasingly used with similar aims in the domain of reputation analysis, for example in the context of electoral campaigns.

Besides its applicability, sentiment analysis is a fascinating topic also from a purely NLP-research perspective. A sentiment analysis system is based not only on thorough syntactic and grammatical knowledge, but also on semantic knowledge. Indeed, semantic knowledge is necessary in order to assess whether a proposition is polar, i.e. positive or negative, neutral (not polar) or ambivalent (bi-polar, i.e. both negative and positive). Basic or prior semantic knowledge is induced to the system via a so-called polarity lexicon. A polarity lexicon consists of an extensive list of lemmas, i.e. words in their base form, which are marked with both their polarity (or valence) and word class. This list enables the system to identify a word in a text as polar or neutral.

### 3. Related Work

The development of the General Inquirer System (1966) (Stone, 1966) by Philip Stones in Harvard was probably the first milestone to identify textual sentiment. They called it a content analysis research problem in the behavioral science. The aim was to gain understanding of the psychological forces and perceived demands of the situation that were in effect when the document was written. The system usually counts the positive or negative emotion instances.

After the General Inquirer the community took a long break to start the current trend of sentiment analysis research. Jaynce Wiebe, Peter Turney and Vasileios Hatzivassiloglou are the pioneers who started the initial experimentations during early 90's. Jaynce Wiebe in 1990 (Wiebe, 1990) defines the term "Subjectivity" for Information Retrieval research but the term is now widely used by the sentiment research community. Any piece of text with sentiment relatedness is known as subjective whereas any piece of text that has no sentiment but factual statements is called objective. Later on in the year of 1997 Hatzivassiloglou (Hatzivassiloglou et. al., 1997) identified the semantic orientation of adjectives. This is the first research attempt that proves the effectiveness of empirical methods of building sentiment lexicon.

After a few years Peter Turney (Turney, 2002) came up with his revolutionary approach of Thumbs Up and Thumbs Down for positive and negative review

classification. Problem definition and formalization are one of the crucial steps of any scientific research. A nice architecture for the development of subjectivity lexicon from English to Romanian, a resource scarce language, has been proposed by (Wiebe and Mihalcea, 2007). The authors started with a small set of seed words for four POS categories - noun, verb, adverb and adjective. The list is incremented through bootstrapping using online dictionary and a small set of manually annotated corpora. The Subjectivity lexicon for English is one of the widely used English sentiment lexicon mainly developed from news corpora.

Pang (et. al., 2002) has suggested the building of sentiment lexicon manually for a domain. They involved two annotators independently to choose good indicator words for positive and negative sentiments in movie reviews. (Denecke, 2009) reported an interesting study on multiple domains to demonstrate the usefulness of the prior polarity scores from the SentiWordNet. The author proposed one rule-based and another machine learning based method. The positivity, negativity and the objectivity scores have been used from the SentiWordNet. (Mohammad et. al., 2009) proposed an automatic technique to increase the coverage of sentiment lexicon. The reported evaluation results show that the generated lexicon has high-coverage compared to SentiWordNet. The proposed technique captures both the individual words and multi-word expressions, using only a Roget-like thesaurus and a list of affixes and many more.

In Russia, studies devoted to sentiment analysis from Text written in Russian Language before 2011 are not very numerous. In (Ermakov, 2009) a sentiment analysis system extracting opinions about cars from a Russian blog community is presented. The approach is based on the detailed description of knowledge about car trade marks, their details and characteristics, semantic patterns of sentiment expressions.

Internationally Sentiment Analysis from Text written in Russian Language appears as a part of multilingual experiments. (Zagibalov et al., 2010) compares corpus of reviews related to the same books in English and in Russian Language. These corpora allowed authors to study specific ways of sentiment expression in Russian and English. In (Steinberger et al., 2011) construction of general sentiment vocabularies for several languages is described. They create two source sentiment vocabularies: English (2400 entries) and Spanish (1737 entries). Both lists are translated by Google translator to the target language. Only the overlapping entries from each translation are taken into further consideration. The set of target languages comprises six languages including Russian.

Chetviorkin and Loukachevitch (2012), describes the generation of the Russian sentiment vocabulary for the generalized domain of products and services. They

constructed a new model based on multiple features for domain-specific sentiment vocabulary extraction, then applied this model to several domains, and at last combined these domain-specific vocabularies to generate Russian sentiment vocabulary for products and services.

## 4. Recent Work

### 4.1 Adapting the PULS Event Extraction Framework to Analyze Russian Text

A plugin component is proposed to extend the PULS information extraction framework to analyze Russian-language text. PULS is a comprehensive framework for Information Extraction (IE) that is used for analysis of news in several scenarios from English-language text and is primarily monolingual. The main objective is to explore whether the base framework can be extended to cover additional languages with limited effort.

Technique Used: A rule-based Information and a relevance classifier that determines the relevance

Module Produced: Lower level morphological analysis, syntactic analysis and semantic analysis.

Data Set Used:

<http://news.yandex.ru/people>  
<http://dictum.ru/en/object-extraction/blog>  
<http://www.rco.ru/eng/product.asp>

### 4.2 An Approach to Semantic Natural Language Processing of Russian Texts

The article contains results of the first stage of a research and development project aimed at creating a new generation of intellectual systems for semantic text analysis. Described are the main principles, system architecture, and task list. The features cloud and cluster architecture realization are regarded as well.

Technique Used: Theoretical Approach

Module Produced: Proposed Division of algorithms and data. Open algorithm standards and data formats Pipeline architecture.

Data Set Used:

AOT , RCO , DICTUM , GATE , UIMA , OpenNLP.

### 4.3 Semantic Analysis Based on Linguistic and Ontological Resources

It is a recently launched project which aims to develop an advanced converter of natural language text to semantic structures. It enriches the ETAP-3 linguistic processor, developed by the Institute for Information Transmission Problems, Russian Academy of Sciences, with a new module – that of semantic analysis. The importance of this module is that it also uses the extra linguistic ontology knowledge and contextual information's alongwith the linguistic knowledge in the grammar and combinational dictionary. A small ontology is developed

that serves as semantic meta language for semantic structures.

Technique Used: Rule Based Technique, Rules of Inference

Module Produced: Extra linguistic combinational dictionary and fact repository for contextual information.

Data Set Used:

ETAP linguistic processor

### 4.4 Classification of Emotion Words in Russian and Romanian Languages

The machine learning techniques are used to study the affective words in Russian and Romanian languages. The words are tags in two primary classes based on emotions as positive or negative and then in six secondary classes represented by the sentiment of anger, disgust, fear, sadness, joy and surprise. The word spellings are used with the hypothesis that sounds represents the emotions and for every emotion there are several classes of words that share common phonological features.

Technique Used: probability based, prototype-based, decision-based and PART optimization (Support Vector Machines) For binary classification, For multi-class classification, Precision(P), Recall(R), and the balanced Fscore (F).

Module Produced: Multiclass classification and Binary class classification

Data Set Used:

<http://wordnet.princeton.edu/>  
<http://thesaurus.reference.com/>  
<http://wndomains.itc.it>  
<http://dexoline.ro>  
English Word Affect

### 4.5 Semantic Parser for Sentiment Analysis and the Emotional Computer Agents

The study aims to develop a semantic parser that can construct a standalone semantic representation, suitable for further processing of text. This approach engages theoretical linguistic concepts by explicitly using the semantic markers and valencies within semantic representation. The separation of syntactic and semantic levels of representation are done by changing the semantic representation of a concept, depending upon the prevail situation. It can be served further for processing the incoming text.

Technique Used: Rule-based parser

Module Produced: Syntactic trees and a Semantic representation

Data Set Used:

An unannotated corpus

#### 4.6 Unsupervised Parsing of the Russian Sentence

A statistical approach to the raw text parsing is described. A parsing algorithm builds a projective dependency tree in quadratic time after training on an unannotated corpus. The algorithm searches the dependency tree in the bottom up approach and establishes local links. After analyzing all the sentences from text, their weights are improved and again the analysis is carried out in an iterative way. It is assumed that the directed tree gives better results than an undirected tree.

Technique Used: A statistical approach, A parsing algorithm.

Module Produced: Automatic syntactic marking of unannotated corpus

Data Set Used:

<http://www.lib.ru> of about 2 Gbytes .Short stories by A.P. Chekhov about 1 Mb

#### 4.7 Methods for Semantic Role Labeling of Russian Texts

The study includes two methods for semantic role labeling. One method use the heuristics approach and the integer linear programming for assignment of role with the use of semantic dictionary containing information about predicate, syntax and role.. The other method is based on data-driven semantic-syntactic parsing that performs the data-driven parsing .It is observed that overall the dictionary-based parser and the data-driven semantic-syntactic parser showed close performance.

Technique Used: Heuristics and Integer linear programming

Module Produced: Syntactic tree, the dictionary-based parser and the data-driven semantic-syntactic parse

Data Set Used:

Rich inventory of universal roles taken from SynTagRus

#### 4.8 Information Extraction Based on Deep Syntactic Semantic Analysis

This paper present the results of the techniques used for Information Extraction in FactRuEval-2016, which is a competition aim to improve the technology used for information extraction from Russian Text .The system used in the competition is based on ABBY Compreno Technology, in which deep syntactic –semantic analysis is used to reduce unnecessary rules for inference . The evaluation was conducted on FactRuEval dataset. It is an open evaluation of Information Extraction system available online. The result of the competition shows overall good performance.

Technique Used: Rule-based approach to Information Extraction .

Module Produced: Deep syntactic-semantic analysis

Data Set Used:

FactRuEval dataset, Opencorpora.org (Bocharov et al.).

#### 4.9 Applying of Sentiment Analysis for Texts in Russian Based on Machine Learning Approach

This paper studies the complexities in Russian Language compare to other languages. Russian is different from other languages as it has endings of words depending upon the declination, tenses and grammatical gender. Similarly the words that seem completely different may be synonyms and have equal emotional values. In this study the words caring similar emotions are grouped into a single term using lemmatization and the results of Russian and English languages are compared on the application of data mining algorithms. The classification of Russian words using lemmatization yields better results than using lemmatization in English language

Technique Used: Machine Learning (Naive Bayesian classifier, Bagging, Support Vector Machine.)

Module Produced: Lemmatization and Synonyms libraries. Sentiment Classifier Comparing English-Russian Dataset

Data Set Used:

Customer Reviews, <http://banki.ru>.

#### 4.10 Evaluating Sentiment Analysis Systems in Russian

This paper is written in the proceedings of the Information Retrieval Seminar (ROMIP), which is an annual TREC competition in Russian language. It describes several training tasks and tests for sentiment classification from newswire and blogs. The main tasks in this competition were the sentiment classification from reviews, sentiment classification of opinionated quotations and query based retrieval of blog posts. It is observed that the user review classification tasks gives better results when available data is used for training a classifier.

Technique Used: SVM machine learning Knowledge Based Learning

Module Produced: Evaluation of Sentiment Analysis Systems in Competition, ROMIP 2011

Data Set Used:

Imhonet service (imhonet.ru), (<http://market.yandex.ru/>). (<http://blog.yandex.ru/>).

#### 4.11 Creating a General Russian Sentiment Lexicon

The paper describes the most recently created sentiment lexicon for Russian language called RuSentiLex. It was created by

gathering words from Russian dictionaries, vocabularies and from Twitter blogs. The words with different sentiment orientations are linked to appropriate thesaurus of Russian language called RuThes. All lexicon entries are considered to generate from three sources of sentiments (opinion, sentiment or fact) and in four categories (positive, negative, neutral, positive/negative) of sentiments. These lexicons are used by the participants of SentiRuEval-2016. RuSentiLex is a big collection having more than ten thousand lexicon words and phrases

Technique Used: Support Vector Machine, RuSentiLex (Manually Generated Lexicon), Automatically generated Pattern Connotation Lexicon .

Module Produced: Evaluation of Manually created general Russian Sentiment Lexicon – RuSentiLex Competition SentiRuEval-2016.

Data Set Used:

<http://www.labinform.ru/pub/rusentilex/index.htm>.  
NRC Emotion Lexicon translated in Russian via Google Translate (NRC).  
<http://www.labinform.ru/pub/ruthes/index.html>

#### 4.12 Extraction of Russian Sentiment Lexicon for Product Meta-Domain

In this paper a different approach for construction of sentiment lexicon in Russian language is studied. A set of statistical algorithms are used to discriminate sentiments within a specific domain. The model is trained on movie review and then tested on other domains. After testing the model, the lexicons from five different domains are collected together to create a general lexicon for product meta domain.

Technique Used: Supervised machine learning algorithms, Weka1 data mining tool, Logistic Regression, LogitBoost and Random Forest.

Module Produced: Set of statistical features and algorithm combinations for discriminating sentiment words in a specific domain (domain - meta-domain of products and services.)

Data Set Used:

<http://www.cs.waikato.ac.nz/ml/weka/>  
Review data collections in the book and digital camera domains are obtained from Russian Seminar of Information Retrieval Methods ([www.romip.ru](http://www.romip.ru))

## 5. Discussion

The extraction of sentiments from text written in Russian language has been observed over the recent decade. Most of the researchers are using Rule based techniques for identification and classification of sentiments from Russian language. The rule based techniques are necessary to create a good grammar that can be further used to develop stemmer, semantic and syntax analysers.

An important achievement during recent years is the organization of competitions within and outside the Russia for classification and identification of sentiments from text written in Russian language. During these competition lexicon sources are created or extended. Among these lexicon sources, RuSentiLex is an important and recent effort. The text used for sentiment classification in most cases is from some formal source such as books, customer reviews, reports. The trend to work with dynamic text from online blogs and public tweets is relatively small.

## 6. Future Work

Despite the progress of sentiment analysis from the text written in Russian language it is still observable that there exists a gap between these researches. Researchers are more interested to start their work from scratch than using knowledge from previous studies. The research in a more systemic way including contributions of previous work can be more effective and efficient. The lexicon resources created contains formal words used in the language. The words deviation or the word sense changed by the way they are used in society, culture or religious dialogues may be included to make a wider lexicon collection. The concept of word sense is very interesting. However it has its own limitation. The emotions can be grouped into more classes. Each emotional class may have some similarities with others but its own identity on summarizing the text is very important. The work is mostly about either creating lexicons or identification of Sentiments from text. An inclusion of sentiment summarization task after identification can result into a summarize text showing the emotional contents.

## 7. References

1. Pivovarova L., Du M., Yangarber R., “Adapting the PULS Event Extraction Framework to Analyze Russian Text”. Proceedings of the 4th Biennial International Workshop on Balto-Slavic Natural Language Processing, Sofia, Bulgaria, 8-9 August 2013, pages 100–109.
2. Solovyev V., Polyakov V., Ivanov V., Anisimov I., Ponomarev A., “An Approach to Semantic Natural Language Processing of Russian Texts”. Research in Computing Science, 2013, pages 65-73.
3. Boguslavsky I., “Semantic Analysis Based on Linguistic and Ontological Resources”. Fifth International Conference on Meaning-Text Theory, Barcelona, 8-9 September 2011.
4. Sokolova M., Bobicev V., “Classification of Emotion Words in Russian and Romanian Languages”. International Conference RANLP, Borovets, Bulgaria, 2009, pages 416–420.
5. Kotov A., Zinina A., Filatov A., “Semantic Parser for Sentiment Analysis and the Emotional Computer Agents”. Proceeding of the ANIL-ISMW FRUCT Conference, Saint Petersburg Russia, 14 November 2015.

6. Potemkin S.B, "Unsupervised Parsing of the Russian Sentence", 2008.
7. Shelmanov A.O., Smirnov I., "Methods for Semantic Role Labelling of Russian Texts". Institute for Systems Analysis of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia, 2014.
8. Stepanova M.E., Budnikov E. A., Chelombeeva A.N., Matavina P. V., Skorinkin D. A., ABBYY. "Information Extraction Based on Deep Syntactic-Semantic Analysis" Proceedings of the International Conference "Dialogue 2016" Moscow, June 1–4, 2016.
9. Yussupova N., Bogdanova D., "Applying of Sentiment Analysis for Texts in Russian Based on Machine Learning Approach", The Second International Conference on Advances in Information Mining and Management, 2012.
10. Chetviorkin L., Loukachevitch N., "Evaluating Sentiment Analysis Systems in Russian", Proceedings of the 4th Biennial International Workshop on Balto-Slavic Natural Language Processing, Sofia, Bulgaria, 8-9 August 2013, pages 12–17.
11. Loukachevitch N., Levchik A., "Creating a General Russian Sentiment Lexicon", LREC 2016, Tenth International Conference on Language Resources and Evaluation, Portorož, Sloveni, May 23-28, 2016.
12. Chetviorkin L., Loukachevitch N., "Extraction of Russian Sentiment Lexicon for Product Meta-Domain", Proceedings of COLING 2012: Technical Papers, COLING 2012, Mumbai, December 2012, pages 593–610.



# Архитектура системы анализа трехмерных сцен

И.Р. Максютов

Факультет информатики и робототехники  
Уфимский государственный авиационный  
технический университет  
Уфа, Россия  
e-mail: maksjutovilshat@yandex.ru

С.С. Валеев

Факультет информатики и робототехники  
Уфимский государственный авиационный  
технический университет  
Уфа, Россия  
e-mail: vss2000@mail.ru

## Аннотация<sup>1</sup>

Рассматривается задача разработки архитектуры программного комплекса для анализа моделей трехмерных сцен с динамическими объектами, где видеoinформация, о состоянии в трехмерном пространстве динамических объектов, фиксируется ограниченным набором видеосенсоров, размещенных по заданной схеме.

## 1. Введение

Задача разработки архитектуры программного комплекса для анализа моделей трехмерных сцен с динамическими объектами, где видеoinформация, о состоянии в трехмерном пространстве динамических объектов, фиксируется ограниченным набором видеосенсоров, размещенных по заданной схеме является актуальной [1-3]. Сложность решения, рассматриваемой задачи, связана с необходимостью реализации алгоритмов обработки наборов изображений в реальном масштабе времени, поступающих от видеосенсоров. Так же требуется разработка эффективной программной системы сбора, передачи и реализации алгоритмов восстановления трехмерной модели для дальнейшего анализа, полученной информации о состоянии динамического объекта [4-6].

## 2. Построение объемной модели динамического объекта

Процесс построения объемной модели объектов из заданного набора видеопотоков состоит из последовательности операций, которые требуют больших вычислительных ресурсов [7]. Например, применяя аффинные и перспективные преобразования, можно получить неискаженную проекцию объекта на плоскости камеры. Совместно с алгоритмом, который может оценивать положение известного трехмерного объекта, можно найти перспективное масштабирование динамического

объекта и, следовательно, вычислить его приблизительное представление в виртуальном трехмерном пространстве. Эти вычисления не будут особо точными, однако они помогут найти необходимые точки, с помощью которых можно реализовать объемную и временную синхронизацию. За счет нахождения соответствия между точками на трехмерном объекте, которые определены одним из видеосенсоров, и теми же точками на другом изображении с другого видеосенсора, а также, заранее известного базового разделения между видеосенсорами, можно определить трехмерное расположение точек, и соответственно координаты динамического объекта в целом [8].

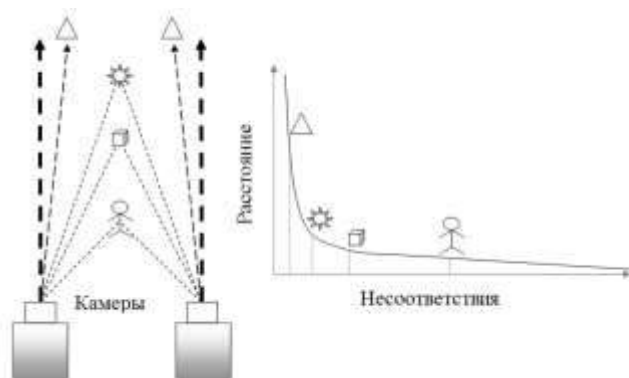
Данная процедура выполняется в несколько этапов:

1. Удаляются радиальные и тангенциальные искажения от объектива видеосенсора, что позволяет получить неискаженное изображение.
2. Реализуется процедура уточнения для расчета углов и расстояния между видеосенсорами для получения компланарных изображений.
3. Реализуется процедура получения карты несоответствий, где несоответствия - это различия между изображениями с двух заданных видеосенсоров.
4. Реализуется процедура перепроецирования, на базе алгоритма триангуляции. Развертывается карта несоответствий и в результате получается карта глубины.

Важной задачей при восстановлении трехмерных моделей является реализация алгоритмов определения глубины трехмерных объектов в анализируемом трехмерном пространстве. Сложность решения этой задачи определяется множеством технических характеристик видеосенсоров.

---

Труды пятой всероссийской конференции  
"Информационные технологии интеллектуальной  
поддержки принятия решений", 16 - 19 мая, Уфа,  
Россия, 2017



**Рис. 1. Зависимость карты несоответствия от расстояния до объекта**

Из рисунка 1 видно, что глубина изображения обратно пропорциональна смещению одной и той же точки на двух изображениях, то есть очевидна нелинейная связь между этими двумя элементами. Когда смещение близко к 0, то небольшие различия приводят к большим различиям глубины. Когда смещение велико, то небольшие различия не на много изменяют глубину. За счет возможности перемещения видеосенсоров можно регулировать данную величину, что является преимуществом данного решения перед другими системами стереозрения, для которых характерно высокое разрешение глубины только в случае близлежащих объектов.

При фронтально параллельно расположении видеосенсоров несложно найти расстояние до объекта, но видеосенсоры никогда не выравняются точно фронтально параллельно. Далее требуются математические расчёты проекции изображения и карты искажений, которые вносят поправки в оба изображения для получения точного фронтально параллельного расположения. При разработке системы необходимо обеспечить условия, так чтобы видеосенсоры разместились параллельно. В этом случае упрощаются математические вычисления, иначе выходное изображение может быть искаженным. Еще один параметр от которого зависит качество стереоизображения - это синхронизация камер по времени, который имеет большое значение при движении объекта наблюдения или видеосенсора.

Эпиполярная геометрия позволяет решить задачу нахождения стереопары и проверки на соответствие стереопары. Поэтому все точки в стереоизображении расположены на эпиполярной плоскости, которая пересекает оба изображения. Учитывая параметры расположения видеосенсоров относительно друг друга можно сократить поиск стереопары от двумерного поиска в одномерный, так как стереопара точки будет находиться на эпиполярной линии, это соответственно уменьшает время поиска пары и возможность ошибки.

Главной особенностью и преимуществом динамических видеосенсоров является то, что изображение, полученное от движущегося видеосенсора идентично с изображением полученного от второго видеосенсора. Таким образом, алгоритмы, применяемые к двум статическим видеосенсорам применимы для одного движущегося видеосенсора. Для решения задачи реконструкции траектории видеосенсора и обобщения объемной структуры помещения при движении камеры в помещении можно вычислить соответствия между точками следующими друг за другом камерами

### **3. Особенности машинного обучения для решения задачи построения объемной модели**

Проблема машинного обучения для данной задачи заключается в сборе и обучении меток, которые обозначают наличие человека (или нескольких людей) на сцене или его определенное движение, и наоборот - отсутствие. Наличие человека на изображении может быть представлено точкой (несколькими пикселями) или же частью (частями) его тела. Неопределенность в решение задачи вносит перекрытие частей тела другим человеком или другим объектом. Поэтому следует разделять уровни решения данной задачи в зависимости от требуемой информативности.

В связи с этим возникает задача: выделения полезной информации и учета других данных, которые влияют на входные данные, такие как различные источники света, различные позы людей, направление и размер тени, наличие людей с ограниченными возможностями. Методы и алгоритмы, которые эффективны при определенных условиях могут вести себя совсем иначе в другом помещении при других условиях.

Полученная объемная модель на практике не будет полной, то есть будут пустые зоны из-за сложности восстановления объема объекта, траекторий его движения и перекрытия участков одного объекта другим объектом.

Для обучения, иногда, требуется разбить полученные данные на подмножества, для выполнения нескольких сотен или тысяч циклов обучения, и в конце обучения получается окончательный усредненный результат. Данная перекрестная проверка помогает подготовить классификатор к новым для него наборам входных данных.

Как известно, основная задача машинного обучения — это построение функции, которая из входных данных получит требуемые выходные значения. Могут возникать проблемы, связанные с регрессией и прогнозированием, так как перекрытия, шум, сложный фон вносят неопределенность и на практике полученные данные не всегда совпадают с теоретическим.

Например, при построении скелетной или древовидной модели человека и определении его позы, направления его движения, можно выделять суставы, отдельные участки тела и на их основе строить общую модель. Но, при смене одежды, изменении источника света, фона, появлении перекрытий возникают ошибки различного рода.

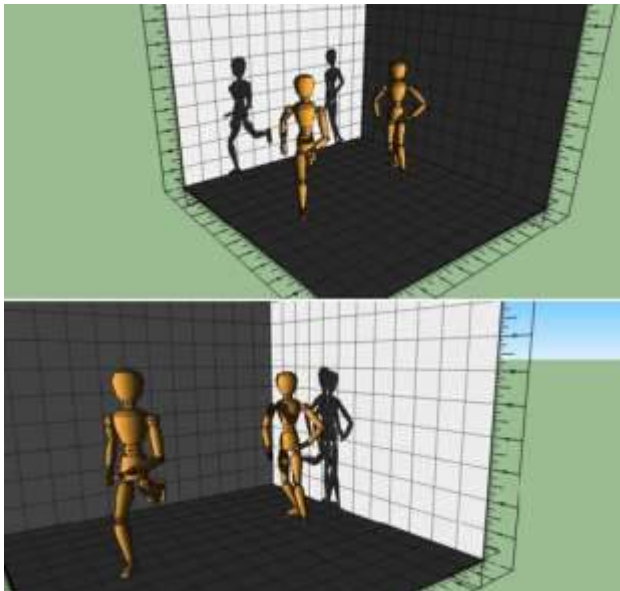


Рис. 2. Проекция на две плоскости

На рисунке 2 показана проекция на две различные плоскости, в первом случае есть перекрытия между частями тела одного объекта, во втором объекты перекрывают друг друга, что еще более усложняет задачу восстановления трехмерной сцены.

В процессе анализа огромного объема данных требуется выделять метки. Обработка большого количества изображений подразумевает определение объекта на сцене, его действий и направления, то есть выделение меток на каждом изображении. Существует множество инструментов и способов для выделения объекта на сцене и его классификации. Например, метод SIFT (Scale Invariant Feature Transform), используемый для выделения особенностей на изображении и их дескрипторов. С помощью этого метода выполняются операции масштабирования, вращения и регулировки гистограмм и определения векторов особенностей объекта. Данные вектора связаны непосредственно с объектом наблюдения и его действием.

Предлагается использовать сверточные нейронные сети, используемые для определения позы человека, его действий и построения его древовидной модели.

Известно, что геометрические ограничения между частями тела, которые важны для построения общей модели обычно не учитываются в процессе обучения сверточных нейронных сетей. В последствии это может привести к ошибочным результатам в виде "кривой" модели или сложной позы человека.

Например, при сопровождении человека и выделении его части тела на изображении могут быть обнаружены такие же части тела других людей. Эта проблема может быть решена путем рассмотрения общей согласованности частей тела на этапе обучения: люди, появляющиеся в изображении и не имеющие полную древовидную модель, не учитываются при построении модели.

Для оценки позы человека можно использовать комбинацию сверточных нейронных сетей, Марковского случайного поля и пространственных гистограммам о размещении частей тела человека.

#### 4. Архитектура системы анализа трехмерных сцен

В рамках рассматриваемой задачи на начальном этапе исследований возможно использование игрового контроллера Kinect от компании Microsoft для быстрого получения объемной модели динамического объекта. Это возможно благодаря наличию на Kinect двух сенсоров глубины и цветной видеокamеры [9].

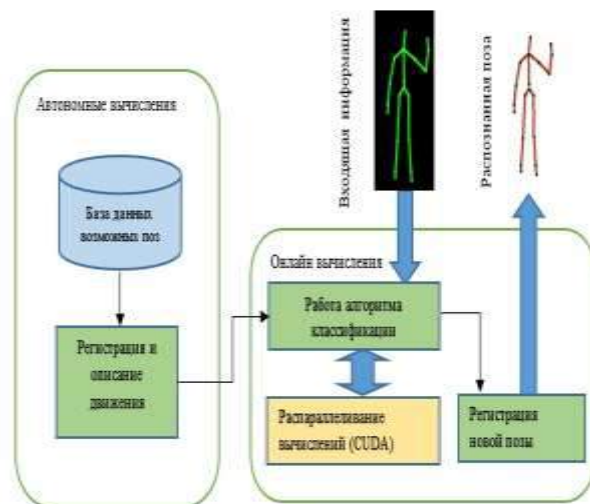


Рис. 3. Архитектура программного комплекса

На рисунке 3 представлена архитектура программного комплекса для распознавания поз человека, которая состоит из двух частей. Часть автономных вычислений состоит из базы данных возможных и обученных поз, а так же модуля для работы с данной базой. Для увеличения производительности системы часть вычислений в реальном масштабе времени предполагает использование алгоритма классификации с программно-аппаратной архитектурой CUDA.

#### 4. Заключение

Таким образом, рассматриваемый программно-аппаратный комплекс, благодаря применению методов компьютерного зрения с алгоритмами искусственного интеллекта, позволяет эффективно и осуществлять процесс сбора, передачи и обработки видеoinформации. Рассмотрены особенности

архитектуры программного комплекса, позволяющего реализовать рассматриваемые алгоритмы построения моделей в реальном времени.

### **Список используемых источников**

1. Robert Laganiere. Opencv 2 Computer Vision. Application Programming Cookbook - Packt Publishing. 2011. P. 266-280
2. Robertson D. P., Cipolla R.. Structure from motion. 2008. P. 3-6
3. Herbert Bay, Andreas Ess, Tinne Tuytelaars, Luc Van Gool. SURF: Speeded Up Robust Features, Computer Vision and Image Understanding (CVIU).Vol. 110, No. 3, 2008.
4. L. Bourdev, J. Malik. Poselets: Body part detectors trained using 3d human pose annotations. In ICCV, 2009.
5. Vovk V, Gammerman A., Shafer G. Algorithmic Learning in a Random World. Springer, New York, 2005.
6. L.-C. Chen, G. Papandreou, I. Kokkinos, K. Murphy, and A. L. Yuille. Semantic image segmentation with deep convolutional nets and fully connected crfs. In ICLR, 2015.
7. M. Kiefel, P. V. Gehler. Human pose estimation with fields of parts. In ECCV, 2014.
8. Tsai, R.Y. A versatile camera calibration technique for high-accuracy 3d machine vision metrology using off-the-shelf tv cameras and lenses. IEEE Journal of Robotics and Automation RA-3, 1987. P. 323–344.
9. Максютов И.Р. Программный комплекс построения 3d-моделей // Мавлютовские чтения: материалы X Всероссийской молодежной научной конференции – Уфа: РИК УГАТУ, 2016. С.231-232.

# Архитектура гетерогенной вычислительной системы для моделирования состояния сложного динамического объекта

А.И. Загитова

Факультет информатики и робототехники  
Уфимский  
государственный авиационный технический  
университет  
Уфа, Россия  
e-mail: [zagitova92@mail.ru](mailto:zagitova92@mail.ru)

С.С. Валеев

Факультет информатики и робототехники  
Уфимский  
государственный авиационный технический  
университет  
Уфа, Россия  
e-mail: [vss2000@mail.ru](mailto:vss2000@mail.ru)

## Аннотация<sup>1</sup>

Задача разработки специализированного вычислительного программного комплекса для решения задачи моделирования с соблюдением требований реального времени характеристик сложного динамического объекта, является актуальной. Рассматривается архитектура гибридного вычислительного комплекса, включающего различные программно-аппаратные модули. Объединение разнородных вычислителей в единую систему и использование облачных технологий позволяет повысить скорость расчетов за счет применения технологий параллельного программирования в системах с общей и разделенной памятью, работы нейропроцессоров и применения различных облачных сервисов.

## 1. Введение

К моделям реального времени сложных динамических объектов (СДО), предъявляются жесткие требования по точности и скорости вычислений. С развитием нейросетевых технологий стала возможна реализация гибридных вычислительных моделей на базе гетерогенных вычислительных систем. Таким образом, задача разработки специализированного программного комплекса для моделирования в реальном времени характеристик сложного динамического объекта является актуальной [1-6].

Обеспечить требуемые качества имитационной модели СДО, например, авиационного газотурбинного двигателя (ГТД), можно на основе различных вычислительных технологий:

---

Труды пятой всероссийской конференции "Информационные технологии интеллектуальной поддержки принятия решений", 16 - 19 мая, Уфа, Россия, 2017

1) Выполнением алгоритмов вычисления параметров модели на высокопроизводительных вычислительных устройствах (суперкомпьютерах). Однако в случае, если модель ГТД выполняется на бортовой цифровой вычислительной машине (БЦВМ) летательного аппарата, например, при идентификации параметров модели во время летных испытаний опытных образцов двигателей, данное решение может быть неприменимо из-за ограниченных возможностей БЦВМ. Для успешной реализации данного программно-аппаратного решения требуется распараллеливание алгоритмов вычисления параметров модели с использованием технологии параллельного программирования для систем с общей памятью (например, OpenMP).

2) Выполнением модели в распределенной вычислительной системе на базе вычислительной системы, содержащей однородные компьютеры - кластере. В этом случае модель должна быть реализована в виде параллельной программы с использованием технологии передачи сообщений (например, MPI) для обмена данными между узлами вычислительной сети. Обеспечение выполнения требований реального времени при этом затрудняется из-за возможных задержек при передаче данных, а также повышается вероятность сбоев в работе системы пропорционально числу компьютеров, входящих в неё.

3) Использование нейросетевого подхода и специализированного программно-аппаратного комплекса на его основе для вычисления отдельных блоков динамической модели СДО [7]

В качестве аппаратной базы для нейросетевых вычислений могут быть использованы как специализированные нейрочипы (например, NeuroMatrix), так и графические ускорители NVIDIA, поддерживающие архитектуру параллельных вычислений CUDA.

Реализация нейронной сети с сочетанием технологии CUDA и OpenMP и параллелизма центральных процессоров на уровне языка программирования и программно-аппаратного интерфейса создает еще один уровень прироста производительности.

Таким образом, применение комбинации описанных выше программных и аппаратных решений является перспективным для повышения производительности программной модели СДО.

## 2. Архитектура гибридного вычислительного комплекса моделирования ГТД

Предлагается архитектура гибридной вычислительной системы, включающей в себя кластер, состоящий из многоядерных персональных компьютеров, нейросетевого вычислителя и доступа к облачным сервисам. Объединение разнородных вычислителей в единую систему позволяет повысить скорость расчетов за счет применения технологий параллельного программирования в системах с общей и разделенной памятью и работы нейропроцессоров [8].



Рис.1. Аппаратно-программная архитектура вычислительного комплекса

А применение облачного хранилища данных позволяет обеспечить актуальную информацию о результатах испытаний СДО.

На рисунке 1 представлена аппаратно-программная архитектура вычислительного комплекса, где САУ ГТД – система автоматического управления газотурбинным двигателем.

Как известно, авиационный газотурбинный двигатель представляет собой нелинейный нестационарный многомерный и многосвязный объект, поэтому для эффективного управления им необходимо использовать нелинейное оптимальное многосвязное управление, причем в алгоритме управления нелинейная модель двигателя и ограничения на скорость движения исполнительных механизмов и величину управляющих воздействий должны присутствовать в явном виде. Без этого невозможно обеспечить предельные значения некоторых

двигательных и эксплуатационных параметров (быстродействие переходных процессов, удельный расход топлива, ресурс и т.д.) и максимально использовать свойства двигателя.

В ходе компьютерного моделирования ГТД требуется определение значений параметров работы его агрегатов на основе их известных характеристик, построенных на основе экспериментальных данных летных испытаний опытно-конструкторского образца двигателя или полунатурных испытаний агрегатов. Для задания характеристик агрегатов в математических моделях ГТД используется преимущественно табличное представление с использованием интерполяции между точками данных и экстраполяции при выходе за область экспериментальных данных. Недостатком этого способа является большая погрешность определения параметров и необходимость реализации интерполяции в программной модели ГТД.

Предлагается для нахождения параметров работы агрегатов двигателя использовать аппроксимацию их характеристик с помощью искусственной нейронной сети, предварительно обученной на наборе значений параметров агрегатов, полученных в результате летных или стендовых испытаний. Интерполяция и экстраполяция характеристик агрегатов средствами языка программирования в программных моделях ГТД является трудоемкой задачей с высокой вычислительной нагрузкой на вычислительное устройство или сеть. Данный подход позволяет сократить время и трудоемкость разработки программной модели ГТД, повысить скорость её выполнения и обеспечить кроссплатформенность программной реализации.

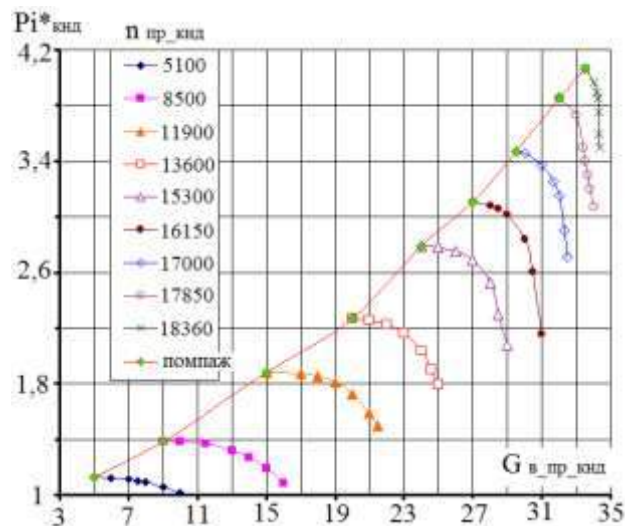


Рис.2. Характеристика компрессора низкого давления

Рассмотрим решение задачи нейросетевой аппроксимации характеристики компрессора низкого давления турбореактивного двухконтурного авиационного двигателя, которая является функцией двух переменных:

$$\pi_{knd}^* = f(G_{v\_pr\_knd}, n_{pr\_knd}), \quad (1)$$

где  $\pi_{knd}^*$  - степень повышения давления воздуха в каскаде низкого давления (КНД),  $G_{v\_pr\_knd}$  - приведенный расход воздуха через КНД,  $n_{pr\_knd}$  - приведенная частота вращения КНД,

и задана в табличном виде набором экспериментально полученных значений в приведенных координатах (рис. 2).

### 3. Нейросетевая аппроксимация характеристики компрессора низкого давления

В ходе численного эксперимента построена нейронная сеть с использованием инструментального средства NNTool математического пакета MatLab. Входными переменными для нейронной сети являются значения частоты вращения  $n_{pr\_knd}$  и приведенного расхода воздуха через КНД -  $G_{v\_pr\_knd}$ , выходной (целевой) переменной является степень повышения давления воздуха в КНД -  $\pi_{knd}^*$ .

Нейронная сеть (НС) была обучена на наборе из 63 точек с использованием алгоритма обучения Левенберга-Марквардта. В качестве критерия оптимальности была задана среднеквадратическое отклонение результатов аппроксимации характеристики НС от экспериментальных данных, равное  $0,5 \cdot 10^{-6}$ .

Оптимальная структура сети, обеспечивающая достижение заданной точности за приемлемое время обучения представляет собой двухслойную НС с прямым распространением сигнала и обратным распространением ошибки с 9 нейронами в скрытом слое. Структура НС приведена на рис. 3.

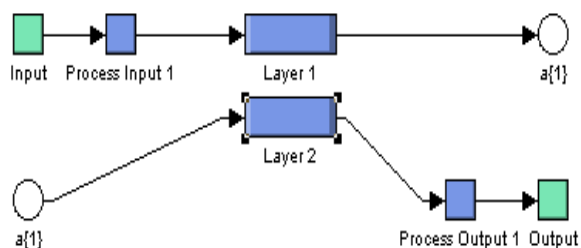


Рис.3. Общая структура НС

На рис. 4 приведена детализированная схема внутреннего слоя НС, содержащего 9 нейронов.

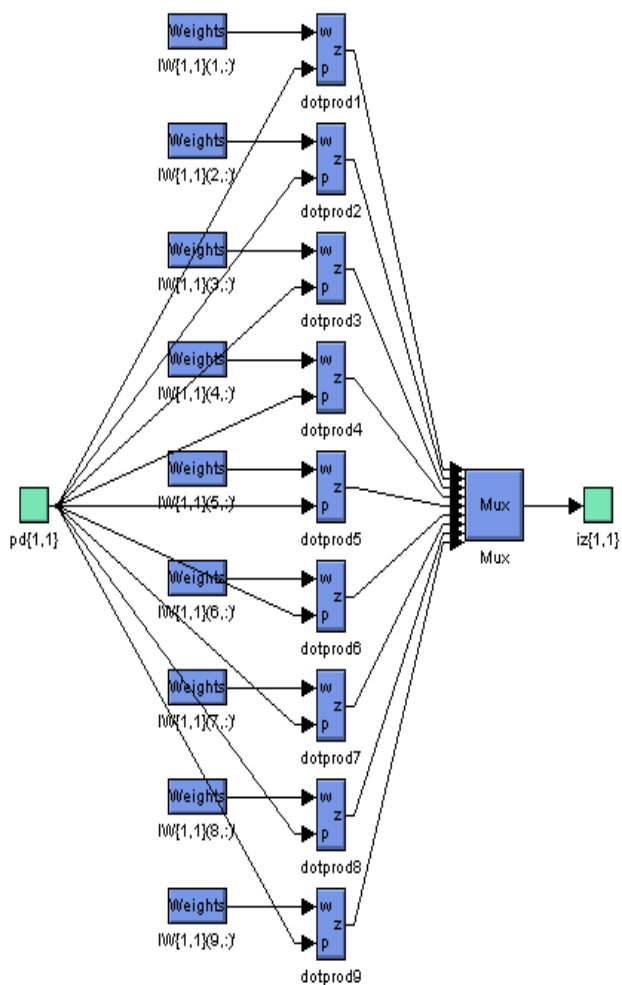


Рис.4. Структура внутреннего слоя НС

На рис. 5 приведена структура выходного слоя НС.

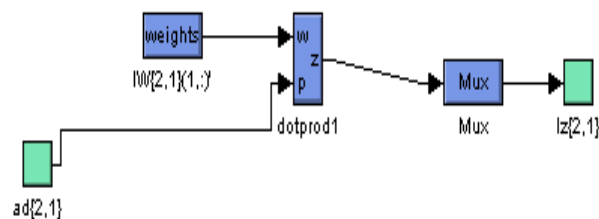
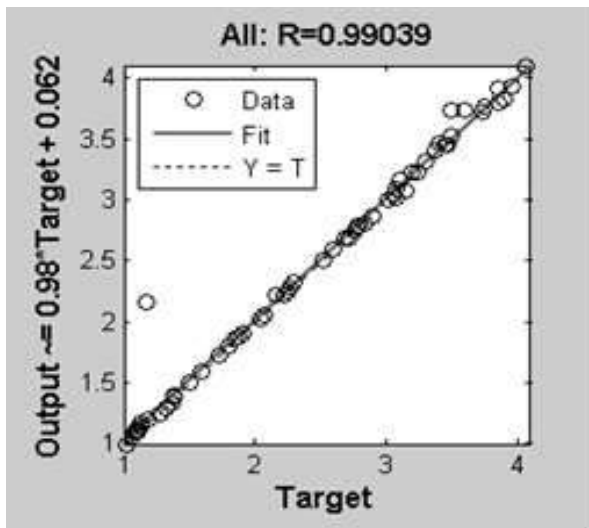


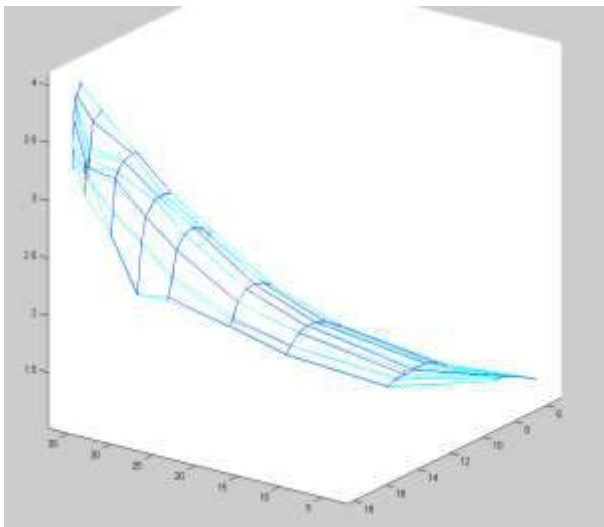
Рис.5. Структура выходного слоя НС

График сравнения результатов запуска обученной нейронной сети и целевых значений выходной переменной представлен на рис. 6. Из графика видно, что достигнута удовлетворительная точность аппроксимации.



**Рис.6. Результаты анализа точности аппроксимации**

Для визуального представления результатов аппроксимации характеристики КНД с помощью нейронной сети средствами пакета Matlab были построены поверхности характеристики компрессора по точным значениям экспериментальных данных, по значениям, аппроксимированным нейронной сетью, а также разница между ними (рис.7).



**Рис.7. Характеристика компрессора низкого давления в трехмерном пространстве (точная и аппроксимированная)**

Средства пакета NNTool позволяют сохранять обученную нейронную сеть в .mat-файле и в дальнейшем импортировать её в программы на языках C++ и C#.

#### 4. Заключение

Использование обученной нейронной сети позволяет значительно сократить время определения параметров компрессора в работающей

имитационной модели ГТД и сохранить требуемую точность вычисления характеристик работы компрессора, при условии, что вычисления этой нейросетевой модели будут выполняться на базе нейрокompьютера.

#### Список используемых источников

1. Васильев В.И., Валеев С.С., Шилоносков А.А. К выбору структуры нейрорегулятора в системе управления динамическим объектом // Нейрокompьютеры: разработка, применение. 2001. № 4-5. С. 25.

2. Васильев В.И., Валеев С.С., Шилоносков А.А., Каримов И.А. Применение нейросетевых моделей реального времени в системах управления ГТД. // Научная сессия Московского инженерно-физического института. 2000. С. 236.

3. Валеев С.С., Васильев В.И., Ильясов Б.Г. Отказоустойчивые системы управления сложными динамическими объектами с использованием искусственных нейронных сетей, Нейрокompьютеры: разработка, применение. 2000. № 1. С. 32.

5. Ковтуненко А.С., Валеев С.С., Масленников В.А. Многоагентная платформа распределенной обработки данных реального времени // Естественные и технические науки. 2013. № 2 (64). С. 311-313.

6. Валеев С.С. Информационные технологии big data в авиации .В сборнике: Информационные технологии интеллектуальной поддержки принятия решений // Proc/ of the 2nd International Conference "Information Technologies for Intelligent Decision Making Support" and the Intended International Workshop "Robots and Robotic Systems", Ufa, Russia, 2014. P. 150-152.

7. Загитова А.И. Гибридная вычислительная система и специализированный программный комплекс // Мавлютовские чтения: материалы X ВМНК / УГАТУ. - Уфа: РИК УГАТУ, 2016. - 1 электрон. опт. диск. - С.1772-1774. (дата обращения 17.03.2017).

8. Валеев С.С., Загитова А.И., Кондратьева Н.В. Программный комплекс моделирования сложных динамических объектов // «Проблемы техники и технологий телекоммуникаций (ПТиТТ-2016)»: Материалы XVII Международной научно-технической конференции (г. Самара, 22-24 ноября 2016 г.). – Казань: ООО «16ПРИНТ», 2016. – С. 525-526.



# Организация интеллектуальной поддержки принятия решений при проектировании транспортно-пересадочного узла

А.А. Литвинова  
Институт авиационной техники  
Самарский Университет  
Самара, Россия  
e-mail: [a.litvinova95@mail.ru](mailto:a.litvinova95@mail.ru)

О.Н. Сапрыкин  
Институт авиационной техники  
Самарский Университет  
Самара, Россия  
e-mail: [saprykin@gmail.com](mailto:saprykin@gmail.com)

## Аннотация<sup>1</sup>

Объектом исследования является транспортно-пересадочный узел, необходимый для оптимизации процессов пассажирских перевозок. В качестве метода принятия управленческих решений для создания транспортно-пересадочного узла рассматривается имитационное моделирование. Приводятся различные возможности при разработке моделей в среде имитационного моделирования AnyLogic. Для моделирования общественного транспорта применяется программа микроскопического моделирования SUMO. Каждый транспортно-пересадочный узел имеет уникальную планировку и требует построения отдельной модели, что предложено сделать в городе Самара, на пересечении проспекта Карла Маркса с железнодорожными путями в районе платформы «Дачная». Моделирование в программах SUMO и AnyLogic позволит разработать оптимальное решение для улучшения качества обслуживания населения и работы общественного транспорта.

## 1. Введение

В современных условиях в связи с ростом количества жителей, городской агломерации, уровня автомобилизации и подвижности населения, существующие объекты транспортной системы не справляются с нагрузками. В связи с этим появляется необходимость развития транспортной инфраструктуры, где приоритетной задачей является грамотно спланированное пересечение различных видов транспорта и реконструкция планировочных решений пассажирских терминалов. Для оптимизации перевозочного процесса и улучшения транспортной доступности необходимо

---

Труды пятой всероссийской конференции "Информационные технологии интеллектуальной поддержки принятия решений", 16 - 19 мая, Уфа, Россия, 2017

строительство новых и оптимизация существующих транспортно-пересадочных узлов, как ключевых элементов транспортной инфраструктуры.

Транспортно-пересадочный узел (ТПУ) — пассажирский комплекс, узловой элемент планировочной структуры города транспортно-общественного назначения, формируется при взаимодействии двух и более видов общественного городского транспорта, для обеспечения комфортного пересадочного процесса и оптимизации перевозки [1].

При проектировании ТПУ необходимо рассмотреть факторы, влияющие на его работу [2]:

- присутствие различных групп населения;
- стохастическое поведение пешеходов;
- нештатные ситуации;
- неравномерность пассажиропотока.

Оценить влияние этих факторов в реально действующем ТПУ, как правило, затруднительно, так как для создания прототипа требуются значительные финансовые затраты. Но это можно сделать, создав имитационную модель, которая позволит минимизировать производственные и финансовые риски.

В данной работе предполагается улучшение транспортной инфраструктуры в городе Самара, путем решения следующих задач:

- моделирование транспортно-пересадочного узла, для улучшения транспортной доступности и безопасности пассажиров;
- моделирование транспортных потоков, общественного транспорта, для оптимизации перевозочного процесса.

Объединив моделирование ТПУ и общественного транспорта необходимо решить комплексную задачу, которая состоит в разработке оптимального маршрута общественного транспорта проходящего

через ТПУ. В качестве метода принятия управленческих решений для развития транспортной инфраструктуры применяется имитационное моделирование.

Процессы моделирования транспортных потоков интересуют людей на протяжении многих десятилетий. К настоящему времени издано много работ, описывающих различные методы моделирования транспортных потоков. К примеру, данная проблема детально изучена В.И. Швецовым. В его статье «Моделирование транспортных потоков в крупном городе» [3], представлена комплексная модель транспортной системы, предназначенная для прогнозирования транспортных и пассажирских потоков. Исходными данными являются данные подвижности населения. Прогноз передвижений осуществляется путем расчета матриц корреспонденций между районами города. При расчете корреспонденций используется критерий оценки путей, на основании которого пользователь оценивает альтернативные пути и способы передвижения. Для моделирования загрузки улично-дорожной сети применяется метод равновесного распределения потоков.

Освещая данную проблему, можно отметить работы М.Р. Якимова, который рассматривает метод имитационного моделирования транспортных процессов. В его статьях подробно изложены алгоритмы расчета, подходы и методы учета технических характеристик автомобилей и транспортного потока в процессе имитационного моделирования. Приводятся способы наблюдения и учета психофизиологических параметров поведения водителей при движении в городском транспортном потоке. Даны практические рекомендации по применению результатов расчетов, подходов и методов наблюдения в процессе имитационного моделирования [4].

## 2. Имитационное моделирование

Модель – это специально созданный искусственный объект, на котором воспроизводятся определенные характеристики исследуемого объекта с целью его изучения. Процесс создания модели называется моделированием. Главная задача всех моделей – исследовать объект в будущем, когда моделируемого объекта еще нет, либо создать условия, в которых этот объект еще не был [5].

Имитационное моделирование позволяет создать модель, которая максимально точно описывает процессы, проходящие в реальной системе. Смоделировав различные вероятностные события функционирования ТПУ можно проводить испытания с еще не построенным объектом. Например, проверка работы проектируемого ТПУ в различных нештатных ситуациях, оценка пропускной способности ТПУ. После проведения экспериментов над проектируемым объектом возможно выявление ряда неэффективных проектных решений.

Проведение испытаний над имитационной моделью имеет ряд преимуществ [6]:

- время (минимальная затрата времени на проведение экспериментов с моделью);
- стоимость (минимальные затраты, состоящие из стоимости ПО и работы);
- точность (процессы системы описываются в естественном виде);
- наглядность (возможность визуального восприятия процесса работы моделируемой системы);
- повторяемость (возможность проведения неограниченного количества испытаний);
- универсальность (возможность использования моделирования во всех областях).

## 3. Моделирование в AnyLogic и SUMO

При моделировании в профессиональном инструменте имитационного моделирования AnyLogic можно проанализировать площадь моделируемого объекта, определить участки с наибольшей концентрацией людей, с помощью карты плотности пассажиропотока, изображенной на рисунке 1.

На карте плотности пассажиропотока с помощью цветовой индикации отражается количество людей, находящихся в заданном квадратном метре исследуемой площади [2].

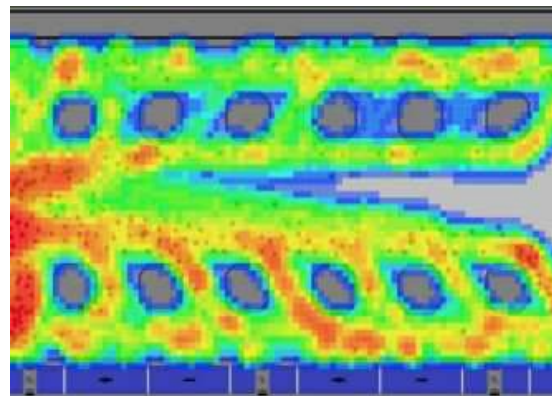


Рис. 1. Карта плотности [2]

Имитационное моделирование позволяет проверить работу проектируемого объекта при нештатных и случайных ситуациях. Моделирование чрезвычайных ситуаций (ЧС) позволяет безболезненно оценить все возможные варианты развития ситуации при опасном явлении, катастрофе, аварии на участках наибольшего скопления людей [6].

В результате моделирования ЧС возможен следующий перечень решений:

- разработка сценариев и оптимизация пешеходных потоков при ЧС;

- оценка пропускной способности проектируемого объекта;
- реконструкция существующего планировочного решения с учетом моделирования ЧС.

При моделировании в SUMO городского пассажирского транспорта задаются маршруты и расписание движения общественного транспорта.

Исходными данными для моделирования общественного транспорта являются данные о загруженности транспортно-пересадочного узла, подвижности населения, т.е. количестве передвижений, совершаемых жителями, с различными целями в течение какого-либо времени (день, неделя, год) [7]. Также необходимо знать размещение в плече города объектов посещения (место работы, учебы, объекты развлекательного характера и т.д.) [3].

#### 4. Самара

В городе Самара планируется строительство магистрали «Центральной», что подразумевает реконструкцию проспекта Карла Маркса, а именно участок от пересечения с проспектом Кирова до границы Самары.

Строительство магистрали является одной из главных задач для города, так как трасса проходит почти через весь город и является выездом из него. В первую очередь для строительства магистрали потребуется расчистка всех расположенных на данной территории объектов и переустройство инженерных коммуникаций.

Автомобильная дорога на участке от проспекта Кирова до железнодорожной платформы «Дачная»

будет иметь две отдельные по направлениям движения проезжие части, которые предусматривают размещение выделенной полосы для движения общественного транспорта шириной 4м. и двух полос для общего пользования шириной 3м с доступом к парковочной полосе. Поэтому, для минимизации конфликтных ситуаций на дороге, полосу движения общественного транспорта предусмотрено разместить слева, с возможной перестройкой под рельсовый транспорт. Остановки общественного транспорта предусмотрено разметить между полосами движения. Также планируется благоустройство трассы путем размещения велосипедных дорожек, тротуаров, полос насаждения.

Особое внимание можно уделить участку пересечения проспекта Карла Маркса с путями Куйбышевской железной дороги (рисунок 2). Планируется двухуровневая развязка, где на нижнем уровне будет запущен основной поток транспорта по путепроводу тоннельного типа, а на верхнем платформе Дачная и обустройство кольца для подъезда транспорта к ней. Также на верхнем уровне планируется обустроить конечные остановки общественного транспорта [8].

Данный участок стыковки наземного и железнодорожного общественного транспорта очень перспективный для размещения на нем транспортно-пересадочного узла. Поэтому было принято решение разработать имитационную модель данного транспортного объекта в профессиональном инструменте имитационного моделирования AnyLogic.



**Рис. 2. Пересечение проспекта Карла Маркса с железнодорожными путями в районе платформы «Дачная» [8]**

Помимо моделирования ТПУ, на данный момент в программе микроскопического моделирования SUMO моделируется общественный транспорт. Для

этих целей в программу была загружена карта Самары (рис. 3) и внесены маршруты общественного транспорта.

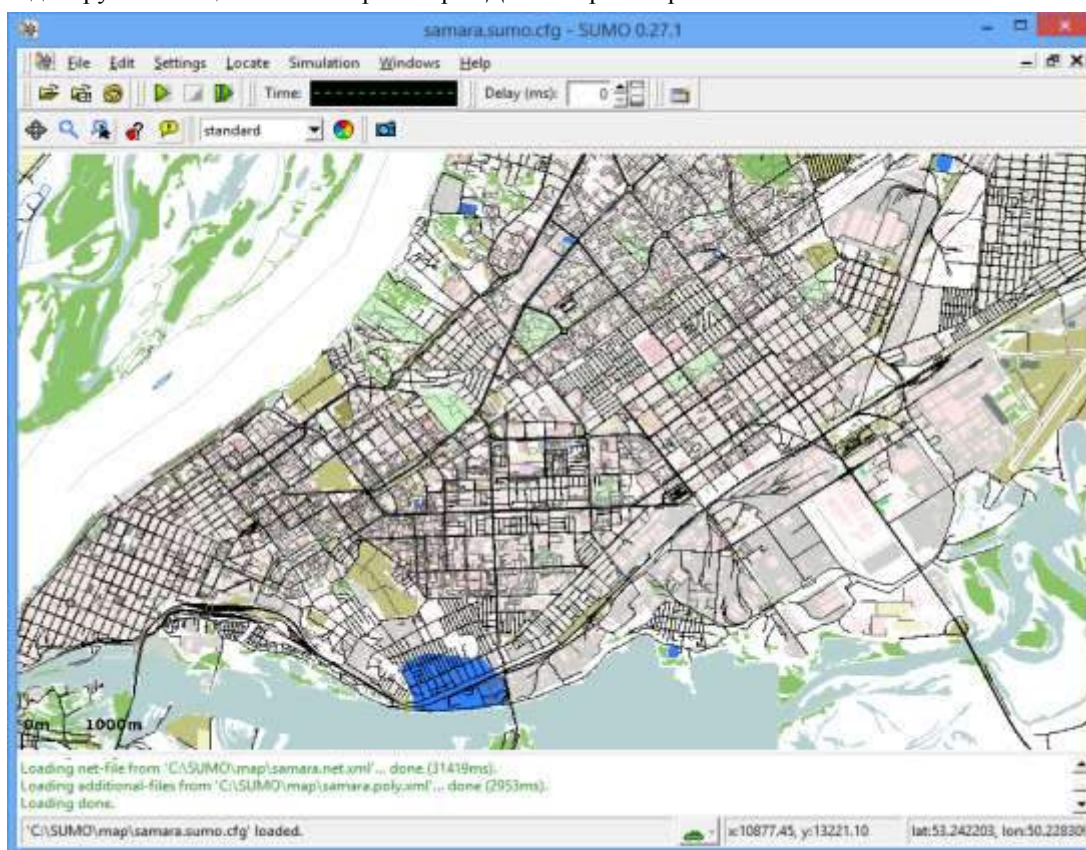


Рис. 3. Модель г. Самара в системе моделирования SUMO

## 5. Заключение

Таким образом, в настоящее время моделирование является неотъемлемой частью при решении задач анализа сложных процессов. Созданная имитационная модель позволит оценить, как влияет возведение ТПУ на транспортные потоки в городе, какой объем населения будет проходить через транспортный объект и какие маршруты общественного транспорта необходимо провести через него.

### Список используемых источников

1. Азаренкова З.В. Планировочная организация транспортно-пересадочных узлов/ З.В. Азаренкова //Academia. Архитектура и строительство. -2011. – Вып. 1.– С. 76–80.
2. Моделирование транспортных систем [Электронный ресурс] // ИТС Консалтинг. URL:<http://www.itscase.ru/competence/model.php> (дата обращения: 16.03.2017).
3. Алиев А.С. Моделирование транспортных потоков в крупном городе с применением к московской агломерации/ А. С. Алиев, А. И. Стрельников, В. И. Швецов, Ю. З. Шершевский //Автомат. и телемех. -2005. – Вып. 11.– С. 113–125.
4. Якимов М.Р. Транспортное планирование. Особенности моделирования транспортных потоков в крупных российских городах: монография / М.Р. Якимов, А.А. Арепьева. – М: Логос, 2016. – 280 с.
5. Якимов М.Р. Транспортное планирование: создание транспортных моделей городов: монография / М.Р. Якимов. – М.: Логос, 2013. – 188 с.
6. Материалы официального сайта AnyLogic. [Электронный ресурс] URL: <http://www.anylogic.ru> (дата обращения: 17.03.2017).
7. Сапрыкин, О.Н. Выделение транспортных районов на улично-дорожной сети города для построения микроскопической модели транспортных потоков / О.Н. Сапрыкин, Е.Р. Майоров, Л.А. Уварова // Перспективные информационные технологии (ПИТ 2017) труды Международной научно-технической конференции / под ред. С.А. Прохорова. – Самара: Издательство Самарского научного центра РАН, 2017. – С. 704-707.
8. Визуализация проекта реконструкции пр. Карла Маркса [Электронный ресурс] URL: <http://taburent.ru/vizualizaciya-proekta-rekonstrukcii-pr-karla-marksa> (дата обращения: 16.03.2017).

# Разработка системы управления инерционным технологическим параметром по безынерционной модели

Е.А. Муравьева  
Филиал ФГБОУ ВО «Уфимский  
государственный нефтяной технический  
университет» в г. Стерлитамаке,  
Стерлитамак, Россия  
e-mail: muraveva\_ea@mail.ru

К.А. Соловьев  
ООО «Газпром нефтехим Салават»  
Салават, Россия  
e-mail: vecarc@mail.ru

Е.С. Григорьев  
Филиал ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет»  
в г. Стерлитамаке,  
Стерлитамак, Россия  
e-mail: gorynychzmev02@mail.ru

## Аннотация<sup>1</sup>

В статье разработана система управления давлением в конденсаторе-испарителе по математической модели объекта управления. Предлагается использование такой модели для управления инерционными технологическими параметрами. Данная система позволяет точно регулировать инерционные параметры, путем прогнозирования будущего состояния объекта управления по его математической модели.

В этой системе текущее состояние объекта управления подается на нечеткий регулятор, а тот в свою очередь, подбирает управляющие воздействия. Состояние объекта управления передается на модель, она прогнозирует изменение параметра и подает его будущее значение на нечеткий регулятор для корректировки управляющих воздействий.

## 1. Введение

Нечеткий регулятор (НР) активно используется для управления технологическими процессами [6, 8-15]. Широкое распространение получило использование НР в различных системах управления [16-17]. Предлагается использование НР в системе управления инерционным параметром по математической модели ОУ. Такая система может применяться для управления давлением в конденсаторе-испарителе. Конденсатор-испаритель представляет собой кожухотрубный аппарат. В его межтрубном пространстве кипит фреон, а в трубках конденсируется газообразный хлор. Основным

---

Труды пятой всероссийской конференции  
"Информационные технологии интеллектуальной  
поддержки принятия решений", 16 - 19 мая, Уфа,  
Россия, 2017

регулируемым инерционным параметром объекта управления является давление в конденсаторе-испарителе. Заметим, что его инерционность при росте обусловлена необходимостью существенного увеличения массы газа, которое требует длительного времени испарения фреона. Из-за неточностей регулирования давления в аппарате не удается добиться требуемой температуры жидкого хлора. Внедрение системы управления позволит строго регулировать давление в аппарате в любой момент времени. Существующее регулирование давления основано на передаче управляющего воздействия на объект управления с исполнительного устройства (клапана). Данная система не всегда позволяет строго регулировать параметры аппарата. Предлагается использование системы с обратной связью, при которой текущее состояние объекта управления, а также промоделированное будущее состояние давления по модели ОУ будут подаваться на НР для формирования управляющих воздействий.

## 2. Описание конденсатора-испарителя

Конденсатор-испаритель является составной частью фреоновой компрессорной установки. Он предназначен для конденсации газообразного хлора. Испаритель-конденсатор представляет собой кожухотрубный аппарат, состоящий из кожуха, трубных решеток и трубного пучка. В межтрубном пространстве кипит жидкий фреон. В трубках конденсируется газообразный хлор.

Уровень жидкого фреона в конденсаторе-испарителе поддерживается клапаном за счет подачи жидкого фреона от переохладителя.

Давление фреона регулируется клапаном, установленным на всасе компрессора.

Место конденсатора-испарителя в технологической схеме компрессорной установки представлено на рисунке 1.

Давление в конденсаторе-испарителе регулируется для изменения температуры конденсируемого продукта (хлора). Из-за неточностей регулирования давления, зачастую не удается получить сжиженный хлор заданной температуры, потому что изменяется температура кипения фреона.

Для реализации вышеописанной системы управления разработаем нечеткий регулятор для управления конденсатором-испарителем и модель ОУ.

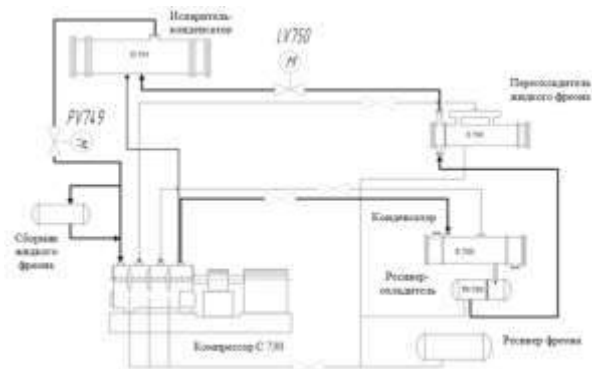


Рис. 1. Технологическая схема компрессорной установки

### 3. Концептуальная модель НР

Регулируемыми параметрами НР являются степени открытия клапанов LV-750 и PV-749, которые отвечают соответственно за уровень и давление в конденсаторе-испарителе.

Разработаем регулятор для этих переменных.

На вход нечеткого регулятора подаются:

1 температура хлора  $T$ , идущего в аппарат,  $[-16 \div 16]$  °С;

2 уровня фреона  $L$  в конденсаторе  $[0 \div 100]$  %;

3 давление в конденсаторе-испарителе,  $[0 \div 2]$  кгс/см<sup>2</sup>;

4 давление в конденсаторе-испарителе через заданное количество точек,  $[0 \div 2]$  кгс/см<sup>2</sup>.

Выходными переменными регулятора являются степени открытия клапанов LV-750 и PV-749 в процентах, с помощью первого осуществляется регулирование уровня фреона в конденсаторе-испарителе, а второй регулирует давление в нем.

На рисунке 2 представлена концептуальная модель нечеткого регулятора для управления регулирующими клапанами.

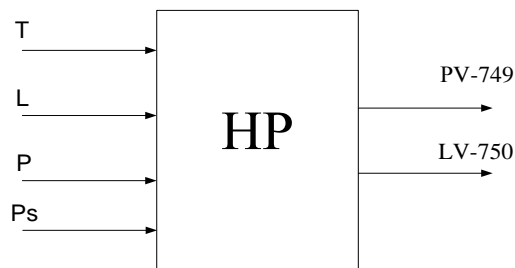


Рис. 2. Концептуальная модель нечеткого регулятора

$T$  – входная переменная температуры хлора;  $L$  – входная переменная уровня фреона  $P$  – текущее давление в аппарате;  $Ps$  – моделируемое значение давления;

PV-749 – выходная переменная, характеризующая степень открытия клапана для регулирования давления в аппарате,

LV-750 – выходная переменная, характеризующая степень открытия клапана для регулирования уровня фреона в аппарате

### 4. Математическая модель НР

Уравнения для определения параметров конденсатора-испарителя представлены на рисунке 3.

$$dL(p) := Lf(p) \cdot \frac{(Gf \cdot a1)}{Vf} - \text{Visp}(p)$$

$$dTf(p) := \frac{-\text{Visp}(p) \cdot \text{pof}(p_3, p_2) \cdot Cisp + (Tatm - p_3) \cdot Tp + (p_4 - p_3) \cdot \text{alfa} \cdot S1}{Cpf(p, 0) + Cp} + \frac{p_3 \cdot Cpf(p, 0) + Tf \cdot Cpf(Tf) \cdot Gf \cdot a1 \cdot \text{pof}(Tf, Pf) + p_3 \cdot Cp}{Cpf(p, Gf \cdot a1 \cdot \text{pof}(Tf, Pf)) + Cp} - p_3$$

$$dP(p) := \left[ \frac{(p_2 + 101325) \cdot (100 - p_1)}{100 - \left[ p_1 + Lf(p) \cdot \frac{(Gf \cdot a1)}{Vf} - \text{Visp}(p) \right]} - p_2 - 101325 \right] +$$

$$R \cdot \frac{(273.15 + p_3) \cdot \frac{\text{Visp}(p) \cdot \text{pof}(p_3, p_2) \cdot 1000}{Mf}}{Vf} + \frac{(p_2 + 101325) \cdot dTf(p)}{273.15 + p_3} - (p_2 - Pf) \cdot \frac{a2}{100} \cdot k2$$

$$dTf(p) := \frac{-(p_4 - p_3) \cdot \text{alfa} \cdot S1 + Gcond(p) \cdot Ccond(p_4) \cdot Vhg(p) \cdot (p_4 - Th1)}{Cpgh \cdot \frac{(Ph + 101325) \cdot Vh}{R \cdot (273.15 + p_4)}} - \frac{Vhg(p) \cdot (p_4 - Th1)}{Vh - Vhg(p)}$$

Рис. 3. Математическая модель конденсатора-испарителя

В этих уравнениях [1-5, 7]

- $dL(p)$  – уровень жидкого фреона в конденсаторе-испарителе, %;
- $dTf(p)$  – температура фреона в конденсаторе-испарителе, °С;
- $dP(p)$  – давление паров фреона в конденсаторе-испарителе, Па;
- $dTf(p)$  – температура хлора в конденсаторе-испарителе, °С;

- $G_f$  – Расход жидкого фреона на конденсатор-испаритель, м<sup>3</sup>/с;
- $a_1$  – Степень открытия клапана на подачу жидкого фреона, %;
- $a_2$  – Степень открытия клапана на выход паров фреона, %;
- $G_r$  – Расход газообразного хлора на конденсатор-испаритель, м<sup>3</sup>/с;
- $R$  – Универсальная газовая постоянная, Дж/(моль·К);
- $V_f$  – Объем межтрубного пространства конденсатора-испарителя, м<sup>3</sup>;
- $k_1$  – Коэффициент диффузии фреона;
- $M_f$  – Молярная масса фреона, кг/моль;
- $b_f$  – Коэффициент сжатия фреона;
- $C_{isp}$  – Теплота конденсации хлора, Дж/кг;
- $T_{f1}$  – Температура жидкого фреона на вход в конденсатор-испаритель, °С;
- $P_{f1}$  – Давление жидкого фреона на вход в конденсатор-испаритель, Па;
- $P_{f2}$  – Давление паров фреона перед компрессором, Па;
- $C_p$  – Теплоемкость стенок аппарата, Дж/(кг·К);
- $k_2$  – Пропускная способность штуцера фреона из аппарата;
- $T_{atm}$  – Температура окружающего воздуха, °С;
- $T_p$  – Теплотери при перепаде в 1 °С, Дж/(К);
- $S_1$  – Площадь теплопередачи от фреона к хлору, м<sup>2</sup>;
- $\alpha$  – Коэффициент теплопроводности, Дж/(м<sup>2</sup>·К);
- $T_{h1}$  – Температура хлора на вход в аппарат, °С;
- $V_h$  – Объем внутритрубного пространства, %;
- $P_h$  – Давление хлора в системе, Па;
- $k_3$  – Коэффициент диффузии хлора;
- $C_{onc}$  – Концентрация хлора в хлоргазе, %;
- $M_h$  – Молярная масса хлора, кг/моль.

#### 4. Система управления давлением паров фреона в конденсаторе-испарителе

Рассмотрим замкнутую систему управления. В этой системе текущее состояние объекта управления подается на нечеткий регулятор, а тот в свою очередь, подбирает управляющие воздействия. В данном случае – это степени открытия арматуры (рисунок 4). Состояние объекта управления

передается на математическую модель аппарата, она прогнозирует изменение давления и подает его будущее значение на нечеткий регулятор для корректировки управляющих воздействий.

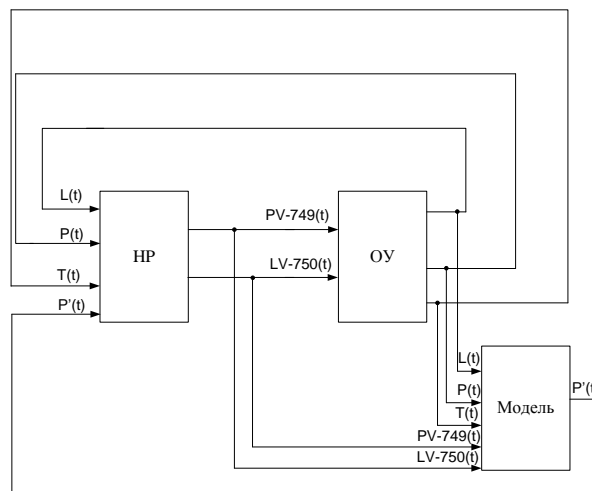


Рис. 4. Замкнутая система управления с нечетким регулятором

#### Заключение

- Разработана математическая модель конденсатора-испарителя. Модель описывает ключевые процессы в аппарате: испарение фреона, конденсация хлора, изменение уровня фреона и давления в аппарате. В основу модели положены уравнения, характеризующие вышеописанные процессы, что позволяет использовать ее для проектирования и расчета аппаратов теплопередачи через стенку с фазовыми переходами теплоносителей различных характеристик.
- Разработана система управления давлением в конденсаторе-испарителе по математической модели объекта управления. Нечеткий регулятор может использоваться в системе управления инерционным технологическим параметром по безынерционной модели.

#### Список используемых источников

1. Зависимость температуры кипения фреонов от давления [Электронный ресурс] – URL: <http://www.xiron.ru/content/view/10/27/> (дата обращения: 05.03.2017).
2. Теплопроводность, теплоемкость, свойства фреона [Электронный ресурс] – URL: <http://thermalinfo.ru/svoystva-gazov/organicheskie-gazy/teploprovodnost-teploemkost-svoystva-freona-22> (дата обращения: 05.03.2017).
3. Зависимость температуры насыщения фреона от давления [Электронный ресурс] – URL: <https://masterxoloda.ru/4/zavisimost-temperatury-nasyshheniya-freona-ot-davleniya> (дата обращения: 05.03.2017).

4. Сжижение хлора[Электронный ресурс] – URL: <http://chem21.info/info/149269/> (дата обращения: 05.03.2017).
5. Глинка Н.Л. Общая химия / Учебное пособие для вузов – 27-е изд., стереотипное – Л.: Химия, 1988., – 704с.
6. Синтез нечеткого регулятора с заданной многомерной статической характеристикой / Е. А. Муравьева, К. А. Соловьев, Р. Г. Султанов, О. И. Соловьева // Нефтегазовое дело: электрон. науч. журн./УГНТУ. 2015. № 1. С. 245-260. URL: [http://ogbus.ru/issues/1\\_2015/ogbus\\_1\\_2015\\_p\\_245-260. Muraveva E. A.,\\_ru.pdf](http://ogbus.ru/issues/1_2015/ogbus_1_2015_p_245-260. Muraveva E. A.,_ru.pdf)
7. Кипер Р.А. Свойства веществ: Справочник. - Хабаровск, 2009 - 387 с.
8. Нечеткий регулятор с двойной базой продукционных правил / К. А. Соловьев, Е. А. Муравьева, Р.Г. Султанов, Т. И. Хакимов // Интеграция науки и образования в вузах нефтегазового профиля - 2016: материалы междунар. науч.-метод. конф., посвящ. 60-летию ф-ла УГНТУ в г. Салавате. Салават, 2016. С. 374-377.
9. Нечеткий регулятор второго порядка / К. А. Соловьев, Е.А. Муравьева, П. Н. Чариков, М. И. Шарипов // Information Technologies for Intelligent Decision Making Support ITIDS'2015 Proceedings of the 3rd International Conference. General Chair Woman: Yusupova Nafisa. 2015, pp. 26-30.
10. Соловьев К. А., Муравьева Е. А. Эталонная модель для системы управления технологическим процессом на базе нечеткого регулятора второго порядка // Современные проблемы науки и образования в техн. вузе: сб. материалов II междунар. науч.-практ. конф. Стерлитамак, 2015. С. 61-66.
11. Соловьев К. А., Муравьева Е. А. Синтез эталонной модели для системы управления технологическим процессом на базе нечеткого регулятора второго порядка // Авиакосмическое приборостроение. 2015. № 10. С. 42-46.
12. Синтез нечеткого регулятора для управления соотношением расходов «газ - воздух» на основе режимной карты / К. А. Соловьев, Е. А. Муравьева, Р. Г. Султанов, О. И. Соловьева // Нефтегазовое дело: электрон. науч. журн./УГНТУ. 2015. № 1. С. 275-291. URL: [http://ogbus.ru/issues/1\\_2015/ogbus\\_1\\_2015\\_p\\_275-291 Solovyov K.A.,\\_ru.pdf](http://ogbus.ru/issues/1_2015/ogbus_1_2015_p_275-291 Solovyov K.A.,_ru.pdf)
13. Соловьев К. А., Муравьева Е. А., Султанов Р. Г. Адаптация нечеткого регулятора // Нефтегазовое дело: науч.-техн. журн./ УГНТУ. 2014. Т.12, № 3. С. 123-128. URL: <http://ngdelo.ru/article/view/1727>
14. Каяшев А. И., Муравьева Е. А., Габитов Р. Ф. Четкий логический регулятор для управления технологическими процессами: пат. на изобретение RUS 2445669 15.02.2010.
15. Патент на полезную модель Российской Федерации 167890 RU Нечеткий регулятор с двойной базой правил/ заявлено:16.12.2015/ опубликовано: 21.01.17 Бюл. № 2./ К. А. Соловьев, А. С. Надршин, М. Г. Баширов, Р. Г. Султанов, О.И. Соловьева, Е. А. Муравьева, К.А. Крышко, И.М. Гареев.
16. Куленко М.С, Буренин С.В. Исследование применения нечетких регуляторов в системах управления технологическими процессами // «Вестник ИГЭУ» Вып. 2 2010 г. С. 1-5.
17. Ни Зо Использование нечетких регуляторов в системах управления технологическими процессами при производстве полупроводниковых микросхем // Автоматизация и управление в технических системах. – 2012. – № 2; URL: [auts.esrae.ru/2-18](http://auts.esrae.ru/2-18) (дата обращения: 15.03.2017).



# Влияние нечеткого регулятора на повышение точности позиционирования и быстродействия систем адаптивного управления многосвязными приводами

З.М. Хасанов  
Факультет АВИАЭТ  
Уфимский государственный авиационный  
технический университет  
Уфа, Россия  
e-mail: zimfirm@list.ru

Н.В. Хасанова  
Факультет информатики робототехники  
Уфимский государственный авиационный  
технический университет  
Уфа, Россия  
e-mail: natalia@tc.ugatu.ac.ru

О.З. Хасанов  
Институт авиационно-технологических систем  
Уфимский государственный авиационный технический университет  
Уфа, Россия  
e-mail: [legnix@mail.ru](mailto:legnix@mail.ru)

## Аннотация<sup>1</sup>

Рассмотрена задача синтеза нечеткого регулятора для адаптивного цифрового управления положением и скоростью перемещения каретки плазмотрона технологического оборудования электродугового плазменного нанесения покрытий (ТО ЭПНП) относительно обрабатываемой детали. Предлагается использовать несимметричную базу правил, условно состоящей из двух подсистем, отличающихся по принципу формирования управляющего воздействия в зависимости от динамики движения каретки плазмотрона ТО ЭПНП. Так, в направление движения каретки, когда наносится напыляемый слой покрытия, применяется цифровые алгоритмы оптимального и адаптивного управления, а для противоположного направления принцип и алгоритмы стартстопного оптимального управления по быстродействию. Для оценки вектора входной переменной регулятора или ошибки по положению применяется нестационарный фильтр Кальмана, для идентификации – адаптивная модель, или циклический фильтр Кальмана. Это позволяет избежать состояния колебательности положения каретки плазмотрона во всех режимах работы электроприводов ТО ЭПНП. Результаты оценки и моделирования адаптивной САУ на базе нечеткой логики показывают высокое качество

переходных процессов, как по быстродействию, так и по точности позиционирования, что позволяет рекомендовать предлагаемые принципы синтеза нечетких регуляторов для управления другими объектами, по принципу действия схожими с рассматриваемыми приводами.

## 1. Введение

Многие классические регуляторы не дают вполне оптимальное решение задачи адаптивного управления сложными многосвязными электроприводами (МЭП) ТО ЭПНП, поскольку не предоставляют возможности создания аналитических функций для многосвязных векторов управляющих воздействий при всех возможных состояниях объектов управления, что особенно критично при изменениях направления движения приводов. В таких случаях рационально прибегать к интеллектуальным алгоритмам на основе алгоритмов нечеткой логики и искусственных нейронных сетей, которые в общем определении обладают способностью к пониманию и обучению в отношении объекта управления, условий работы и возмущений внешней среды [1].

Нейронные сети представляют собой обучаемые динамические системы управления, оценивающие характеристики вход-выход. Нечеткие системы преобразуют наборы структурированных данных по объекту управления в требуемые управляющие воздействия. Нейронные и нечеткие системы имеют принципиальное преимущество перед классическими системами автоматического управления: для их реализации совершенно не требуется априорная математическая модель объекта управления [2].

---

Труды пятой всероссийской конференции  
"Информационные технологии интеллектуальной  
поддержки принятия решений", 16 - 19 мая, Уфа,  
Россия, 2017

Влияние нечеткого регулятора на повышение точности позиционирования и быстродействия систем адаптивного управления многосвязными приводами

Доказано, что одним из недостатков алгоритмов нейронного управления является необходимость предварительного обучения и обоснованный выбор структуры модели и параметров обучения. Как правило, затраты времени на вычисление нейро-сетевого алгоритма управления достаточно велики, однако алгоритм показывает лучшие характеристики слежения даже при наличии внешних возмущающих воздействий на САУ. Разумеется, для нечеткого регулятора также имеется ряд факторов и величин, которые требуют предварительного выбора, некоторые взаимосвязанные параметры могут быть определены только эвристически или методом проб и ошибок. Тем не менее, суммарные затраты времени на вычисление нечеткого алгоритма минимальны, поскольку в этих алгоритмах в основном используются логические операции и операции сравнения. Также нечеткий регулятор демонстрирует лучшую устойчивость к изменениям параметров объектов, обеспечивая малые флуктуации на выходе.

Действительно, одним из путей совершенствования характеристик МЭП ЭПНП является применение адаптивных методов и алгоритмов, основанных на теории нечеткой логики и теории управления сложными объектами, реализуемых на программируемых логических контроллерах. Разработка и внедрение таких методов в виде программного обеспечения, устанавливаемого на всех уровнях САУ, включая контроллеры, направленные на повышение быстродействия и точности всех систем управления. Подводя итог, можно заключить, что решить поставленную задачу управления МЭП в полной мере позволит и алгоритм нейронной сети и

алгоритм нечеткой логики. Фактически не существует подробных рекомендаций по выбору того или иного способа интеллектуального управления, поэтому в пользу большей простоты по принципам организации и функционированию, меньшей вычислительной сложности приоритет в реализации в данном случае отводится алгоритму нечеткой логики.

## 2. Синтез нечеткого регулятора МЭП

Степень сложности синтеза нечеткого регулятора определяется стабильностью и динамикой движения МЭП и степенью детерминированности окружающей среды, где работает ТО ЭПНП. Задача управления движениями МЭП в этом случае требует детальной «поточечной» информации обо всех геометрических характеристиках многосвязных движений приводов относительно вращающейся детали напыления. В настоящее время эта задача решена с помощью разработанных авторами систем бездатчикового управления многосвязными вентильными двигателями на базе многосвязных регуляторов нечеткой логики и систем технического зрения.

Целью синтеза многосвязных цифровых регуляторов с нечеткой логикой является обеспечение высокого быстродействия и точности управления в алгоритмах позиционирования и программного движения с заданной скоростью или ускорением многосвязных объектов управления. Упрощенная схема САУ электроприводом с нечетким регулятором (НР) представлена в виде функциональной схемы (рис. 1).

На вход НР (рис. 1) подаются ошибка по скорости  $e(\omega)$  и проинтегрированное значение ошибки  $\dot{e}(\omega)$ .

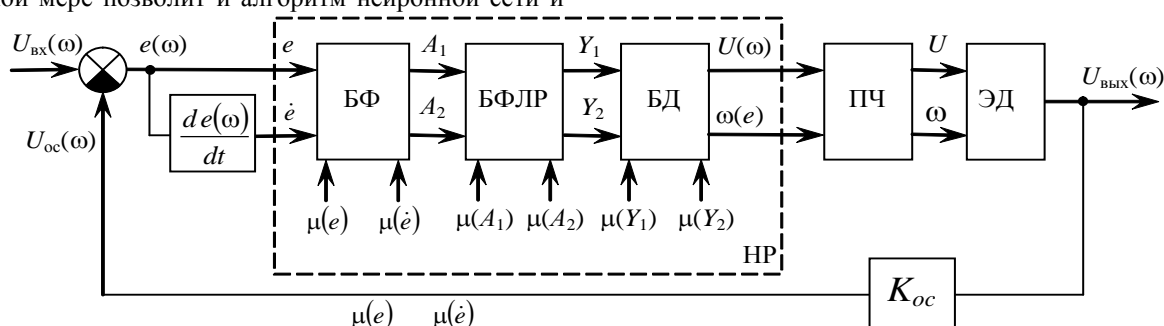


Рис. 1. Функциональная схема адаптивной САУ с нечетким регулятором

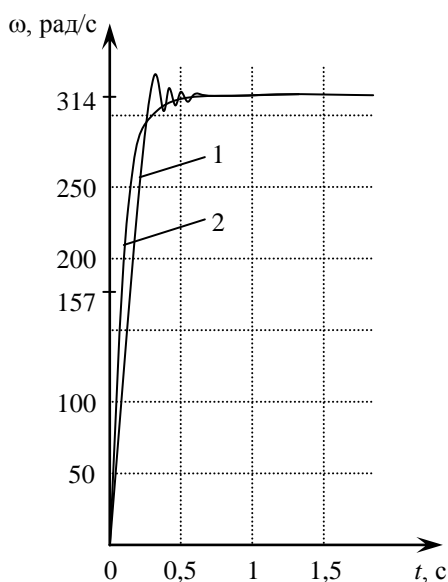
Блок фазификации (БФ) преобразует  $e(\omega)$  и  $\dot{e}(\omega)$  в соответствии функциями принадлежности  $\mu(e)$  и  $\mu(\dot{e})$  к терм-множествам  $A(e)$  и  $A(\dot{e})$ . Далее в блоке формирования логического решения (БФЛР) терм-множества  $A(e)$  и  $A(\dot{e})$  в преобразуются выходные терм-множества  $Y(e)$  и  $Y(\dot{e})$ . Здесь для входных переменных были использованы кусочно-линейные функции принадлежности: треугольные, линейные S и Z образные. В блоке дефазификации (БД) эти переменные используются для получения нужных количественных значений выходных переменных нечеткого регулятора  $U^*(\omega)$  и  $\omega^*(e)$ . Оба сигнала

являются заданием для преобразователя частоты (ПЧ) вентильного электропривода.

На вход САУ с НР поступает  $U_{вх}(\omega)$  и сравнивается с приходящим по обратной связи сигналом о текущем состоянии вала ЭП  $U_{ос}(\omega)$ . Полученная ошибка  $e(\omega)$  приходит на один из входов нечеткого регулятора, а на второй его вход поступает производная сигнала ошибки  $\dot{e}(\omega)$ . На выходе НР формируются сигналы управления для преобразователя частоты (ПЧ). При выборе алгоритмов интеллектуального управления для многосвязных электроприводов (МЭП) в объеме классической теории был проведен сравнительный

анализ, где САУ с регуляторами на основе нейронных сетей сравниваются САУ с нечеткими регуляторами.

Назначение адаптивного НР состоит в подавлении упругих колебаний в механизмах электропривода во время разгона и торможения, что позволяет повысить добротность контура управления САУ, а значит и точность слежения примерно в 5 и более раз по сравнению с ее значением, достигаемым в рамках ПИ регулятора [3]. При разгоне с минимальной скоростью появляется перерегулирование с ПИ регулятором, в нечетком регуляторе скорости перерегулирование отсутствует и время переходного процесса меньше. Время восстановления скорости после торможения и разгона в САУ с нечетким регулятором почти в два раза меньше, чем в системе управления с классическим ПИ регулятором [4]. Переходные характеристики разгона электропривода с нечетким регулятором (1) и ПИ регулятором (2) в диапазоне времени  $0 \div 0,5$  сек. приведены на рис. 2.



**Рис. 2. Переходные характеристики разгона электропривода**

При описании базы правил алгоритмов управления НР каждому терму отдельной входной переменной соответствует своя функция принадлежности, которая представляет степень принадлежности каждого члена пространства выходных переменных НР заданному нечеткому множеству. При синтезе НР принята треугольная форма центральных термов и трапециевидная для граничных. Для входных сигналов НР были использованы кусочно-линейные функции принадлежности: треугольные, линейные S-образные и линейные Z-образные.

Основу синтеза нечетких алгоритмов управления НР составляет база знаний, формируемая в виде нечетких предикатных правил. Исходя из обозначенной цели синтеза НР, в качестве управляемых координат МЭП целесообразно определить все величины ошибок по

позиционированию, скорости разгона и торможения, которые совместно в динамике координат, скорости и ускорения исполнительных механизмов МЭП внесет в алгоритмы управления НР некоторый элемент предсказания поведения объектов регулирования. По принципу действия НР должен формировать силовой преобразователь соответствующего ЭП с алгоритмами управления. Предполагая возможность практической реализации САУ силовыми преобразователями на базе микроконтроллеров, рационально перейти на изменение адекватной скважности импульсов при ШИМ-управлении.

### 3. Заключение

Проведено исследование показателей качества переходных процессов в адаптивных САУ с нечетким регулятором и в адаптивных САУ с классическим ПИ регулятором.

Сравнительный анализ показывает, что адаптивная САУ с нечетким регулятором по динамическим показателям превосходит адаптивную САУ с ПИ регулятором. При разгоне и торможении время переходных процессов уменьшается в три раза (с 0,3 секунды до 0,1 секунды).

По показателю «перерегулирование» адаптивная САУ с НР превосходит адаптивную САУ с ПИ регулятором. Показатель перерегулирования от 2 % снижается до нуля у адаптивной системы управления с нечетким регулятором электропривода ТО ЭПП.

### Благодарности

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 16-08-00942.

### Список используемых источников

1. Круглов В.В. Нечеткая логика и искусственные нейронные сети / В.В. Круглов, М.И. Дли, Р.Ю. Голунов. – М.: Физматлит, 2001. – 201 с.
2. Хасанов З. М., Хасанов О. З. «Самонастраивающаяся информационно-управляющая система с моделью для динамического управления электроприводами в высокотемпературных технологических процессах». Автоматизация и современные технологии. 2008. № 12. С. 23–32.
3. Хасанов З.М., Хасанов О.З., Гузаиров Р.М. «Математическая модель движения многосвязных систем электроприводов для технологических процессов электродугового плазменного напыления». Мехатроника, автоматизация, управление. №2, Том. 16, 2015 г. С. 116–122.
4. Хасанов З.М., Якимович Б.А., Гузаиров Р.М. «Позиционно-адаптивное управление многосвязными электроприводами технологического оборудования электродугового плазменного напыления». Вестник Ижевского государственного технического университета, № 4, 2014 г. С. 41–49.

# К объективации организации как открытой, гибкой системы

В.Н. Жаринов

Московский институт государственного и корпоративного управления

Уфа, Россия

e-mail: [grafit-basis@yandex.ru](mailto:grafit-basis@yandex.ru)

## Аннотация<sup>1</sup>

В докладе определяются основные проблемы целостного моделирования организаций и предлагаются некоторые решения на качественном уровне формализации. Обсуждаются возможные формы графического представления моделей.

## 1. Введение

Разработка и документирование профессионального (в частности, образовательного) контента требует адекватных моделей предметик. При этом эффективная поддержка организации и ведения контента предполагает единую системную основу моделей, инвариантных к предмету. Такая основа обсуждалась в [1].

Любой контент объективно существует в языковой среде носителей некоего базиса языков представления предметик (проблемных областей). Эта среда м.б. структурирована на одну и более организаций (социотехнических, эргатических систем). Жизненный цикл контента реализуется во взаимодействии некоторой совокупности организаций, к деятельности которых он имеет отношение.

Семантика организации раскрывалась ранее. Автор полагает оправданным основываться на результатах Усова, предварительно изложенных в [2]; [3]. Исходя из них, концептуальная модель контента имеет смысл представления семантики организации в её предметике (уставной/фактической деятельности). Этот смысл инвариантен к конкретной предметике.

Эффективность работы с моделями также м.б. повышена их графическим представлением по выбору пользователя. Ранее в [4] были представлены примеры моделей в графической записи для уровня сети и отдельно взятой продукции; организация второй обсуждалась предварительно в [5], а оба уровня в общем — в [6, пп. 4.2, 4.3]. При этом не

раскрывалось моделирование во всём объёме, где процессы выступают лишь частью.

В данной статье будет предпринята попытка раскрытия содержания модели в целом и определены целесообразные решения по графическому моделированию, следующие из результатов.

Далее с учётом [1] будем говорить о *предписаниях*, подразделяемых на операторы преобразования предметов труда (в частности, информационных, данных) и на *директивы* размещения предметов у исполнителя.

## 2. Общие положения

Инвариантной основой моделирования, следуя Звереву, автор полагает понятия, связываемые отношениями. Можно определить следующие *рода организации моделей* как систем:

- 1 — понятие как элемент, отношение как связь;
- 2 — понятие как связь, отношение как элемент.

Что, по мнению автора, вполне иллюстрируется следующим:

*«... существуют две основные точки зрения, различающиеся ... по тому, что считать более важным: вещи или отношения между ними.»* [7, с. 45]

- где «вещи» надо понимать в смысле понятий в семиотике Зверева.

Очевидно, возможно дать обобщающую модель, из которой оба рода должны следовать как частные случаи (что выходит за рамки данной статьи).

Деятельность раскрывается в общем моделью труда через экономические категории. Что показано на схеме (см. Рис. 1) вместе со сжатой моделью организации конструктивно, как процесса. Где содержание передач раскрывается (группами), как принято для критических организаций в [8, Гл. 2, с. 69]

Отношения ЖЦ в целом, как результат прямого произведения категорий, развиты уже для сколь-нибудь серьёзной предметики, проблемы. Поэтому они раскрываются по частям, через различные проекции. Одна из возможных - модель оргсистемы как предприятия по Усову.

---

Труды пятой всероссийской конференции "Информационные технологии интеллектуальной поддержки принятия решений", 16 - 19 мая, Уфа, Россия, 2017

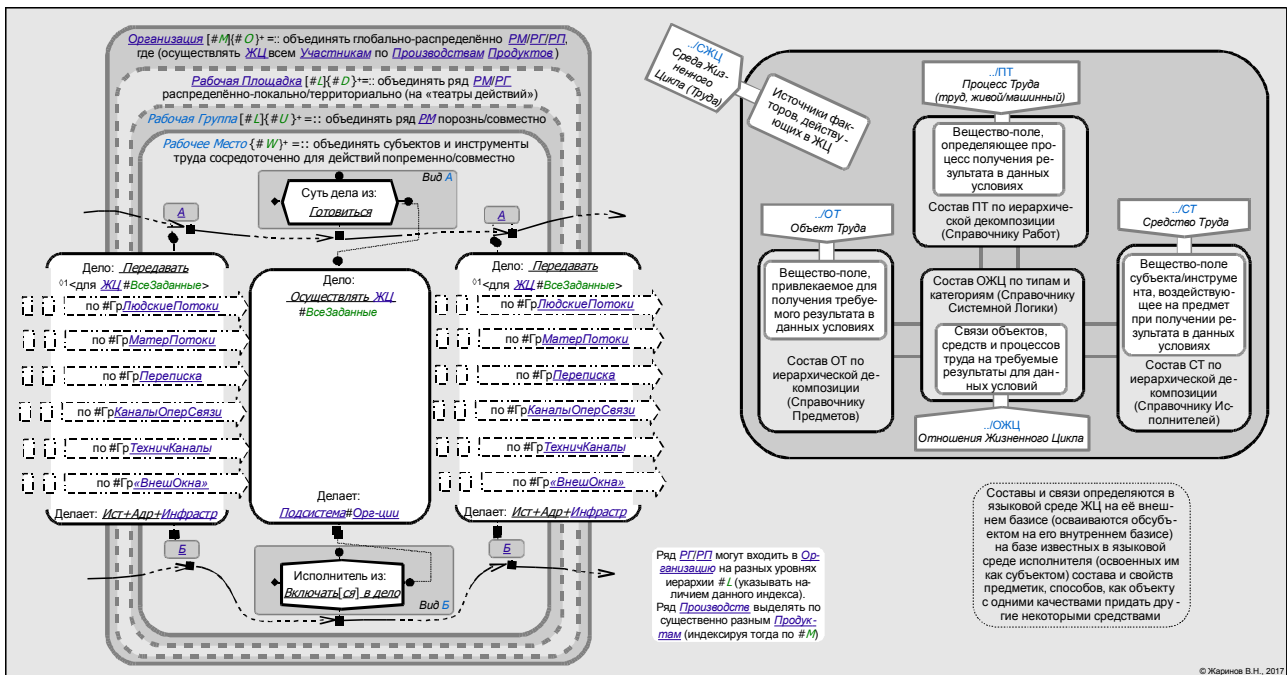


Рис. 1. Модель среды ЖЦ организации

Первичным подразделением проекций может служить род организации моделей. Этому в граф-моделях процессов соответствуют случаи моделей рода «технологической схемы» (1-го) и «сетевая графика» (2-го). Оба рассмотрены в [9], однако к.-л. результаты систематического сравнительного анализа этих родов автору не известны. Автор полагает корректным также считать их за «проекции» родов.

Далее следует выделить базисные отношения. Что сделано в [1, п. 2.1]. И определить сообразные формы их представления.

Главное — что такая модель должна описывать и закономерности построения частных моделей для конкретных условий. Предполагается, что это обеспечивается употреблением метаязыка для определения понятий, отношений, системизируемых в структуры, описывающие тот или иной предмет, его часть/аспект.

Данная модель для отражения детализации представлений о предметике должна раскрываться по своим составляющим. При этом представление о внешней среде отражается выделением её подкатегорий и определением соответствующих отношений. Заметим, что в модели можно единообразно отразить и любые внешние прообразы, в т.ч. не являющиеся внешними организациями; следует лишь отнести их роли, аспекты отношения к ЖЦ рассматриваемой организации к соответствующим категориям.

### 3. Базисные отношения

Прежде всего определим, как моделируется построение системы. Системно-логично определить отношения состава и взаимосвязи. За базисное примем отношение *агрегации* предмета построения из наличного состава других предметов, могущих служить агрегатами. Для отношений агрегации

естественным представлением должны служить деревья. Т.к. агрегация и предметов, и средств, и процессов труда иерархична. В то же время системирование не сводится только к организации состава. Между агрегированными предметами возникают *зависимости*, определяющие и порядок агрегации (и дезагрегации), и свойства образующегося предмета как целого (эмерджентность, синергию). Эти зависимости можно моделировать связями-«прошивками» на дереве агрегации. Т.о. образуется многосвязный граф (плексный, в пределе — полный), в котором выделяется остоное дерево состава.

Указанные отношения дают основу инфопредставления процесса и результата анализа/синтеза предмета. Принципиально, что каждой категории должно соответствовать единое дерево Справочника, если модель считается логически завершённой. Что соответствует организованности всех понятий в единую иерархию. Следует говорить о содержательной декомпозиции в два этапа (уровня): укрупнённо и детально. Первый должен определяться предметно-независимым подразделением категории на инвариантные подкатегории высших уровней, исходя из системного представления. Второй должен определяться отражающими предметную специфику вариантами (по «и/или»):

- тиражированием сущностей как экземпляров подкатегорного типа;
- дальнейшей декомпозицией подкатегорий (в терграфовом смысле — листов результирующего дерева по первому).

Результатам декомпозиции д.б. назначены модельные атрибуты, представляющие предметные свойства типов/экземпляров.

Деревья категорий образуют «лес», который и является собственно контентом, «творческой базой» в предметике и также — предметом разработки и документирования в среде поддержки ЖЦ контента (информационной поддержки предметики, ЖЦ изделий).

Практически следует допускать состояния логической незавершённости модели. В этом случае категория также не обязана моделироваться единым деревом. Её содержание может описываться также как «лес» отдельных иерархий. Из которых одну оправданно принимать за главную. В таком строении отражается предметная специфика, но не вполне обобщённая субъектом моделирования.

Кроме того, следует различать *проектную* (плановую, нормативную) модель как более или менее идеальную и *реальную* (фактическую) как её реализацию в конкретных условиях. Фактическая модель может пониматься как проектная, но по тем или иным позициям укомплектованная с отклонениями по количеству (недо/пере) и/или по качеству (эффективности/надёжности). Отклонения реализации от проекта могут пониматься как факторы влияния на системное назначение в мотивирующем, гигиеническом или нейтральном смысле.

В любом случае существует полная совокупность модельных сущностей, «обобщённая творческая база», нормативно закрепляемая в конкретной языковой среде.

### 3.1. Объект труда

Состав категории ОТ раскрывает дерево детализировки предмета (изделия, продукта). Среди взаимосвязей важны отношения т.н. «собираемости/разбираемости», определяющие порядок построения и саму возможность построить ОТ из данных комплектующих.

Распространённые подходы к раскрытию ОТ не всегда системны. Так, в статье [10] предложено некоторое решение по управлению «творческой базой» в «мейнстримной» связке сред программной поддержки оргдеятельности (обычно включающей PLM, ERP, MES). Заметим, во-первых, что такое подразделение сред довольно условно. А на этом материале можно предположить, почему. Ибо в [10] показано, что работать надо с разными вроде бы моделями («структурами») предмета труда. Но на деле они должны пониматься как разные проекции единой модели. Включающей содержание и для разных этапов ЖЦ предмета (здесь разработка и изготовление). И для разных исполнителей элементов ЖЦ (здесь «основного» и «альтернативного» производителей). Отсюда, во-вторых, возможно решение единой (интегрированной) поддержки.

Инвариантом ОТ тогда следует считать полную структуру изделия, включая временные, динамичные (обеспечивающие, расходные) элементы. В России как принимаемой языковой среде для её определения нормативно задана модель единой системы конструкторской документации (ЕСКД).

Отклонения комплектации изделия могут определять реализуемость тех или иных показателей назначения предмета. Т.е. результативность труда.

### 3.2. Средства труда

Состав данной категории раскрывается деревом оргштатной структуры производственных мощностей (ПМ). Агрегация определяется закономерностями делегирования/совмещения квалификаций субъектов (функций инструментов), устанавливаемыми при анализе/синтезе ПМ для конкретных исполнителей и обобщаемыми на исполнительские типы.

Принципиально, что инвариантом ПМ является обобщённая оргштатная структура (система «трудовых позиций» (ТП) как экземпляров РМ принятых типов по должности/профессии). Принимая её состав на основе семантической модели предприятия по Усову (в части именно типов функциональных подсистем, а не элементов «логического ядра») с учётом среды, мы можем определить укрупнённое дерево РМ. При дальнейшей декомпозиции в средства включается субъект (объективированный по Звереву) и инструмент. Отдельные субъекты м.б. объективированы и искусственным интеллектом. В любом случае субъекты и инструменты в совокупности образуют эргатические подсистемы ТП. Инвариантом РМ выступает материально-информационная система согласно [11] (раскрываемая в проблемологической базе). В России для определения полного множества типов позиций (РМ) обычно принята модель единого тарифно-квалификационного справочника (ЕТКС).

Раскрытие состава ПМ обычно вполне произвольно и определяется различными «теориями организации/управления». На базе же семмодели Усова м.б. дан и чёткий порядок развития ПМ при нарастании состава.

- Минимальный случай — одноместная организация; все функции, как *общие* (корневого класса предприятий по [2, Рис.1]), так и *специфические* (последующих классов) совмещаются одним субъектом. По сути, в общих функциях надо выделить подклассы *взаимодействия* со средой и *управления* организацией (реализации «логического ядра» семмодели Усова).
- «Семейная» - многоместная, с *невыделенным* управлением и взаимодействием (общие функции распределены по исполнителям специфических); возможно *совмещение* спецфункций *полное* (подорганизация одноместная или из ряда полносовмещённых РМ) и/или *частичное* (если класс определяет более одного типа специфических подсистем, то один тип РМ может совмещать функции двух и более из них), а также *группировка* РМ «направленческого» типа (по определённой подобласти деятельности) или «продуктового» (по определённому типу результата), м.б. динамическое.
- «Командная» — многоместная, с *выделенным* управлением (функции которого реализованы на

РМУ, с полным или частичным совмещением по типам); остальное как в «семейной».

- «Аппаратная» - многоместная, с выделенным взаимодействием; остальное как в «семейной».
- Развёрнутая — многоместная, с выделением спецфункций, без совмещения управления со взаимодействием;
- Максимальный случай — *развёрнутая* так, что на каждую функцию приходится два и более субъектов труда (на разнотипных РМ, напр. ведущего и рядового исполнителей).

Функции управления могут подразделяться в пространстве (территориально), во времени (по этапам ЖЦ), в движении (по видам деятельности); тем самым образуются различные варианты построения оргштатной структуры.

Комплектация средств труда имеет смысл доступности субъектов/инструментов данного профиля вообще и на момент потребности в них для участия в ЖЦ конкретного ОТ. И отражается замещённостью/вакантностью РМ в части кадров «живого труда» и обеспеченностью в части инструментов и машин.

Следует особо выделить инструментарий труда над самой организацией. Обычно называемый «система «Предприятие»/платформа автоматизации управления [бизнес-процессами]». Более же точным представляется наименование интегрированной автоматизированной информационной системы (ИАИС), принятое, в частности, у Кульги в [12]. Заметим здесь, что можно говорить и об «интегрирующей АИС», ИАИС-оболочке управления остальными инструментами и трудом субъектов. Основы функционирования такой оболочки и некоторые реализации «УБП-платформ» обсуждались в [5, Разд. 1].

### 3.3. Процессы труда

Состав данной категории раскрывается деревом декомпозиции работ, операционной номенклатуры технологий. Агрегация определяется закономерностями передела исходных продуктов в результатные, устанавливаемыми при анализе/синтезе технологий.

Принципиально, что инвариантом технологии является обобщённый ЖЦ. Принимая его состав по Усову, мы можем определить укрупнённое дерево работ. Листы которого (стадии ЖЦ) декомпозируются далее. При этом определяются технологические переходы как слагаемые техноопераций (работ). Один техпереход может входить в различные технооперации, а также иметь варианты реализации.

Инвариантом ПТ следует считать обобщённую технологию, определяющую все возможные пути получения целевых продуктов в зависимости от исходных и от наличных средств труда. В России для нормативного закрепления полной совокупности работ наиболее распространена форма единых государственных норм (ЕГН) по предметикам.

Также д.б. определён инвариант исполнения работы. Согласно теоретической информатике, он моделируется схемой косвенного обращения. Для искусственно объективируемых субъектов его реализацией выступает командный цикл.

Согласно Усову, среди работ также выделяются общесистемные, служащие системированию других работ в технологии. Они определяются для заданной модели исполнителя. Он же предложил модели «понятия-отношения» для технологий (в стандарте моделирования ERD) и указал принципы отображения техпроцессов на ПМ, критерии проверки корректности описания технологии (реализованные в разработках ИАИС-оболочек «Алексус»).

Комплектация процессов труда имеет смысл образованности (сформированности) моделей работ в целом для языковой среды и освоенности (запрограммированности) моделей для конкретного исполнителя.

## 4. Надстроечные отношения

Как уже указывалось, топологически понимаются как «прошивки» базисных деревьев. Могут устанавливаться внутри категории и/или между категориями. Предназначены для формирования целостной, системно обоснованной модели.

Одним из основных типов является объединение сущностей по назначению в организацию, в т.ч. виртуальную. Обычно организации формируются по одному из двух подходов: проектно или позадачно; также можно определить предметную организацию.

Приближением к модели организации можно взять принятую в [13]. Где схема описывает основные объекты и отношения в информационной части инвариантно к предметике, следуя позадачному подходу.

Другим типом являются отношения порядка задействования сущностей в ЖЦ. По категориям они имеют различия смысла: для предмета это порядок разборки/сборки, определяемый из условий «собираемости»; для средств порядок назначения на работы; для процессов технологические маршруты. Возможны варианты задействования.

Следующим важным типом нужно считать отношения документирования. Они объединяют понятия и отношения моделирования в представления (входные, промежуточные, выходные формы).

Как пример комплексного отношения можно дать схему построения организации (см. Рис. 2) для конкретного случая с выделением общих функций в явную подсистему управления. Содержание этих функций укрупнённо раскрыто на базе [2], [3].

Ключевым отношением ЖЦ является *технология*. Понимаемая как модель получения неких результатных ПТ из данных исходных некоторыми способами на неких ПМ. Большее или меньшее абстрагирование предметов/способов/средств даёт более или менее общие (инвариантные к организации) технологии.

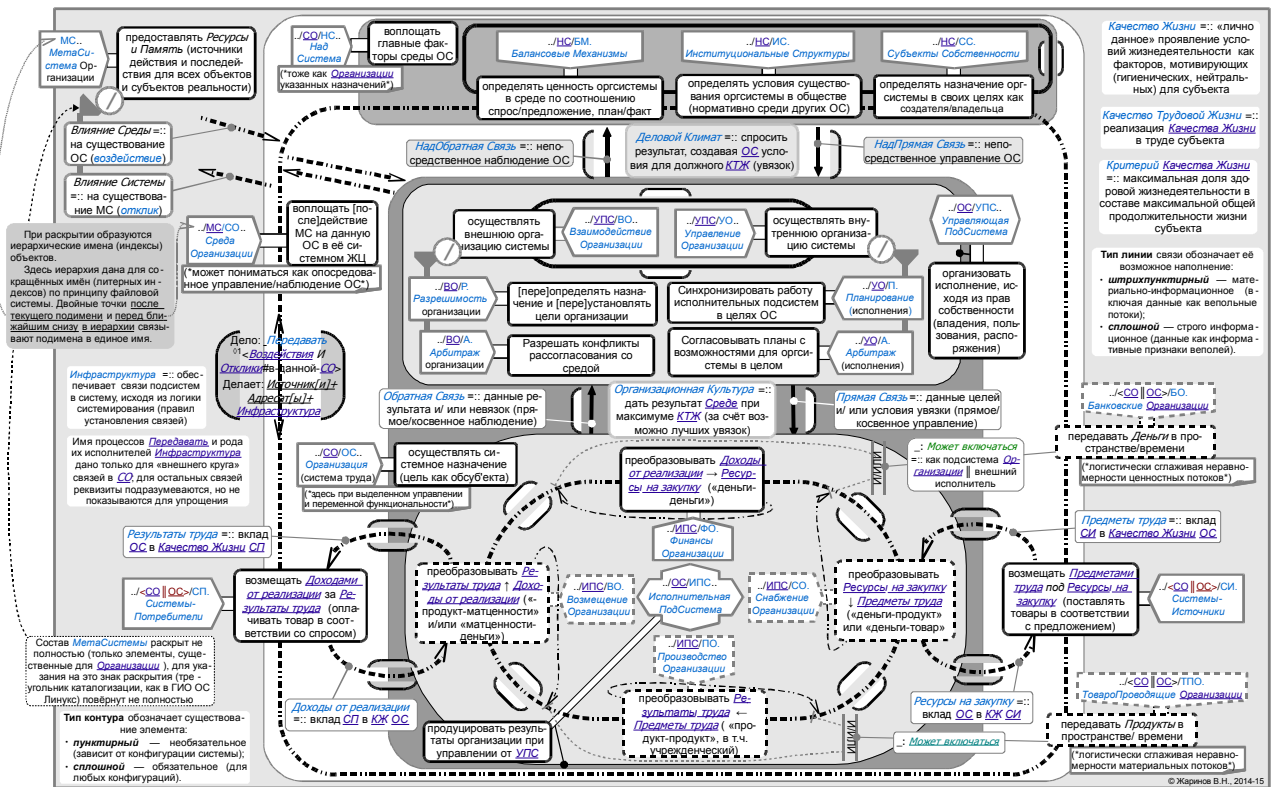


Рис. 2. Определение оргсистемы как носителя ключевых отношений ЖЦ

Для комплексного описания деятельности в России нормативно приняты прежде всего языки и модели блок-схем алгоритмов, программ и систем (БСАПС) по ГОСТ 19.701-90 и единой системы технологической документации (ЕСТД) по ГОСТ 3.\*.

Основы формализации технологий представлены на схемном описании ЖЦ как техпроцесса (см. Рис. 3).

Элементы моделей формализованы как понятия, по необходимости повторно используемые в модельной структуре (на что указывается ссылочным форматированием повторных вхождений имён на схеме). По схеме организационной среды м.б. «визуально-рекурсивно» определены через собственно организацию.

В данном случае употреблён язык ГРАФИТ-Тех (ГТ) для описания технологий как сетей оперпродукций.

По **содержанию** заметим, что описан ЖЦ для конкретной организационной подсистемы (Производство). В то же время семантика ЖЦ в целом позволяет обобщить модель на абстрактную подсистему любой организации. Для обратной конкретизации достаточно определить адекватный подсистеме смысл продуктов ЖЦ, а отсюда и стыков схемы (геноров/агеноров ТП) и операций/передач на техмаршрутах.

Также учитываются некоторые существенные определения процессов НГТ, если иметь в виду, что:

- научная коммуникация по Гиляревскому (в смысле [14, с.51-57]) осуществляется по поводу конкретных продуктов системного ЖЦ того или иного этапа (как и учебная, и деловая);

- этапы «школьного изобретательства» по Столярову в [15] суть варианты стадий большинства этапов системного ЖЦ, начиная с 1-го.

Семантика ГТ-схем в основе соответствует известным нотациям DFD и IDEF0, но уточнена в некоторых аспектах. В частности, определено содержание связей (дуг), выделены типы операций (вершин) передачи (в пространстве/времени) и преобразования (целевого/решающего).

При этом отношения порядка процессов различного рода графически определяются, по сути, аналогично [16, Рис. 15.1]. И разрешаются системными процессами (реализации модели для конкретных условий), в результате чего снимается и вариативность, данная на этой схеме (как обобщённой для некоторых сочетаний условий). Системные процессы м.б. заданы аналогично, отличаясь только тем, что имеют предметом труда другие процессы (их состояния сообразно принятым моделям ЖЦ процесса по фазам).

Здесь системными являются процессы-модификаторы родов «Суть дела из» (образования кода техоперации на исполнителя подразумеваемого типа) и «Исполнитель из» (назначения операции на экземпляр исполнителя). Они и определяют происхождение наполнения видов связей, называемых в IDEF0 «управление» и «механизмы».

По **представлению** заметим, что модель построена на основе моделей организации также по Усову (в аналогичной организации, поэтому маршруты схемы ТП направлены противоположно традиционному, как



и на оригинальных схемах Усова, представленных автором [17, Рис.1]).

В графический синтаксис для адекватного отражения семантики деятельности вводятся оси операторов технологической схемы (в т.ч. вершин-«блоков»): горизонтальная — реализации (назначения оператора на основе текущего содержания); вертикальная — модификации (содержания оператора под меняющееся назначение). Также операторы подразделяются на преобразующие (представляются вершинами) и перемещающие (определяются над дугами).

При исключении оси модификации получается синтаксис, подобный ДПД-языкам, но с определёнными отличиями:

- операторы перемещения определяются над двумя и более дугами, задавая тем самым их группировку по к.-л. общим свойствам и наглядно представляя это на схеме;

- внешние сущности определяются как геноры/агеноры наполнения дуг.

При включении оси модификации синтаксис подобен уже ФМ-языкам, но с отличиями:

- смысл «управления» и «механизмов» определяется явно, а их источники — системно-логично (а не как произвольные вершины ФМ-схем)
- Используются отношения категоризации (понимаемые как в IDEF1X).

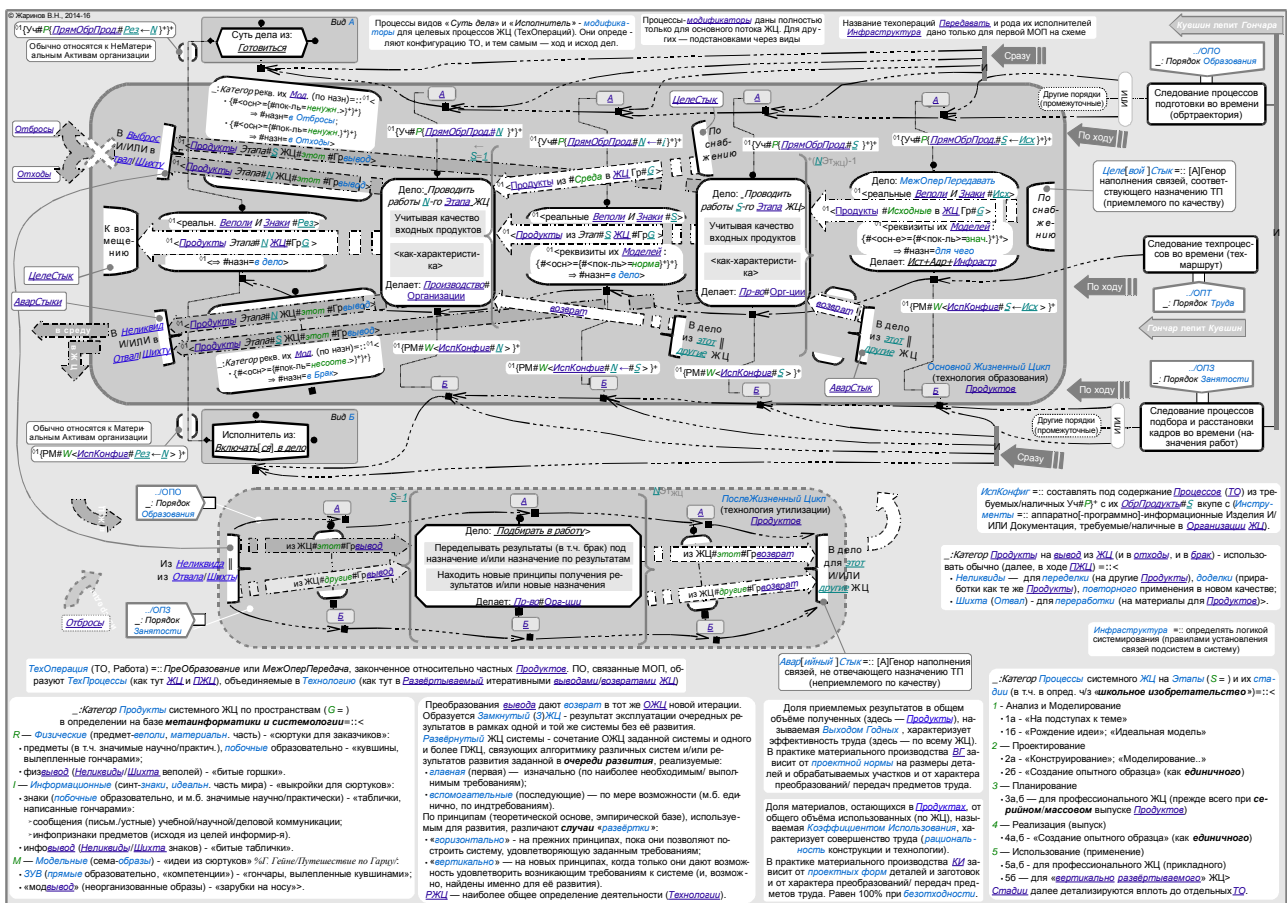


Рис. 3. Определение технологии как носителя ключевых отношений ЖЦ (пример)

Процессы любого содержания (и основные, и модификаторы) раскрываются единообразно моделями «последовательной» алгоритмики. Для представления результатов раскрытия из соображений наглядности предлагаются также графические формы. Прежде всего язык ГРАФИТ-Про, основные решения по которому представлены в [18], [19], [4]. [6] (как «языка схем процедур»).

Употребляются элементы РБНФ-графит-языка для определения подстановок различного рода. Так, устанавливается порядок вхождения одних понятий моделей в другие. Определяются повторные вхождения как текста, так и графики схем. Это позволяет сокра-

тить объём представлений. При этом повторы задаются без алгоритмического заклинивания, т.е. представление не влияет на содержание (сами модельные структуры). Тем самым, в частности, исключаются представительные нарушения смысла в сетях опер-продукций, где недопустимы контуры (а появляющиеся размыкаются по содержанию, см [20, с. 230]).

Данные модели в совокупности представляют также приложения положений ТИ Зверева и семантического моделирования предприятий по Усову и Северину к описанию организаций на схемной базе.

## 5. Выводы

Модель организации может строиться как структура «понятия-отношения», как и для любой системы. Предложены семантика такой модели и синтаксис для её выражения на схемной основе.

Основываясь на семантической модели организации, можно выделить базовые типы понятий и отношений, инвариантные к конкретным предметикам. Что сделано для ЖЦ организации.

Наглядность инфопредставлений для моделей на схемной основе должна облегчать увязки при управлении организацией. Предлагаемая ГТ-нотация позволяет нагляднее представить потребности и возможности исполнения технологии при той или иной организации деятельности. В частности, распараллеливаемость исполнения в зависимости от наличных ПМ.

## Список используемых источников

1. Жаринов В.Н. Объектное описание образовательного контента на императивно-семантическом языке. // Интеллектуальные технологии обработки информации и управления: Труды второй международной конференции. Междун. науч. изд. - Уфа: ФГБОУ ВПО УГАТУ, 2014. - Т.1. - С.164-170.
2. Усов А.С. Семантические модели предприятия. [Эл. ресурс]. [2007] URL: <http://forum.oberoncore.ru/download/file.php?id=1848> (пров.: 4.06.2016).
3. Усов А.С. Феномен управления. [Эл. ресурс]. [2007]. URL: <https://yadi.sk/i/FAWbSTeSh8hU9> (пров.: 4.10.2013).
4. Жаринов В.Н. Логико-математическая семантика и графические модели процессов в некоторых общеобразовательных дисциплинах. // Применение инновационных технологий в преподавании математических дисциплин в школе и вузе: Сб. матер. Междун. научно-практич. конф. - Борисоглебск: ФГБОУ ВПО «БГПИ», 2014. - С. 50-64.
5. Жаринов В.Н. Графическое моделирование процессов в обучении. // «Информационные и коммуникационные технологии в образовании»: Сб. матер. XIV Междун. научно-практич. конф. / Борисоглебск, ноябрь 2013 г. - Борисоглебск: ФГБОУ ВПО «БГПИ», 2013. - С. 14-25.
6. Жаринов В.Н. Построение и языки учебно-производственных графических моделей процессов. - В том же сборнике, 2013. - С. 164-188.
7. Фути К., Судзуки Н. Языки программирования и схемотехника СБИС. - М.: Мир, 1988.
8. Северин В.А. Правовое обеспечение информационной безопасности предприятия: Учебно-практическое пособие. - М.: Городец, 2000.
9. Соболев В.И. Оптимизация строительных процессов. - Ростов н/Д.: Феникс, 2006.
10. Абросимов Д., Скопинцев А., Чернобыль Д. Технологическая структура — основа технологической подготовки производства и управления производством. // Умное производство. - 2014. - №3. - С. 71-74. URL: [http://www.umpro.ru/index.php?page\\_id=17&art\\_id\\_1=540&group\\_id\\_4=93&m\\_id\\_4=29](http://www.umpro.ru/index.php?page_id=17&art_id_1=540&group_id_4=93&m_id_4=29)
11. Зверев Г.Н. Теоретическая информатика и ее основания: в двух томах. - М.: Физматлит, Т. 1, 2007. - 592 с.; Т. 2, 2009. - 576 с.
12. Кульга К.С., Кривошеев И.А. Модели и методы создания интегрированной информационной системы для автоматизации технической подготовки и управления авиационным и машиностроительным производством: монография. - М.: Машиностроение, 2011.
13. НИП «Информзащита». Организационные меры обеспечения защиты информации. // Системы безопасности, связи и телекоммуникаций. - 1997. - май-июнь. - С. 8-10.
14. Гиляревский Р.С. Основы информатики: курс лекций. - М.: Экзамен, 2004.
15. Столяров Ю.С. Школьное изобретательство: от замысла к реальности. // Моделист-Конструктор. - 1982. - №№7-9.
16. Орлов С.А., Цилькер Б.Я. Организация ЭВМ и систем. - СПб.: Питер, 2004.
17. Жаринов В.Н. К объективации предметов и процессов обучения в материально-информационных проблемных областях — графит-подход. // Интеллектуальные информационные технологии управления и поддержки принятия решений: Труды четвертой междун. конф.– Междун. науч. изд. - Уфа: УГАТУ, 2016. - 9 с.
18. Жаринов В.Н. К понятию связывания структур данных и управления в моделях императивных знаний. // Объектные системы – 2015 (Зимняя сессия): материалы XI Международной научно-практической конференции (Ростов-на-Дону, 10-12 декабря 2015 г.) / Под общ. ред. П.П. Олейника. – Ростов-на-Дону: ШИ (ф) ЮРГПУ (НПИ) им. М.И. Платова, 2015, С. 26-34., [http://objectsystems.ru/files/2015WS/Object\\_Systems\\_2015\\_Winter\\_session\\_Proceedings.pdf](http://objectsystems.ru/files/2015WS/Object_Systems_2015_Winter_session_Proceedings.pdf)
19. Жаринов В.Н. Объектное описание систем на императивно-семантическом языке. // В том же сборнике, 2015, С. 35-42., [http://objectsystems.ru/files/2015WS/Object\\_Systems\\_2015\\_Winter\\_session\\_Proceedings.pdf](http://objectsystems.ru/files/2015WS/Object_Systems_2015_Winter_session_Proceedings.pdf).

Романовский И.В. Дискретный анализ. - 3-е изд. - СПб.: Невский Диалект; БХВ-Петербург, 2004.

# Применение математического моделирования для выбора инвестиционной программы предприятия

Е.Н. Козина  
Факультет Математики, механики и компьютерных наук  
Южно-Уральский государственный университет  
Челябинск, Россия  
e-mail: flashwork174@yandex.ru

А.В. Панюков  
Факультет Математики, механики и компьютерных наук  
Южно-Уральский государственный университет  
Челябинск, Россия  
e-mail: paniukovav@susu.ac.ru

## Аннотация<sup>1</sup>

В статье представлены три экономико-математические модели для формирования инвестиционной программы предприятия: (1) на основе принципа гарантированного результата; (2) на основе принципа максимизации ожидаемого дисконтированного дохода при заданном ограничении сверху на его дисперсию; (3) на основе принципа максимизации ожидаемого в дисконтированного дохода при ограничении сверху вероятности его недостижимости. Последние модели дают средние оценки доходности в условиях риска и неопределенности. Решения предложенных задач позволяют дать системную оценку инвестиционной привлекательности предприятия

## 1. Введение

Для реализации стратегических целей предприятия необходимо эффективное управление его инвестиционной деятельностью [3,5]: наиболее эффективная реализация возможных проектов, которые приносили бы с минимальным риском максимальный финансовый результат в условиях ограниченности инвестиционных ресурсов и неопределенности их объемов. Выбор оптимальной инвестиционной программы предприятия разумно осуществлять из множества эффективных инвестиционных программ, каждая из которых: (1) обеспечивает максимальный ожидаемый чистый дисконтированный доход (ЧДД) для некоторого уровня риска возможности выполнимости программы; (2) обеспечивает минимальный риск возможности выполнить программу для некоторого значения ожидаемого ЧДД. В качестве меры риска, используется либо дисперсия ЧДД, по аналогии с подходом Марковица-Тобина [1,2] при формирования портфеля ценных бумаг, либо вероятность не достижимости желаемого среднего значения ЧДД [3].

---

Труды пятой всероссийской конференции "Информационные технологии интеллектуальной поддержки принятия решений", 16 - 19 мая, Уфа, Россия, 2017

## 2. Общая постановка задачи

В качестве основного критерия, в соответствии с которым будет формироваться оптимальная инвестиционная программа предприятия, будет использован чистый дисконтированный доход по инвестиционной программе в целом [6, 8].

Пусть  $P = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$  — множество из  $n$  инвестиционных проектов, которые могут быть включены в состав инвестиционной программы.

$m$  — горизонт планирования (число расчетных периодов).

$L = \{l_1, l_2, \dots, l_n\}$  — множество продолжительностей реализации инвестиционных проектов (в расчетных периодах).

$R = \{r_0, r_1, \dots, r_{m-1}\}$  — фиксированные финансовые ресурсы предприятия по расчетным периодам.

Каждый из инвестиционных проектов  $p_j$  может быть охарактеризован двумя показателями:

$C_{js}$  — величина чистого дисконтированного дохода, приведенного к моменту начала реализации  $p_j$  - го проекта, если он был начат в период  $s$ .

$I_{jsi}$  — потребность в финансировании  $j$ -го инвестиционного проекта в  $i$ -й расчетный период от начала реализации инвестиционной программы, при условии, что он будет начат в период  $s$ .

Показатели доходов и расходов являются прогнозируемыми величинами и зависят от ряда факторов. Поэтому целесообразно считать  $C_{js}$  и  $I_{jsi}$  случайными величинами. На основе ретроспективного анализа для каждого проекта  $p_j$  для всех периодов  $i$ , получены интервальные оценки чистого дисконтированного дохода  $[C_{js}^-; C_{js}^+]$ , потребностей  $[I_{jsi}^-; I_{jsi}^+]$ , и финансовых ресурсов предприятия  $[r_i^-; r_i^+]$ .

Введем булевы переменные:  $x_{js}=1$ , если  $p_j$  проект начинается в период  $s$ .  $x_{js}=1$ ,  $x_{js}=0$ , если начало реализации  $p_j$  проекта отличается от расчетного периода  $s$ .

Под реализуемым подмножеством инвестиционных проектов из заданного множества  $P$  будем понимать такое подмножество проектов, которое может быть профинансировано в рамках доступных финансовых ресурсов по периодам финансирования. Под чистым дисконтированным доходом инвестиционной программы будем понимать сумму чистых дисконтированных доходов проектов, включенных в инвестиционную программу [4]. Поскольку реализация инвестиционного проекта  $p_j$  может начаться не позже чем в период  $m-l_j$ , то должно выполняться следующее условие:

$$\sum_{s=0}^{m-l_j} x_{js} \leq 1 \quad j=1,2,\dots,n. \quad (1)$$

Условие реализуемости инвестиционной программы может быть записано в виде:

$$\sum_{j=1}^n \sum_{s=0}^i I_{jsi} x_{js} \leq r_i \quad ; \quad i=0,1,\dots,m-1. \quad (2)$$

Определим чистый дисконтированный доход (ЧДД) инвестиционной программы. Рассмотрим инвестиционный проект  $p_j$ , который может быть включен в инвестиционную программу. С учетом (1) ЧДД от включения в программу инвестиционного проекта  $p_j$  равен

$$C_j = \sum_{s=0}^{m-l_j} C_{js} x_{js}. \quad (3)$$

ЧДД всей инвестиционной программы равен

$$C = \sum_{j=1}^n \sum_{s=0}^{m-l_j} C_{js} x_{js}. \quad (4)$$

### 3. Максимальная стратегия

Применение осторожной стратегии, направленной на получение максимального гарантированного ЧДД сводится к решению задачи

$$\underline{C} = \sum_{j=1}^n \sum_{s=0}^{m-l_j} \underline{C}_{js} x_{js} \rightarrow \max_{x \in D} \quad (5)$$

где  $x = \{x_{js}; s=0,1,\dots,m-l_j; j=1,2,\dots,n\}$  допустимое множество  $D$  удовлетворяет ограничениям

$$\sum_{j=1}^n \sum_{s=0}^i \bar{I}_{jsi} x_{js} \leq \bar{r}_i \quad i=0,1,2,\dots,m-1, \quad (6)$$

$$\sum_{s=0}^{m-l_j} x_{js} \leq 1 \quad j=1,2,\dots,n, \quad (7)$$

$$x_{js} \in \{0;1\} \quad j=1,2,\dots,n; \quad s=0,1,\dots,m-l_j. \quad (8)$$

Гарантированность оптимального значения задачи (5)-(8) обусловлена применением нижних оценок

$\underline{C}_{js}$  ЧДД и объемов финансирования  $\bar{r}_i$  по расчетным периодам и верхних оценок  $\bar{I}_{jsi}$  потребностей финансирования.

Задача (5)-(8) представляет задачу булева линейного программирования с неотрицательной матрицей условий, поэтому может быть решена псевдополиномиальным алгоритмом на основе динамического программирования.

## 4. Построение эффективных инвестиционных программ в условиях риска

Будем искать оптимальную инвестиционную программу предприятия в множестве эффективных инвестиционных программ (т.е. в множестве Парето в пространстве критериев «риск»-«ЧДД»). Использование интеллектуальных систем поддержки принятия решений позволит на основе выявленной системы предпочтений лица принимающего решение выбрать наиболее подходящую инвестиционную программу.

### 4.1. Использование дисперсии ЧДД в качестве меры риска

В качестве ожидаемого чистого дисконтированного дохода инвестиционной программы будем использовать его математическое ожидание, а в качестве меры риска — дисперсию.

Полагая, что чистый дисконтированный доход от каждого проекта  $p_j \in P$  равномерно распределен в интервале  $[\underline{C}_{js}; \bar{C}_{js}]$  для любого  $s=0,1,\dots,m-l_j$ , находим математическое ожидание чистого дисконтированного дохода

$$\begin{aligned} E\{C(x)\} &= E\left\{ \sum_{j=1}^n \sum_{s=0}^{m-l_j} C_{js} x_{js} \right\} = \sum_{j=1}^n \sum_{s=0}^{m-l_j} (x_{js} \cdot E\{C_{js}\}) = \\ &= \sum_{j=1}^n \sum_{s=0}^{m-l_j} \left( \frac{\underline{C}_{js} + \bar{C}_{js}}{2} \cdot x_{js} \right) \end{aligned}$$

Учитывая булев характер переменных  $x$  и независимость между чистыми дисконтированными доходами от различных проектов, находим дисперсию чистого дисконтированного дохода

$$\begin{aligned} D\{C(x)\} &= D\left\{ \sum_{j=1}^n \sum_{s=0}^{m-l_j} C_{js} x_{js} \right\} = \sum_{j=1}^n \sum_{s=0}^{m-l_j} (x_{js} \cdot D\{C_{js}\}) = \\ &= \sum_{j=1}^n \sum_{s=0}^{m-l_j} \left( \frac{(\underline{C}_{js} - \bar{C}_{js})^2}{12} \cdot x_{js} \right) \end{aligned}$$

Таким образом, построение эффективной инвестиционной программы в условиях риска сведено к задачам

$$E\{C(x)\} = \sum_{j=1}^n \sum_{s=0}^{m-l_j} \left( \frac{\underline{C}_{js} + \bar{C}_{js}}{2} \cdot x_{js} \right) \rightarrow \max_{x \in D: D\{C(x)\} \leq d} \quad (9)$$

$$D\{C(x)\} = \sum_{j=1}^n \sum_{s=0}^{m-l_j} \left( \frac{(\underline{C}_{js} - \bar{C}_{js})^2}{12} \cdot x_{js} \right) \rightarrow \min_{x \in D: E\{C(x)\} \geq e} \quad (10)$$

где  $x = \{x_{js}; s=0,1,\dots,m-l_j; j=1,2,\dots,n\}$  допустимое множество  $D$  удовлетворяет ограничениям (6)-(8),  $d$  и  $e$  — допустимые уровни дисперсии и математического ожидания соответственно.

Задачи (9) и (10), как и задача (5)-(8), представляют задачи булева линейного программирования с неотрицательной матрицей условий, поэтому могут быть решены псевдополиномиальным алгоритмом на основе динамического программирования.

## 4.2. Использование вероятности недостижимости заданного ЧДД в качестве меры риска

Пусть  $C$  — заданный уровень ЧДД. Рассмотрим вероятность достижения заданного уровня

$$P\{C(x) \geq C\} = P\left\{ \sum_{j=1}^n \sum_{s=0}^{m-l_j} C_{js} x_{js} \geq C \right\} \quad (11)$$

С целью использования методов приведения задач с вероятностными критериями к детерминированному виду введем в рассмотрение события

$$E_j: \sum_{s=0}^{m-l_j} C_{js} x_{js} = y_j, \quad j=1,2,\dots,n, \quad \sum_{j=1}^n y_j \geq C,$$

состоящие в том, что доход от проекта  $p_j$  будет не меньше величины  $y_j$ . Учитывая (7) и (8), имеем

$$P\{E_j\} = \sum_{s=0}^{m-l_j} x_{js} P\{C_{js} \geq y_j\} = \sum_{s=0}^{m-l_j} \left( x_{js} \frac{\bar{C}_{js} - y_j}{\bar{C}_{js} - \underline{C}_{js}} \right)$$

Отсюда, учитывая независимость ЧДД различных проектов, имеем

$$P\{C(x) \geq C\} = \prod_{j=1}^n P\{E_j\} = \prod_{j=1}^n \sum_{s=0}^{m-l_j} \left( x_{js} \frac{\bar{C}_{js} - y_j}{\bar{C}_{js} - \underline{C}_{js}} \right)$$

В дальнейшем вместо задачи максимизации вероятности  $P\{\bullet\}$  будем рассматривать задачу максимизации ее логарифма, т.к. в силу монотонности логарифмической функции оптимальные решения обеих задач совпадают. Имеем

$$\begin{aligned} \ln P\{C(x) \geq C\} &= \sum_{j=1}^n \ln \left( \sum_{s=0}^{m-l_j} \left( x_{js} \frac{\bar{C}_{js} - y_j}{\bar{C}_{js} - \underline{C}_{js}} \right) \right) = \\ &= \sum_{j=1}^n \sum_{s=0}^{m-l_j} \left( x_{js} \ln \frac{\bar{C}_{js} - y_j}{\bar{C}_{js} - \underline{C}_{js}} \right) \cong \sum_{j=1}^n \sum_{s=0}^{m-l_j} \left( x_{js} \frac{y_j - \bar{C}_{js}}{\bar{C}_{js} - \underline{C}_{js}} \right) \end{aligned}$$

здесь второе равенство есть следствие (7) и (8), последнее равенство является следствием приближенного равенства  $\ln(1 - \zeta) \cong -\zeta$ .

С другой стороны

$$\ln P\{C(x) \geq C\} = \ln[1 - P\{C(x) < C\}] = -P\{C(x) < C\}$$

следовательно,

$$P\{C(x) < C\} \cong \sum_{j=1}^n \sum_{s=0}^{m-l_j} \left( x_{js} \frac{y_j - \bar{C}_{js}}{\bar{C}_{js} - \underline{C}_{js}} \right) \quad (12)$$

Полученное равенство определяет вероятность недостижимости инвестиционной программой заданного значения ЧДД и в дальнейшем используется в качестве меры риска.

Введем детерминированные переменные  $z_{ji}$ ,  $j=1,2,\dots,n$ ,  $i=0,1,2,\dots,m-1$  и рассмотрим события

$$A_{ji} = \{I_{jsi} \leq z_{ji}\} \quad \text{и} \quad B_i = \left\{ \sum_{j=1}^n z_{ji} \leq r_i \right\}. \quad \text{Событие } A_{ji} \text{ со-}$$

стоит в том, что в расчетный период  $i$  ресурсы, требуемые проекту  $j$ , начатому в любой расчетный период  $s \leq m-l_j$ , не превосходят значения  $z_{ji}$ . Событие  $B_i$  состоит в том, что ресурсы, требуемые всем выполняемым в расчетный период  $i$  проектам не превосходит величины  $r_i$ . Вероятности введенных событий равны

$$P\{I_{jsi} \leq z_{ji}\} = \frac{z_{ji} - \underline{I}_{jsi}}{\bar{I}_{jsi} - \underline{I}_{jsi}}, \quad P\left\{ \sum_{j=1}^n z_{ji} \leq r_i \right\} = \frac{\bar{r}_i - \sum_{j=1}^n z_{ji}}{r_i - \underline{r}_i}$$

Считая переменные  $z_{ji}$  фиксированными, найдем вероятности выполнения условий реализуемости инвестиционной программы. Для любого расчетного периода  $i = 0, 1, 2, \dots, m-1$  имеем

$$\begin{aligned} P\{r_i(x) = \sum_{j=1}^n \sum_{s=0}^{m-l_j} I_{jsi} x_{js} \leq r_i\} &= P\left\{ \sum_{j=1}^n z_{ji} \leq r_i \right\} = \\ &= \prod_{j=1}^n \sum_{s=0}^{m-l_j} \left( x_{js} P\{I_{jsi} \leq z_{ji}\} \right) \end{aligned} \quad (13)$$

Логарифмируя равенство (13) и учитывая

$$\ln P\{r_i(x) \leq r_i\} \cong -P\{r_i(x) > r_i\},$$

$$\ln P\{I_{jsi} \leq z_{ji}\} \cong -P\{I_{jsi} > z_{ji}\} = -\frac{\bar{I}_{jsi} - z_{ji}}{\bar{I}_{jsi} - \underline{I}_{jsi}},$$

$$\ln P \left\{ \sum_{j=1}^n z_{ji} \leq r_i \right\} \cong -P \left\{ \sum_{j=1}^n z_{ji} > r_i \right\} = -\frac{\bar{r}_i - \sum_{j=1}^n z_{ji}}{r_i - r_{-i}}.$$

а также условия (7) и (8) получим

$$P\{r_i(x) > r_i\} = \frac{\sum_{j=1}^n z_{ji} - \bar{r}_i}{r_i - r_{-i}} + \sum_{j=1}^n \sum_{s=0}^{m-l_j} x_{js} \frac{\bar{I}_{jsi} - z_{ji}}{\bar{I}_{jsi} - \underline{I}_{jsi}}, \quad (14)$$

$i = 0, 1, 2, \dots, m-1$ .

Равенство (14) определяет вероятность превышения инвестиционной программой предприятия требуемых ресурсов по расчетном периоде  $i = 0, 1, 2, \dots, m-1$ .

Таким образом, если  $\alpha$  — допустимый риск недо-стижимости инвестиционной программой заданного значения ЧДД,  $\beta_i$  — допустимый риск превышения инвестиционной программой предприятия, требуемых ресурсов по расчетном периоде  $i = 0, 1, 2, \dots, m-1$ . то задачу нахождения максимального ожидаемого дохода можно представить в следующем виде:

$$C(x, y, z) = \sum_{j=1}^n y_j \rightarrow \max_{x, y, z}, \quad (15)$$

$$\sum_{j=1}^{m-l_j} C_{js} x_{js} = y_j, \quad j=1, 2, \dots, n, \quad (16)$$

$$\sum_{j=1}^n \sum_{s=0}^{m-l_j} \left( x_{js} \frac{y_j - \bar{C}_{js}}{\bar{C}_{js} - \underline{C}_{js}} \right) \leq \alpha \quad (17)$$

$$\frac{\sum_{j=1}^n z_{ji} - \bar{r}_i}{r_i - r_{-i}} + \sum_{j=1}^n \sum_{s=0}^{m-l_j} \left( x_{js} \frac{\bar{I}_{jsi} - z_{ji}}{\bar{I}_{jsi} - \underline{I}_{jsi}} \right) \leq \beta_i, \quad (18)$$

$$x_{js} z_{ji} \leq \bar{I}_{jsi}, \quad j=1, 2, \dots, n; \quad s=0, 1, \dots, m-l_j, \quad (19)$$

$$\sum_{s=0}^{m-l_j} x_{js} \leq 1 \quad j=1, 2, \dots, n, \quad (20)$$

$$x_{js} \in \{0, 1\} \quad j=1, 2, \dots, n; \quad s=0, 1, \dots, m-l_j. \quad (21)$$

#### 4. Заключение

- Рассмотренны модели оптимальной инвестиционной программы с фиксированными объемами финансирования позволяют формировать оптимальные по Парето инвестиционные программы при известном распределении финансовых средств по периодам.
- Представленны модификации данной модели, учитывающие неопределенность финансовых ресурсов для поддержки инвестиционных проектов.

- Решения представленных задач дают системную оценку инвестиционной привлекательности моделируемого предприятия и могут быть использованы в интеллектуальных системах поддержки выбора эффективного портфеля с учетом склонности к риску лица принимающего решение.
- Полученные теоретические и практические результаты могут быть использованы в виде методики на предприятиях.
- Применение использованных в исследовании универсальных программных средств, таких как MS Excel, Cplex и т.п. не позволяют решать задачи большой размерности. Направление дальнейшего исследования — построение программного обеспечения, позволяющего за счет учета специфики задачи решать задачи большой размерности.

#### Список используемых источников

1. Panyukov, A. V. Teleghin V.A. Forming of Discrete Mechanical Assembly Production Program/ A. V.Panyukov, V. A.Teleghin // Journal of Computational and Engineering Mathematics. — 2015. — Vol. 2. No 1. — С. 57-64.
2. Schlegel D., Frank F., Britzelmaier B. Investment decisions and capital budgeting practices in German manufacturing companies. // International Journal of Business and Globalisation. — 2016. — Vol. 16. No 1. — С. 66-78.
3. Кибзун, А. И. Задача стохастического программирования с вероятностными критериями / А.И. Кибзун. — ФИЗМАТЛИТ, 2009. — 372с.
4. Козина, Е. Н. Математическая модель инвестиционной программы предприятия/ Е.Н. Козина // СБ.трудов XII Всероссийского совещания по проблемам управления (ВСПУ-2014) Москва, 16-19 июня. — М.: ИПУ РАН, 2014.— С.1250-1253
5. Математические методы и модели для менеджмента / В.В. Глухов, М.Д. Медников, С.Б. Коробко. — СПб.: Лань, 2005. — 528с.
6. Новоселов, А. И. Математическое моделирование финансовых рисков: Теория измерения/ А.И. Новоселов. — Новосибирск: Наука, 2001. — 102с.
7. Панюков, А.В. Математическое моделирование экономических процессов/А.В. Панюков.— Москва: URSS, 2009. — 191с.

# Гибридный алгоритм выбора технологической схемы для переработки медно-колчеданных руд

Е.А. Горбатова  
ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт минерального сырья им. Н.М. Федоровского»  
Москва, Россия  
e-mail: [lena\\_gorbatova@mail.ru](mailto:lena_gorbatova@mail.ru)

Е.А. Емельяненко  
Институт горного дела и транспорта,  
ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»  
Магнитогорск, Россия  
e-mail: [emv31@mail.ru](mailto:emv31@mail.ru)

М.В. Зарецкий  
Институт энергетики и автоматизированных систем  
ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»  
Магнитогорск, Россия  
e-mail: [m-zaretsky@yandex.ru](mailto:m-zaretsky@yandex.ru)

## Аннотация<sup>1</sup>

Рассмотрено онтологическое описание технологических процессов переработки медно-колчеданных руд. Построена система решающих правил, позволяющая выбирать технологическую схему переработки и ее основные параметры в зависимости от промышленного сорта, технологического типа, минералогического типа рудного сырья и содержания в нем базовых и вредных компонентов. Правила вывода для определения состава, количества и режима применения реагентов в процессе переработки медно-колчеданного сырья построены в нечеткологической парадигме.

## 1. Введение

Цветные металлы, в первую очередь — медь и цинк, востребованы практически во всех отраслях промышленности.

Основными проблемами для производителей меди и цинка являются:

- истощение медно-колчеданных месторождений Южного Урала с высоким содержанием ценных компонентов и, как следствие, необходимость вовлечения в производство бедных, некондиционных руд и техногенных источников минерального сырья;

- наличие токсичных компонентов в отходах и, как следствие, возрастающие затраты на их складирование в хвостохранилищах или захоронение в химически связанном виде с соблюдением экологических норм.

Перерабатывающие предприятия должны иметь возможность настройки технологических процессов с учетом характеристик поступающего сырья. Оперативный выбор наиболее приемлемого варианта технологической схемы переработки рудного сырья возможен при наличии автоматизированной системы технологической подготовки производства (АСТПП).

Важнейшим элементом АСТПП является система поддержки принятия решений (СППР), позволяющая оценить возможные варианты технологического процесса переработки минерального сырья.

Методологической основой СППР являются теоретические разработки в предметной области [1, 2].

Принципы формализации знаний и методологии работы с формализованными знаниями изложены в [3, 4].

Методология онтологического подхода для построения СППР изложена в [5].

Методология многокритериального выбора в условиях неопределенности изложена в [6].

В публикациях [7, 8] были рассмотрены системы поддержки принятия решений для определения наиболее целесообразного для заданных условий технологического процесса.

В данной публикации рассматриваются алгоритмы выбора наиболее целесообразных параметров

---

Труды пятой всероссийской конференции "Информационные технологии интеллектуальной поддержки принятия решений", 16 - 19 мая, Уфа, Россия, 2017

технологических процессов. Ввиду того, что многие факторы, влияющие на процессы переработки медно-колчеданных руд, плохо поддаются формализации, правила вывода в некоторых случаях сформулированы в нечеткологической парадигме.

## 2. Цель работы

Представление алгоритма функционирования СППР для рационального выбора технологической схемы переработки медно-колчеданного сырья.

## 3. Алгоритм функционирования СППР

Представим задачу выбора технологической схемы переработки медно-колчеданных руд в формализованном виде. В качестве основы формализации примем онтологический подход [3].

Рассмотрим онтологию

$Onto = \langle C, Pr, V, I, R, A, D \rangle$

Здесь:

- $C$  — множество классов;
- $R$  — множество отношений;
- $Pr$  — свойства классов;
- $V$  — значения свойств;
- $I$  — множество экземпляров класса;
- $A$  — множество аксиом;
- $D$  — множество алгоритмов вывода.

В нашем случае рассматриваются классы:

- $C_1$  — рудный поток (исходное рудное сырье);
- $C_2$  — рудное сырье в процессе переработки;
- $C_3$  — товарная продукция;
- $C_4$  — отходы производства;
- $C_5$  — технологический процесс;
- $C_6$  — технологическая операция;
- $C_7$  — нормативы.

Класс  $C_1$  имеет следующие свойства:

- $Ind\_Sort$  — промышленный сорт руды (рассматриваются 2 сорта);
- $Tech\_Type$  — технологический тип руды (рассматриваются 2 типа);
- $Char\_Ore$  — характер оруднения (рассматриваются 3 варианта);
- $Min\_Type$  — минералогический (природный) тип (рассматривается 6 типов).
- $PCu$  — содержание меди (в процентах);
- $PZn$  — содержание цинка (в процентах);
- $PS$  — содержание серы (в процентах);

- $PAs$  — содержание мышьяка (в процентах).

Классы  $C_2, C_3, C_4$  имеют свойства  $PCu, PZn, PS, Pas$ .

Класс  $C_5$  имеет следующие свойства;

- $Proc\_Type$  — тип технологического процесса (рассматриваются 3 типа);
- $Proc\_Chain$  — последовательность технологических операций (список из экземпляров класса  $C_6$ ).

Класс  $C_6$  имеет свойства:

- $Op\_Type$  — тип операции (рассматриваются 2 типа);
- $Op\_Equip$  — оборудование для проведения технологической операции;
- $Op\_Res$  — материальные ресурсы для проведения операции (вода, реагенты, расходные материалы) на тонну перерабатываемого сырья;
- $En\_Res$  — энергетические ресурсы для проведения операции (электроэнергия, тепловая энергия) на тонну перерабатываемого сырья;
- $Op\_Mode$  — режим проведения операции (список: температура, давление, pH, рабочий объем, плотность пульпы, скорость подачи воздуха, скорость перемешивания, длительность цикла флотации).

Класс  $C_7$  имеет свойства:

- $NormCu\_Raw$  — минимальное содержание меди в рудном сырье;
- $NormZn\_Raw$  — минимальное содержание цинка в рудном сырье;
- $NormCu\_Prod$  — минимальное содержание меди в товарной продукции (медном концентрате);
- $NormZn\_Prod$  — минимальное содержание цинка в товарной продукции (цинковом концентрате);
- $NormS\_Prod$  — максимальное содержание серы в товарной продукции;
- $NormAs\_Prod$  — максимальное содержание мышьяка в товарной продукции (медном концентрате);
- $NormCu\_Waste$  — максимальное содержание меди в отходах;
- $NormZn\_Waste$  — максимальное содержание цинка в отходах.

Рассмотрим значения свойств класса  $C_1$ .



- $Ind\_Sort$  — 0 (медистый колчедан), 1 (медисто-цинковистый колчедан);
- $Tech\_Type$  — 0 (медная руда), 1 (медно-цинковая руда).
- $Char\_Ore$  — 0 (сплошной тип), 1 (вкрапленный), 2 (прожилково-вкрапленный);
- $Min\_Type$  — 0 (пирит-халькопиритовый), 1 (халькопирит-пиритовый), 2 (пирит-халькопирит-сфалеритовый), 3 (халькопирит-сфалерит-пиритовый), 4 (халькопирит-блекловорудно-пиритовый), 5 (сфалерит-халькопирит-блекловорудно-пиритовый)

Значения свойств  $PCu$ ,  $PZn$ ,  $PS$ ,  $Pas$  (для классов  $C_1$ ,  $C_2$ ,  $C_3$ ,  $C_4$ ) определяются по результатам анализов.

Значения свойств класса  $C_5$ :

- $Proc\_Type$  — 0 (селективная флотация), 1 (коллективно-селективная флотация), 2 (комбинированная коллективно-селективная флотация с автоклавным выщелачиванием);
- $Proc\_Chain$  — список операций определяется в процессе проектирования технологического процесса.

Значения свойств класса  $C_6$ :

- $Op\_Type$  — 0 (операция осуществляет механическое воздействие), 1 (операция осуществляет физико-химическое воздействие);
- $Op\_Equip$  — список оборудования для проведения операции;
- $Op\_Res$  — список материальных ресурсов для проведения операции;
- $En\_Res$  — список энергетических ресурсов для проведения операции;
- $Op\_Mode$  — список параметров, нормируемых при проведении операции.

Значения свойств класса  $C_7$  определяются нормативными документами (государственными стандартами, техническими условиями, стандартами предприятия, соглашениями с потребителями продукции).

Для анализа характеристик рудного сырья найдем значение предикатов:

- $P_1 = (PCu \geq NormCu\_Raw)$ ;
- $P_2 = (PZn \geq NormZn\_Raw)$ ;
- $P_3 = P_1 \vee P_2$

Если предикат  $P_3$  принимает значение «ложь», рудное сырье признается некондиционным. Выбор способа работы с некондиционным сырьем рассмотрен в [8]. Если предикат принял значение

«истина», сырье признается кондиционным, продолжается выбор технологии его переработки.

Находятся значения предикатов:

- $Q_1 = (Ind\_Sort = 0) \wedge (Tech\_Type = 0) \wedge (Char\_Ore = 0) \wedge (Min\_Type = 0)$ ;
- $Q_2 = (Ind\_Sort = 0) \wedge (Tech\_Type = 0) \wedge (Char\_Ore = 1) \wedge (Min\_Type = 1)$ ;
- $Q_3 = (Ind\_Sort = 0) \wedge (Tech\_Type = 0) \wedge (Char\_Ore = 2) \wedge (Min\_Type = 1)$ ;
- $Q_4 = (Ind\_Sort = 1) \wedge (Tech\_Type = 1) \wedge (Char\_Ore = 0) \wedge (Min\_Type = 2)$ ;
- $Q_5 = (Ind\_Sort = 1) \wedge (Tech\_Type = 1) \wedge (Char\_Ore = 1) \wedge (Min\_Type = 3)$ ;
- $Q_6 = (Ind\_Sort = 1) \wedge (Tech\_Type = 1) \wedge (Char\_Ore = 2) \wedge (Min\_Type = 3)$ ;
- $Q_7 = (Ind\_Sort = 0) \wedge (Tech\_Type = 0) \wedge (Char\_Ore = 0) \wedge (Min\_Type = 4)$ ;
- $Q_8 = (Ind\_Sort = 1) \wedge (Tech\_Type = 1) \wedge (Char\_Ore = 0) \wedge (Min\_Type = 5)$ .

При рассматриваемых в настоящее время рудных потоках значение  $T$  («истина») может принять только один из рассматриваемых предикатов. Если значение всех предикатов  $F$  («ложь»), рассматриваются искаженные данные.

В зависимости от значения рассмотренных предикатов, определяется способ переработки:

- $Q_1 = T \rightarrow Proc\_Type = 1$ ;
- $Q_2 = T \rightarrow Proc\_Type = 0$ ;
- $Q_3 = T \rightarrow Proc\_Type = 0$ ;
- $Q_4 = T \rightarrow Proc\_Type = 1$ ;
- $Q_5 = T \rightarrow Proc\_Type = 1$ ;
- $Q_6 = T \rightarrow Proc\_Type = 1$ ;
- $Q_7 = T \rightarrow Proc\_Type = 2$ ;
- $Q_8 = T \rightarrow Proc\_Type = 2$ .

В случае, когда  $(Q_4 \vee Q_5 \vee Q_6 \vee Q_8) \wedge P_2 = T$ , проектируются процессы извлечения меди и цинка.

Параметры процессов селективной и коллективно-селективной флотации определяются на основе статистических зависимостей.

При проведении процесса комбинированной коллективно-селективной флотации с автоклавным выщелачиванием возникает ситуация неопределенности при назначении температуры для автоклавного выщелачивания. При допустимости температурного режима от 160 до 190 градусов Цельсия отсутствуют достоверно установленные статистические зависимости, позволяющие

прогнозировать зависимость результата от технологического режима.

В этих условиях используется процедура многокритериального выбора. Диапазон допустимых температур подразделяется на 3 интервала — от 160 до 170, от 170 до 180, от 180 до 190 градусов Цельсия.

Для диапазонов выстраиваются отношения предпочтения, и находится наиболее приемлемый компромиссный вариант в соответствии с процедурой Саати. Используются три критерия — экологический, экономический, технологический.

Для оценки качества получаемой товарной продукции строятся предикаты:

- $R_1 = (PCu \geq NormCu\_Prod)$ ;
- $R_2 = (PZn \geq NormZn\_Prod)$ ;
- $R_3 = (PS \leq NormS\_Prod)$ ;
- $R_4 = (PAs \leq NormAs\_Prod)$ ;
- $R_5 = (PCu \leq NormCu\_Waste)$ ;
- $R_6 = (PZn \leq NormZn\_Waste)$

Предикат  $R_2$  строится в том случае, когда извлекается цинк.

В случае значения «ложь» для предикатов  $R_1$  или  $R_2$  понижается сортность продукции (медного / цинкового) концентрата с соответствующим понижением цены или концентрат отправляется на доработку гидрометаллургическими способами.

В случае значения «ложь» для предикатов  $R_3$  или  $R_4$  использование концентрата невозможно ввиду его несоответствия нормам охраны труда и экологическим нормам. Концентрат отправляется на доработку гидрометаллургическими способами.

В случае значения «ложь» для предикатов  $R_5$  или  $R_6$  отходы отправляются на доработку гидрометаллургическими способами.

#### 4. Заключение

На основе онтологической парадигмы формализованы знания, необходимые для проектирования технологических цепочек для переработки медно-колчеданных руд:

- сформулирована система предикатов, характеризующих соотношения параметров рудного сырья;
- построена система правил логического вывода для определения технологической схемы;
- выявлены плохо формализуемые процессы и для них предложен нечеткологический алгоритм проектирования;

#### Список используемых источников

1. Технологические решения при переработке медно-колчеданных руд [Текст] / Р.А. Ягудин, Ю.Р. Ягудина, Е.А. Емельяненко // Горный журнал. 2014. - № 7. - С. 30-33
2. Абрамов, А.А. Переработка, обогащение и комплексное использование твердых полезных ископаемых руд / А.А. Абрамов. – М. МГТУ, 2004. – 311 с.
3. Гаврилова, Т.А. Базы знаний интеллектуальных систем / Т.А. Гаврилова, В.Ф. Хорошевский. – СПб.: Питер, 2000. – 384 с.
4. Литвин, В.В. Технології менеджменту знань / В.В. Литвин. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2010. – 260 с.
5. Черняховская, Л.Р. Онтологический подход к разработке правил принятия решений в проектном менеджменте / Л.Р. Черняховская, А.И. Малахова // Информационные технологии и системы: труды Второй междунар. конф. Челябинск: Изд-во Челяб. гос. ун-та, 2013. С. 111-114.
6. Saaty, T. Decision Making with Dependence and Feedback: The Analytic Network Process: the Organization and Prioritization of Complexity. RWS Publications? Pittsburgh, 2001. – 370 p.
7. Горбатова, Е.А. Интеллектуальные методы проектирования технологических процессов переработки минерального сырья // Е.А. Горбатова, Е.А. Емельяненко, М.В. Зарецкий // Информационные технологии и системы: труды Шестой междунар. конф. Челябинск: Изд-во Челяб. гос. ун-та, 2017. С. 93-95
8. Горбатова, Е.А. Нечеткологическое определение способа вовлечения в производство некондиционного сырья в гидрометаллургии / Е.А. Горбатова, М.В. Зарецкий, И.З. Шияхметова // Вісник Нац. техн. ун-ту «ХПІ». Серія: Інформатика та моделювання. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2013. № 19 (992). – С. 10-15.

# Научные публикационные коллаборации с точки зрения теории графов и нечетких множеств

О.С. Логунова

Институт энергетики и автоматизированных систем

Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова  
Магнитогорск, Россия  
e-mail: [Logunova66@mail.ru](mailto:Logunova66@mail.ru)

Д.Я. Арефьева

Институт энергетики и автоматизированных систем

Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова  
Магнитогорск, Россия  
e-mail: [arefewa.daria@rambler.ru](mailto:arefewa.daria@rambler.ru)

Е.А. Ильина

Институт энергетики и автоматизированных систем  
Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова  
Магнитогорск, Россия  
e-mail: [dar\\_nas@mail.ru](mailto:dar_nas@mail.ru)

## Аннотация<sup>1</sup>

В статье приведена и проанализирована проблема представления информации об оценке публикационной активности научно-педагогических работников вуза. Выполнено сопоставление структуры публикационной научной коллаборации и свойств информационной структуры в виде графа. В результате анализа определено, что публикационные коллаборации с присущими им свойствами могут быть представлены в виде ориентированного псевдографа, который является также мультиграфом. Все свойства мультипсевдоорграфа переносятся на граф, отображающий научные коллаборации. Также рассмотрено понятие ложной коллаборации, приведены признаки для ее определения, сформулированы термы и сформирована структура лингвистической переменной. На основе лингвистической переменной и термов, была построена функция принадлежности.

## 1. Введение

В настоящее время в показателях оценки деятельности высших учебных заведений используются показатели публикационной активности научно-педагогических работников. Для объективной оценки результатов научно-исследовательской деятельности вузов появляется

необходимость учета показателей публикационной активности (ППА) и создания информационных систем для хранения и обработки сложно-структурированной информации. В работах [1-3] приведены результаты исследования ППА профессорско-преподавательского состава ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова» (МГТУ), в котором насчитывается около 1000 сотрудников, за четыре года функционирования рейтинговой системы. Расширение набора показателей рейтинговой системы в области публикационной активности и усложнение методик их расчета привело к созданию программного модуля, для которого требуется выбор вида и разработка информационной структуры для хранения информации о публикационных коллаборациях.

В контексте статьи, научная коллаборация подразумевает взаимодействие двух и более научно-педагогических работников (НПР), являющихся частью общего научного исследования (участие в конкурсах, представление и публикация докладов, регистрация программ и т.д.).

## 2. Виды графов и их связь с публикационными коллаборациями

В теории графов предлагается основное определение. **Df1:** Графом  $G$  называется пара  $G = \{V, E\}$ , где  $V$  – множество вершин,  $E$  – множество ребер (отрезков), соединяющих вершины графа. Если ребро  $e$  соединяет две вершины  $v_1$  и  $v_2$ , то их обозначают парой  $(v_1, v_2)$ .

Если в качестве множества  $V$  выбрать множество авторов научных публикаций и в качестве соединения между авторами наличие цитирующих

---

Труды пятой всероссийской конференции "Информационные технологии интеллектуальной поддержки принятия решений", 16 - 19 мая, Уфа, Россия, 2017

ссылок, то получим граф согласно *Df1*. В теории графов вводится классификация графов в зависимости от количества и видов ребер между двумя вершинами (рисунок 1). В таблице 1 приведено

сопоставление видов графов и свойства ссылок между авторами коллаборации для определения вида графа для описания взаимодействия между авторами научной публикации.



Рис. 1. Виды графов

Таблица 1 – Сопоставление видов графов и свойства ссылок между авторами коллаборации

№	Вид графа	Свойство ссылки в публикационной коллаборации
1	Графом с направленными ребрами называется <i>ориентированным</i> или <i>орграфом</i> [4, 5]	Для ссылок в публикации вводим направление: автор рассматриваемой статьи – начало ребра, автор цитируемой статьи – конец ребра.
2	Граф, имеющий ребра, которые соединяют вершину саму с собой, называется <i>псевдографом</i> [4, 5]	Вершина имеет соединение сама с собой, если авторами было выполнено самоцитирование.
3	Граф, имеющий несколько ребер между двумя вершинами, называется <i>мультиграфом</i> [4, 5]	Авторами одной статьи допускается несколько цитирований на работы другого автора.
4	Граф, содержащий ровно одну компоненту связности, называется <i>связным</i> [4, 5]	В граф входят все авторы, рассматриваемой группы и между ними не обязательно могут быть цитирования.
5	<i>Компонента связности графа</i> – некоторое множество вершин графа такое, что для любых двух вершин из этого множества существует путь из одной в другую [4, 5]	
6	<i>Дерево</i> – это граф, обладающий свойствами связности и ацикличности [4, 5]	Не все авторы, представленные в множестве вершин, имеют цитирование и могут возникать циклы при цитировании работ разных авторов.

Обобщая сведения, представленные в таблице 1, можно утверждать, что публикационную коллаборацию можно представить в виде графа  $G$ , который является орграфом, мультиграфом и псевдографом. В графе  $G$  существуют компоненты связности, Граф  $G$  не является деревом. На рис. 2 приведен фрагмент графа для представления публикационной активности.

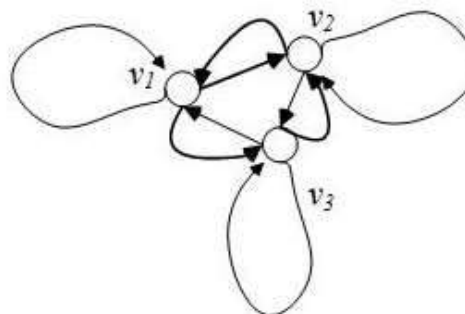


Рис. 2. Фрагмент графа для замкнутой группы из трех авторов

При организации хранения графа в виде матрицы смежности вершин будет получена квадратная несимметричная матрица с ненулевыми элементами на главной диагонали. Каждый элемент матрицы представлен в виде структуры, которая содержит поле кратности ребра и одномерный массив со структурированными элементами. На основе элементов массива определяются истинность признаков ложных коллабораций, приведенных в работе [6].

### 3. Определение ложных коллабораций с помощью нечетких множеств

Для определения ложности коллаборации была введена сложноструктурированная лингвистическая переменная и термы. Структура лингвистической переменной приведена на рисунке 3.

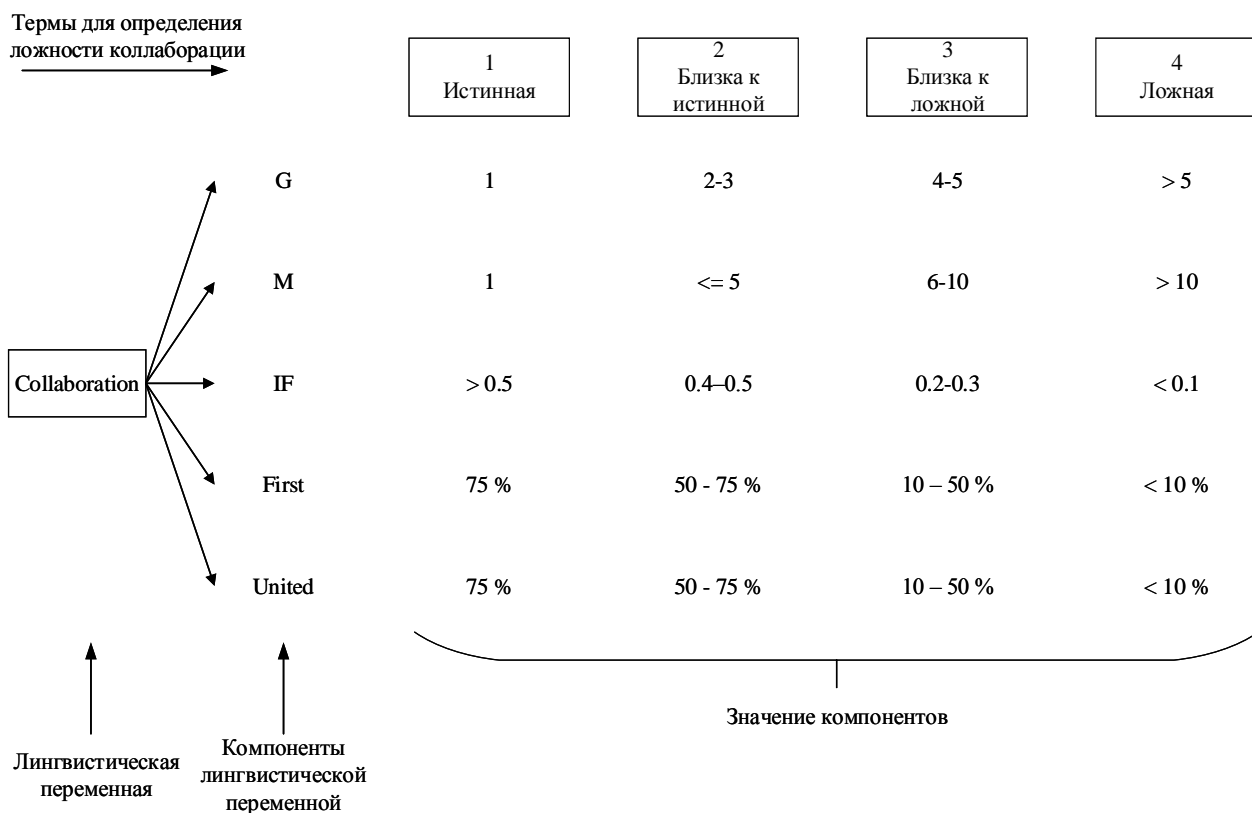


Рис. 3. Структура лингвистической переменной для определения ложных коллабораций

Где  $G$  – количество кодов ГРНТИ,  $M$  – количество соавторов статьи,  $IF$  – значение импакт-фактора журнала,  $First$  – количество работ, в которых выбранный автор указан на первом месте в списке соавторов,  $United$  – количество статей, подготовленных в единоавторстве.

Каждой компоненте лингвистической переменной сопоставлена базовая численная переменная. На

рисунке 4 показана структура одной из лингвистических компонент  $M$ , соответствующая базовой числовой переменной. Введены обозначения:  $M_B$  – базовая численная переменная, которая соответствует лингвистической  $M$ ;  $M_{1min}$ ,  $M_{3min}$  – нижняя граница базовой переменной;  $M_{2max}$ ,  $M_{3max}$  – верхняя граница базовой переменной.

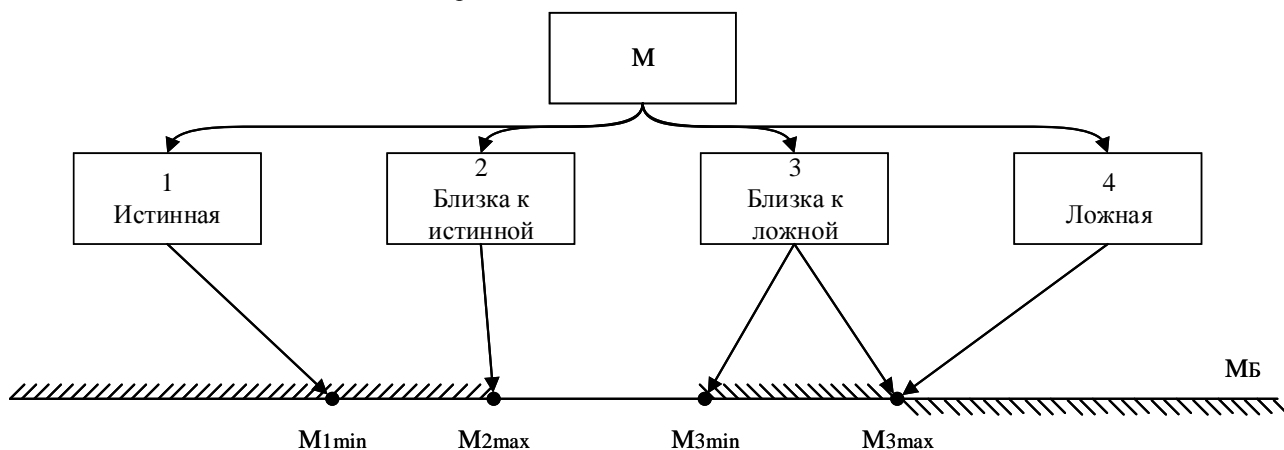


Рис. 4. Структура компоненты  $M$  лингвистической переменной Collaboration

## Заключение

1. Выполнен выбор множеств для описания публикационных коллабораций в виде графа. В

качестве вершин графа определено множество авторов научных публикаций, а в качестве ребер –

наличие цитирований публикаций в исходном издании.

2. Проведено сопоставление видов графов и свойств множеств, введенных для построения графа. По результатам анализа определено, что граф научной публикационной коллаборации является псевдомультиграфом.

3. Учитывая вид получаемого графа, матрица инцидентности является несимметричной с ненулевыми диагональными элементами.

4. Сформирована структура лингвистической переменной и определена базовая численная переменная одной из компонентов лингвистической переменной.

### Список используемых источников

1. Логунова, О.С. Результаты анализа публикационной активности профессорско-преподавательского состава ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова» / О.С. Логунова, А.В. Леднов, В.В. Королева // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. – 2014. – № 3 (47). – С. 78-87.
2. Логунова, О.С. Динамика показателей публикационной активности профессорско-преподавательского состава ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический

университет им. Г.И. Носова» / О.С. Логунова, Л.Г. Егорова, В.В. Королева // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. – 2015. – №3. – С. 101-112.

3. Логунова О.С. Управление деятельностью профессорско-преподавательского состава: моделирование и прогнозирование показателей рейтинговой системы / О.С. Логунова, Е.А. Ильина, В.В. Королева, А.У. Ахметова // Вестник ВГУИТ. – 2016. – № 4. – С. 105–119. DOI: <http://doi.org/10.20914/2310-1202-2016-4-105-119>

4. Харари Ф. Теория графов / Ф. Харари. – М.: Мир. – 1973. – 300с.

5. Оре О. Теория графов / О. Оре. – М.: Наука. – 1980. – 336с.

6. Логунова О.С. Результаты анализа публикационных коллабораций и синтез информационных структур / О.С. Логунова, Е.А. Ильина, Д.Я. Арефьева // Школа-семинар молодых ученых и специалистов в области компьютерной интеграции производства: материалы. Оренбург, Россия. – 2016 г. – С. 257-261.

7. Logunova O.S. Index analysis of academic staff publication activity control / O.S. Logunova, E.A. Ilina, D.Y. Arefeva, N.V. Dyorina // Математическое и программное обеспечение систем в промышленной и социальной сферах. 2015. – № 1 (6). – С. 43-47.

# Разрешение конфликтной ситуации в распределённой динамической системе на основе многоагентного подхода

Ю.В. Зигангирова  
Факультет информатики и робототехники  
Уфимский государственный авиационный  
технический университет  
Уфа, Россия  
e-mail: [julia.zigangirova@mail.ru](mailto:julia.zigangirova@mail.ru)

С.С. Валеев  
Факультет информатики и робототехники  
Уфимский государственный авиационный  
технический университет  
Уфа, Россия  
e-mail: [vss@mail.ru](mailto:vss@mail.ru)

## Аннотация<sup>1</sup>

Рассматриваются распределённые динамические системы, которые формируются при взаимодействии бортовых вычислительных комплексов управляемых динамических объектов в конфликтных ситуациях (на примере систем предупреждения столкновений воздушных судов). Обсуждаются вопросы обеспечения эффективного взаимодействия систем при решении совместных задач. Предлагается рассматривать данную задачу с точки зрения многоагентного подхода.

**Ключевые слова:** управляемый динамический объект, распределённая динамическая система, бортовой вычислительный комплекс, многоагентная система, конфликтная ситуация, воздушное судно.

## 1. Введение

Рассматриваются распределённые динамические системы, формирующиеся при взаимодействии бортовых вычислительных комплексов управляемых динамических объектов при решении некоторых совместных задач.

В качестве таких объектов могут выступать обособленные сложные технические системы, имеющие средства взаимодействия с другими подобными им системами. При этом предполагается, что они способны независимо от других объектов изменять своё пространственное положение, что в ряде случаев может привести к возникновению конфликтных ситуаций: в частности, к угрозе столкновения. Далее в качестве управляемых динамических объектов будем рассматривать воздушные суда (ВС), а в качестве совместной задачи – задачу предупреждения столкновений.

---

Труды пятой всероссийской конференции "Информационные технологии интеллектуальной поддержки принятия решений", 16 - 19 мая, Уфа, Россия, 2017

Процесс разрешения данной конфликтной ситуации представляет собой процесс принятия решения на основе известного набора данных: прежде всего, данных о геометрической конфигурации модели конфликтной ситуации и динамических характеристиках управляемых динамических объектов, участвующих в решении задачи преодоления конфликтной ситуации. При решении задачи принятия решений необходимо использование значительных вычислительных ресурсов специализированных бортовых вычислительных комплексов, включающих в себя как аппаратные средства сбора данных и обеспечения взаимодействия систем, так и соответствующее программное обеспечение.

## 2. Актуальность вопроса

Обеспечение эффективного взаимодействия управляемых динамических объектов при разрешении конфликтных ситуаций и, в частности, воздушных судов в процессе предупреждения столкновений представляет собой актуальную научно-техническую задачу, так как возникновение ошибок в этих процессах может повлечь гибель людей.

По данным Федеральной службы государственной статистики [1], а также по данным базы авиационных происшествий Aviation Safety Network [2], несмотря на существование решений, позволяющих избежать подобных ситуаций (например, бортовых систем предупреждения столкновений), ежегодно в мире происходит около 30-40 происшествий, в которых в среднем погибает 1000 человек, и с каждым годом их количество возрастает. При этом, согласно тем же источникам, процент столкновений ВС в воздухе достигает 10-12% от общего числа авиационных происшествий.

Одной из основных причин столкновений самолётов в воздухе можно назвать несовершенство процессов взаимодействия и согласования между системами предупреждения столкновений (это стало причиной катастрофы над Боденским озером [3]).

Однако известные работы по совершенствованию данных систем и её алгоритмов, в основном направлены на решение задач выработки управляющих воздействий при разрешении конфликтных ситуаций [4] и задач планирования траекторий маневрирования [5]. Работы же по изучению взаимодействия систем при согласовании решений (прежде всего, с точки зрения многоагентного похода) описывают взаимодействие абстрактных объектов и не учитывают специфику предметной области [6].

### 3. Система разрешения конфликтных ситуаций между динамическими объектами

Для разрешения конфликтных ситуаций между ВС используются так называемые Системы предупреждения столкновений самолётов в воздухе (Traffic Alert and Collision Avoidance System, TCAS). Эти системы представляют собой бортовые вычислительные комплексы (бортовые системы), которые позволяют наблюдать за ближним воздушным пространством ВС, идентифицировать наличие других объектов в этой зоне, анализировать информацию о взаимном расположении, и в случае обнаружения угрозы столкновения, выдавать предупреждение пилотам [7]. Если дистанция пролёта (расстояние между ВС в точке наибольшего сближения) оказывается меньше интервала безопасного эшелонирования [8], система предупреждения столкновений просчитывает и выдаёт пилотам рекомендацию по маневрированию.

Бортовая система TCAS для разрешения конфликтных ситуаций между ВС имеет структуру, представленную на рисунке 1, и включает в себя вычислительный блок и соответствующее программное обеспечение (в том числе базу данных/знаний), блок индикации выработанных решений (дисплей, звуковое оповещение), а также блок сбора данных (антенны и сенсоры) и блок передачи данных (транспондер ADS-B).

Взаимодействие TCAS при разрешении конфликтной ситуации осуществляется с помощью специального оборудования – приёмоответчика, или транспондера (англ. transponder, от transmitter-responder). Процесс взаимодействия систем, а также протоколы и форматы сообщений подробно рассматривались в предыдущих работах [9, 10].

### 4. Критерии выбора решений

Как известно, в настоящее время согласование решений представляет собой простое подтверждение получения сообщения со сценарием разрешения конфликтной ситуации, при этом используется правило первого выработанного решения: в качестве общего выбирается сценарий, который был выработан раньше. (В случае одновременной выработки действует так называемое «правило адреса

транспондера»: выбирается сценарий, выработанный системой с более высоким адресом транспондера.)

Таким образом, в известных реализациях рассматриваемых систем в качестве решения выбирается любая стратегия, обеспечивающая дистанцию пролёта не хуже интервала безопасного эшелонирования. При этом в качестве критерия выбора решения выступает время его выработки. Однако такой подход не гарантирует оптимальность по другим критериям. Например, сценарий, выработанный раньше, может предполагать большее отклонение от исходной траектории, что хуже и с точки зрения количества затрачиваемых ресурсов, так и с точки зрения возможности возникновения вторичных (наведённых) конфликтных ситуаций.

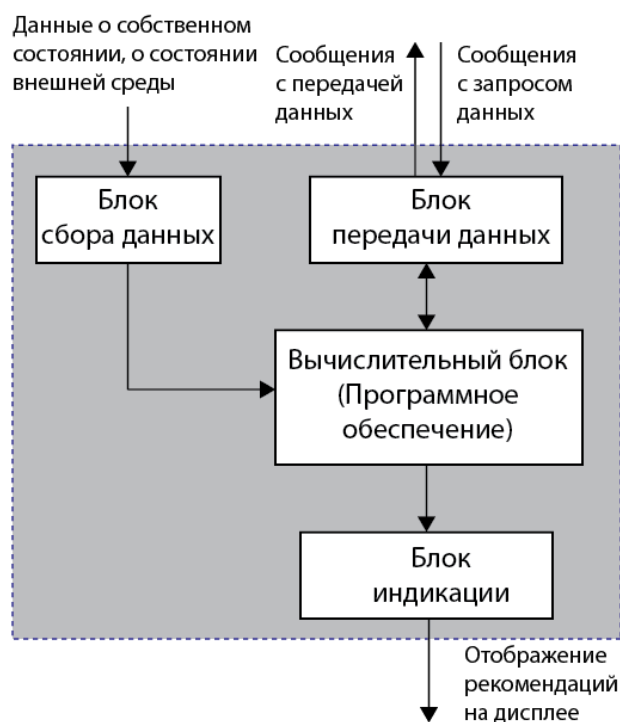


Рис. 1. Структура бортовой системы предупреждения столкновений

В этом случае, если в качестве критерия оптимизации выбрать некоторый критерий эффективности предлагаемого сценария разрешения конфликтной ситуации, то процесс согласования не может состоять в принятии первого выработанного решения. (Далее будем считать, что такой критерий известен и задан.) Таким образом, здесь возникает необходимость так изменить процедуры обмена сообщениями (протокол), чтобы стало возможным решение задачи оптимизации рекомендации.

Необходимо понимать, что включение в структуру диалога дополнительных итераций влечёт за собой увеличение времени принятия решения, следовательно, в ряде случаев применение TCAS, построенной в строгом соответствии с концепцией оптимальности, не желательно. Например, в случае внезапного обнаружения угрозы столкновения.



Поэтому предлагается реализация TCAS в соответствии с концепцией адаптивного поведения, что означает, что правило выбора решения может изменяться при изменении ситуации.

Следовательно, алгоритмами TCAS должна быть предусмотрена возможность в зависимости от текущей ситуации изменять критерий поиска решения: либо использовать критерий времени выработки решения, либо – критерий его эффективности.

Суть предлагаемых изменений заключается во введении в процесс разрешения конфликтной ситуации этапа оптимизации рекомендаций и соответствующей дополнительной координации.

В этом случае после выработки некоторой предварительной рекомендации система предупреждения столкновений отправляет координационный запрос, содержащий информацию об этой рекомендации, другой системе. После её получения вторая система отправляет аналогичный запрос первой, после чего происходит решение оптимизационной задачи в соответствии с заранее определённым критерием эффективности. В процессе разрешения конфликтной ситуации между двумя воздушными судами данная задача фактически сводится к сравнению двух сценариев и выбору наилучшего. Поскольку сравнение представляет собой простую задачу, имеющую единственное

решение, то согласование полученных двумя системами результатов возможно по правилу первого выработанного решения.

## 5. Многоагентная система

В работе рассматривается реализация взаимодействия систем предупреждения столкновений TCAS с точки зрения многоагентного подхода. При этом алгоритмы взаимодействия агентов, во-первых, должны включать решение задачи оптимизации рекомендаций по некоторому критерию и соответствующей дополнительной координации, а во-вторых, должны предусматривать возможность изменения критериев поиска оптимального решения в зависимости от текущей ситуации: использовать либо критерий, учитывающий время выработки решения, либо – критерий, учитывающий эффективность решения (сценария) по заданным показателям.

Таким образом, в работе предлагается перейти от жёстких программных алгоритмов к многоагентному взаимодействию [10, 11]. Тогда рассматриваемые системы можно представить в виде интеллектуальных агентов, принимающих совместные решения, а сами системы объединяются в более сложную структуру – многоагентную систему (рис. 2). При этом формируется новый уровень решения совместной задачи – уровень координации.



Рис. 2. Структура многоагентной системы

## 6. Заключение

В работе рассмотрены бортовые вычислительные комплексы разрешения конфликтных ситуаций на примере систем предупреждения столкновений, показана их структура. Обсуждались основные критерии, которые возможно использовать при выработке решений для разрешения конфликтных ситуаций, а также вопросы взаимодействия систем

при их согласовании. Также была показана структура системы, формирующейся в момент такого взаимодействия вычислительных комплексов в виде многоагентной системы.

## Список используемых источников

1. Россия в цифрах. 2015: Крат. стат. сб. / Росстат – М., 2015. – 543 с.

2. Aviation Safety Network > Statistics [Электронный ресурс] // Aviation Safety Network. URL: <http://aviation-safety.net/statistics/> (дата обращения: 02.04.2016).
3. Столкновение над Боденским озером // Википедия: свободная энциклопедия URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Столкновение\\_над\\_Боденским\\_озером](https://ru.wikipedia.org/wiki/Столкновение_над_Боденским_озером) (дата обращения 10.03.2017)
4. Кумков С.И., Пятко С.Г. Задача обнаружения и разрешения конфликтных ситуаций в автоматизированной системе управления воздушным движением // Научный вестник «НИИ Аэронавигации» – №12 – М., 2013. – С. 35-45.
5. Sislak D. Agent-based Approach to Air-Traffic Modeling, Simulation and Collision Avoidance: Collection of Articles with Commentary – Prague, 2013.
6. Паронджанов С.С. Модели, методы и программные средства организации взаимодействия интеллектуальных агентов: Автореф. ... дис. канд. техн. наук: 05.13.11 / Паронджанов Сергей Сергеевич. – М., 2008.– 23 с.
7. Doc 9863 ICAO, Руководство по бортовой системе предупреждения столкновений (БСПС) // ICAO — 2006.
8. Doc 9574 ICAO, Руководство по применению минимума вертикального эшелонирования в 300 м между ЭП 290 и ЭП 410 включительно // ICAO – 2006.
9. Валеев С.С., Зигангирова Ю.В. Протоколы взаимодействия динамических систем для разрешения конфликтных ситуаций // Материалы 3-ей международной конференции «Информационные технологии интеллектуальной поддержки принятия решений 2015». – Уфа, 2015. – С. 102-106.
10. Ayguzina Yu.V., Valeev S.S. Multiagent approach for collision avoidance systems in aviation, in Vestnik UGATU, vol. 18, no. 5 (66), pp. 15-19, 2014.
11. Ayguzina Yu.V., Valeev S.S. Multiagent approach for collision avoidance systems, in Proceedings of the 2nd International Conference «Information Technologies for Intelligent Decision Making Support» and the Intended International Workshop «Robots and Robotic Systems», Ufa, vol. 8, pp. 8-11, 2014.

# Структурно-параметрический синтез геоинформационной системы зонального управления транспортными процессами на основе паттернов

Т.И. Михеева

Факультет информатики

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева

Самара, Россия

e-mail: MikheevaTI@its-spc.ru

О.К. Головнин

Факультет информатики

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева

Самара, Россия

e-mail: golovnin@ssau.ru

## Аннотация<sup>1</sup>

Статья посвящена структурно-параметрическому синтезу сетевидной системы управления транспортными процессами на основе теории паттернов и атрибутивно-ориентированных моделей классов предметной области. Разработаны паттерны синтеза системы управления, формируемой на основе геоинформационной системы с электронной картой урбанизированной территории. Описаны паттерны, обеспечивающие формирование атрибутивных, топологических, знаковых и функциональных зон управления. Построена иерархия архитектурных уровней системы, описана структура взаимодействия компонентов и общая схема системы управления.

## 1. Введение

Задача структурно-параметрического синтеза системы управления транспортными процессами потребует выполнения декомпозиции предметной области на классы объектов и определения регламента отношений, влияния атрибутов объектов различных классов, соподчиненности объектов и классов, для чего резонно использовать атрибутивно-ориентированные модели, построенные на основе объектно-ориентированных и геоинформационных технологий [1,2,3].

Теория паттернов обладает большой гибкостью, глубиной математических и философских идей и может быть использована в различных областях знаний [4,5]. Привлекательно ее использование для синтеза зональной сетевидной системы управления транспортными процессами [6,7,8].

---

Труды пятой всероссийской конференции "Информационные технологии интеллектуальной поддержки принятия решений", 16 - 19 мая, Уфа, Россия, 2017

## 2. Паттерны синтеза системы управления

Под паттерном проектирования будем понимать описание взаимодействия объектов и классов, адаптированных для решения общей задачи проектирования в конкретном контексте [4,5,9].

### 2.1. Паттерны атрибутивного зонирования

Каждый класс объектов, наполняющих транспортную инфраструктуру (ТрИ), представляется в виде набора атрибутов, описывающих различные аспекты объекта: структурные, параметрические, функциональные.

#### Паттерны типизации атрибутов

**Семантический атрибут.** Паттерн «Семантический атрибут» описывает характеристику объекта ТрИ, относящуюся к сущности класса объекта. Семантические атрибуты описывают «смысл» объекта ТрИ.

Например, тип  $type^{TZ} \in N = \{1, 2, \dots, n\}$  дорожного знака, определенный ГОСТ Р 52290-2004, является семантическим атрибутом объектов класса  $\tilde{t}_i^Z \in \tilde{T}^Z$ . Данный атрибут определяет «сущность» знака и его управляющее воздействие  $\tilde{U}$ .

**Тематический атрибут.** Паттерн «Тематический атрибут» предназначен для осуществления привязки объектов классов, наполняющих ТрИ, к тематическому слою электронной карты. Паттерн описывает атрибут, определяющий принадлежность объекта ТрИ тематическому слою электронной карты. Атрибут не описывает пространственное расположение объекта ТрИ.

Например, объекты классов «Светофор» и «Дорожный знак» привязаны тематическим атрибутом к слою электронной карты «Опоры», содержащим информацию о пространственном расположении точек дислокации объектов ТрИ, монтируемых на кронштейнах, консолях, независимых, световых опорах и опорах-растяжках.

Другой пример: сигнальные столбики, дорожные и пешеходные ограждения привязаны к тематическому слою «Ограждения», который обобщает их по функциональному назначению (направляющие и ограждающие функции).

**Пространственный атрибут.** Паттерн «Пространственный атрибут» описывает расположение объекта ТрИ в пространстве с использованием одной из общепринятых систем координат, например WGS-84, но не описывает его принадлежность тематическому слою.

**Атрибут визуализации.** Паттерн «Атрибут визуализации» описывает способ базового

представления объекта ТрИ на электронной карте. Если данный атрибут указан, то отображение происходит в соответствии с описанным методом для объектов класса  $Algorithm \Rightarrow A\_CustomRenderer$ , если атрибут не указан, то в соответствии с общепринятым представлением  $Algorithm \Rightarrow A\_BaseRenderer$  (рис. 1).

Например, для задач, требующих визуализации типов дорожной разметки, применяется  $A\_CustomRenderer \Rightarrow A\_RoadMarkingRenderer$ , представляющий линию дорожной разметки изображением, определенным ГОСТ Р 52290-2004. Для задач, не требующих точной визуализации, линия дорожной разметки представляется ломаной линией единичной толщины.

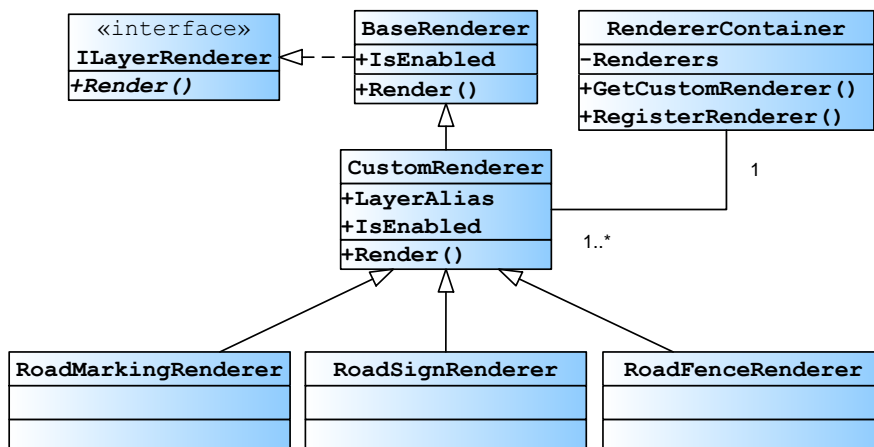


Рис. 1. Диаграмма реализации паттерна «Атрибут визуализации»

### Паттерны формирования набора атрибутов

**Генератор атрибутов.** Паттерн «Генератор атрибутов» предназначен для формирования набора атрибутов, требуемых какому-либо применяемому методу в среде синтезируемой системы.

Например, существуют различные способы описания состава транспортного потока  $\tilde{S} = \{\tilde{s}_i\}$ , выдвинутые в нормативно-правовых или отраслевых методических документах. Для формирования набора атрибутов, описывающих состав транспортного потока (ТрП) в соответствии с применяемым способом, используется реализация паттерна «Генератор атрибутов». Для каждого способа описания состава ТрП формируется набор типов транспортных средств  $Type^S$  и коэффициенты приведения к легковому автомобилю  $k_i^S$ . Такой способ позволяет единообразно использовать в системе данные о составе ТрП, полученные и обработанные различными способами.

**Атрибутный фильтр.** Паттерн «Атрибутный фильтр» предназначен для отбора атрибутов, требуемых для выполнения какой-либо операции. Для реализации паттерна описываются ограничения на значения атрибута: «входит в набор», «содержит», «равно», «больше», «меньше», «не» (отрицание). На один атрибут может быть наложена комбинация

ограничений. Например, для формирования правил приоритета при проезде нерегулируемых перекрестков ( $Algorithm \Rightarrow A\_MainRoad$ ), требуется получить информацию о том, какая дорога является главной, а какая – второстепенной. Для этого формируется атрибутный фильтр, позволяющий получить информацию о существующих дорожных знаках приоритета и зоне их действия. Другим примером может выступить задача формирования мест концентрации дорожно-транспортных происшествий (ДТП) – «очагов аварийности». Метод поиска очагов аварийности  $Algorithm \Rightarrow A\_FireCenter$  запрашивает атрибуты ДТП, описывающие пространственную и временную привязку ДТП.

### 2.2. Паттерны топологического зонирования

Паттерны топологического зонирования предназначены для инкапсуляции пространственных функций, обеспечивающих дислокацию и пространственный анализ объектов ТрИ.

Реализация каждого паттерна топологического зонирования включает в себя следующие инструменты:

- создание объекта – инструмент, обеспечивающий комплекс мероприятий по дислокации объекта ТрИ на электронную

карту: указание семантических атрибутов объекта ТрИ (сущность объекта), указание тематического атрибута объекта (тематический слой карты), указание пространственного атрибута (расположение);

- редактирование пространственного атрибута – инструмент, позволяющий изменять пространственное представление объекта;
- редактирование способа визуализации – инструмент, позволяющий описать способ визуализации объекта  $Algorithm \Rightarrow A\_CustomRenderer$  и задать атрибут визуализации;
- удаление объекта – инструмент, обеспечивающий удаление всех созданных атрибутов: семантических, тематического и топологического.

**Объект-точка.** Паттерн «Объект-точка» описывает инструменты зонирования объектов ТрИ, чье пространственное расположение может быть представлено точкой  $coord \in Z^{1 \times 2}$ , где  $Z^{1 \times 2}$  – множество векторов размером 2. Объект-точка представляет объект ТрИ, который в геометрическом смысле характеризуется своим положением в пространстве, но не размерами. В качестве объекта-точки в синтезируемой системе выступают узлы графа улично-дорожной сети (УДС), опоры дорожных знаков и светофоров, камеры фиксации правонарушений, инциденты, придорожные объекты.

Инструмент, позволяющий изменять пространственное представление объекта-точки, реализует только функцию перемещения точки.

**Объект-линия.** Паттерн «Объект-линия» описывает инструменты зонирования объектов ТрИ, чье пространственное расположение может быть представлено линией или ломаной линией  $coord \in Z^{2 \times k}$ , где  $Z^{2 \times k}$  – множество матриц размером  $2 \times k$ . Объект-линия (в геометрическом смысле) – это кривая в пространстве, являющаяся основным базисом для обозначения путей перемещения и протяженных объектов ТрИ в пространстве. В качестве объекта-линии в системе выступают дуги графа УДС, сечения участка УДС, линии дорожной разметки, ограждения.

Инструмент, позволяющий изменять пространственное представление объекта-линии, реализует функции перемещения по электронной карте и поворота объекта-линии, позволяет редактировать каждую точку, составляющую линию, в отдельности от остальных.

**Объект-полигон.** Паттерн «Объект-полигон» описывает инструменты зонирования объектов ТрИ, чье пространственное расположение может быть представлено координатами вершин многоугольника

$coord \in Z^{2 \times k}$ , где  $Z^{2 \times k}$  – множество матриц размером  $2 \times k$ , первая и последняя координаты совпадают. Объект-полигон – абстракция для обозначения объектов ТрИ, имеющих протяженность в двумерном пространстве. Область, представленная объектом-полигоном, может иметь отверстия (пустоты) и состоять из нескольких непересекающихся частей. В качестве объекта-полигона в системе выступают участки УДС и их производные, например, магистрали.

Инструмент, позволяющий изменять пространственное представление объекта-полигона, реализует функции перемещения по электронной карте и поворота объекта-полигона, позволяет редактировать каждую точку, составляющую полигон, в отдельности от остальных, позволяет добавлять в полигон отверстия или формировать полигон из непересекающихся частей.

### 2.3. Паттерны знакового зонирования

Паттерны знакового зонирования описывают влияние объектов, процессов и явлений ТрИ на ТрП, при этом влияние рассматривается с точки зрения знаковой однородности объектов классов предметной области «Управление транспортными процессами».

**Камера фиксации правонарушений.** Паттерн «Камера фиксации правонарушений» определяет пространственный (точечный) объект ТрИ, обладающий положительным влиянием на индекс эффективности управления. Радиус влияния определяется рабочей областью дислоцированной камеры. Мощность влияния камер фиксации зависит от типа фиксируемого нарушения.

**Очаг аварийности.** Очаг аварийности на перегоне или перекрестке в долгосрочной перспективе приводит к ухудшению дорожной ситуации. Своевременные контрмеры позволяют снизить мощность влияния очага аварийности на ТрП. Паттерн «Очаг аварийности» определяет пространственный (точечный) объект ТрИ, обладающий отрицательным влиянием на индекс эффективности управления. Радиус влияния очага аварийности определяется его расположением: для перекрестка – это зона перекрестка, для перегона – зона с радиусом 50 м.

**Ремонт дороги.** Паттерн «Ремонт дороги» определяет пространственный (полигональный) объект ТрИ, обладающий отрицательным влиянием на индекс эффективности управления. Радиус влияния определяется пространственным представлением «Ремонта дороги» – полигоном.

### 2.4. Паттерны функционального зонирования

Паттерны управления транспортным процессом, предназначенные для решения задач мониторинга,

управления перевозками, транспортными потоками и обеспечения безопасности.

**Мониторинг.** Задачи мониторинга статических и динамических характеристик объектов, процессов и явлений ТрИ решаются с помощью паттерна «Мониторинг», реализующего *Algorithm* ⇒ *A\_Monitoring* и снабженного правилами по передаче полученных данных в хранилище, например, базу данных. Правила формируются для каждой получаемой характеристики таким образом, что одна и та же характеристика может быть представлена несколькими атрибутами, хранящимися в различных таблицах базы данных.

**Атрибут-статус.** Паттерн «Атрибут-статус» определяет атрибут, обозначающий текущее состояние связанного с атрибутом объекта ТрИ: установлен ли объект на УДС (существует), требуется установить данный объект (установить), требуется демонтировать данный объект (демонтировать).

Атрибут-статус присоединяется ко всем объектам ТрИ, наличие которых или отсутствие может привести к выработке управляющих воздействий. Например, дорожные знаки, установленные на УДС, помечаются статусом «существует». При разработке необходимой и достаточной дислокации дорожных знаков, существующие дорожные знаки могут быть помечены статусом «демонтировать», если их расположение или управляющее воздействие некорректно. Проектируемые дорожные знаки помечаются статусом «установить». Такое описание состояний объектов ТрИ позволяет решать как задачи управления (путем изменения дислокации), так и задачи инвентаризации и обслуживания.

**Экспертная дислокация ТСОДД.** Паттерн позволяет осуществлять поддержку принятия решений по дислокации технических средств организации дорожного движения (ТСОДД), просматривая описания прецедентов (паттернов) решения аналогичных задач в базе данных. Для этого формируется отдельная база данных «Прецеденты», состоящая из описаний прецедентов, отражающих характерные свойства задачи поиска решения. Принятие решения сводится к сопоставлению паттернов с описанием текущей ситуации поиска решения [10].

**Знак маршрутного ориентирования.** Дорожные знаки маршрутного ориентирования могут использоваться для канализирования ТрП. Паттерн знака маршрутного ориентирования описывает его нормативные размеры и правила формирования содержимого.

**Дорожный знак переменной информации.** Эффективными средствами воздействия на ТрП являются управляемые дорожные знаки и табло переменной информации. Для формирования модели управления таким знаком используется паттерн «Дорожный знак переменной информации», описывающий все возможные изображения, которые знак может визуализировать, и программу управления знаком (алгоритмы смены изображений).

### 3. Архитектурные паттерны системы

Синтезируемая система управления транспортными процессами представляет собой многоуровневую сеть взаимодействующих друг с другом подсистем, обеспечивающих различные направления функционирования системы (рис.2).

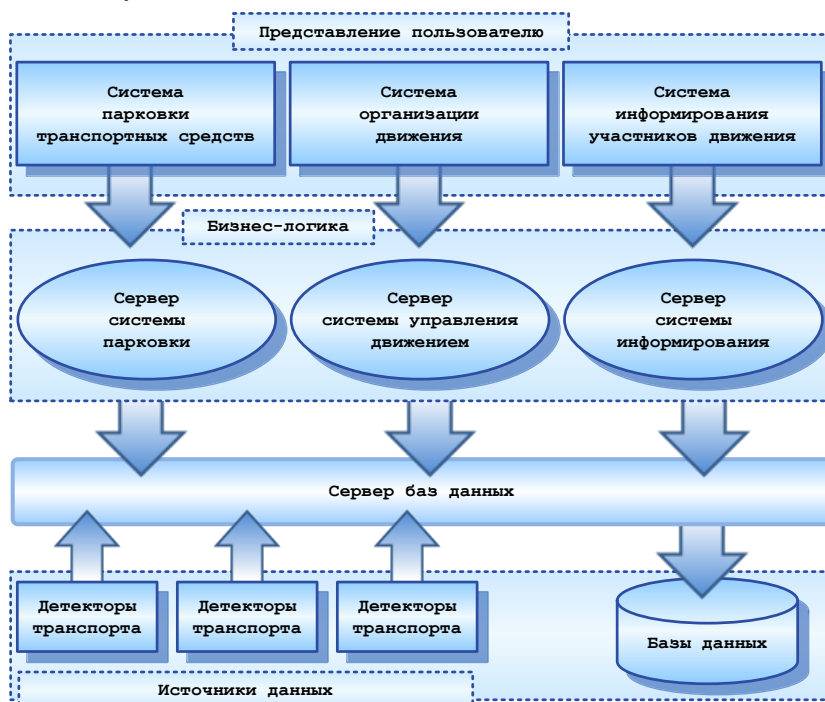


Рис. 2. Иерархия архитектурных уровней системы

Структурные элементы системы организуются в отдельные уровни с взаимосвязанными функциями следующим образом: на нижнем уровне располагаются службы общего назначения, на более высоких – службы, обеспечивающие бизнес-логику и представление пользователю.

Уровень представления охватывает средства обеспечения взаимодействия пользователя с системой. К функциям верхнего уровня представления относится отображение информации и интерпретация вводимых пользователем команд, которые преобразуются для выполнения операций с привлечением бизнес-логики. Источник данных представляет сервисы, обеспечивающие взаимодействие со сторонними системами, например, с целью получения данных.

При синтезе системы управления транспортными процессами учитывается территориальная распределенность источников и баз данных: данные, которые система использует в процессе функционирования, могут храниться не только в базах данных самой системы, но и в базах данных обслуживающих транспортную инфраструктуру организаций. Описанная трехуровневая архитектура является основной концепцией создания системы управления транспортными процессами, т.к. при такой структуре любая организация может интегрироваться в синтезируемую систему со своей

существующей базой данных или транспортной (дорожной) геоинформационной системой, содержащей сведения об объектах, процессах и явлениях ТрИ.

Преимущества трехуровневой архитектуры в задаче управления транспортными процессами заключаются в [9]: надежности системы (за счет возможности включения в конфигурацию резервирующих серверов), гибкости настройки и модификации без изменения функционирования всей системы в целом, свободе выбора программного обеспечения для реализации системы, подсистем, модулей.

Децентрализованный подход к синтезу системы позволяет адаптироваться к специфическим требованиям при управлении транспортными процессами, когда для решения возникающих задач требуется формировать различные конфигурации подсистем и обеспечивать их взаимодействия.

Гибридность и многофункциональность синтезируемой системы требует определения механизма взаимодействия нескольких разнородных подсистем, их интеграции в единое пространство данных и функционалов [11].

Интегрирующей средой (интегратором) является сервер приложений, предоставляющий сервисы системы и определяющий интерфейсы доступа к ним (рис. 3).

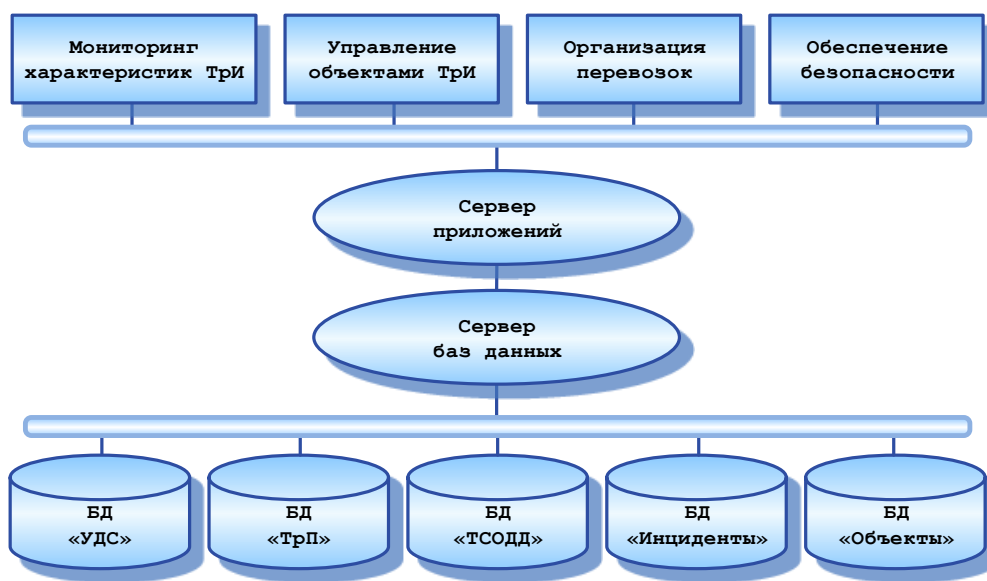


Рис. 3. Структура взаимодействия компонентов системы

Основные функции, выполняемые сервером приложений:

- проверка и разграничение прав доступа пользователей и подсистем к данным;
- связь баз данных с остальными компонентами системы;
- синхронизация данных у всех подключенных клиентов;

- организация многопользовательского доступа к данным с разрешением конфликтов.

Системы управления базами данных со стандартными интерфейсами доступа, к которым обращаются клиентские приложения, объединены через сервер баз данных. Такая организация доступа к данным позволяет автоматически отображать изменения, произведенные в одном из клиентских приложений, в других. За решение конфликтов

конкурирующих изменений в данных на этом уровне отвечает сервер баз данных.

В синтезируемой системе (рис. 4) знание текущей информации о динамическом состоянии зоны

управления позволяет организовать оптимальное управление с адаптацией к изменяющимся внешним условиям и принимать своевременные решения при возникновении нештатных ситуаций на УДС.

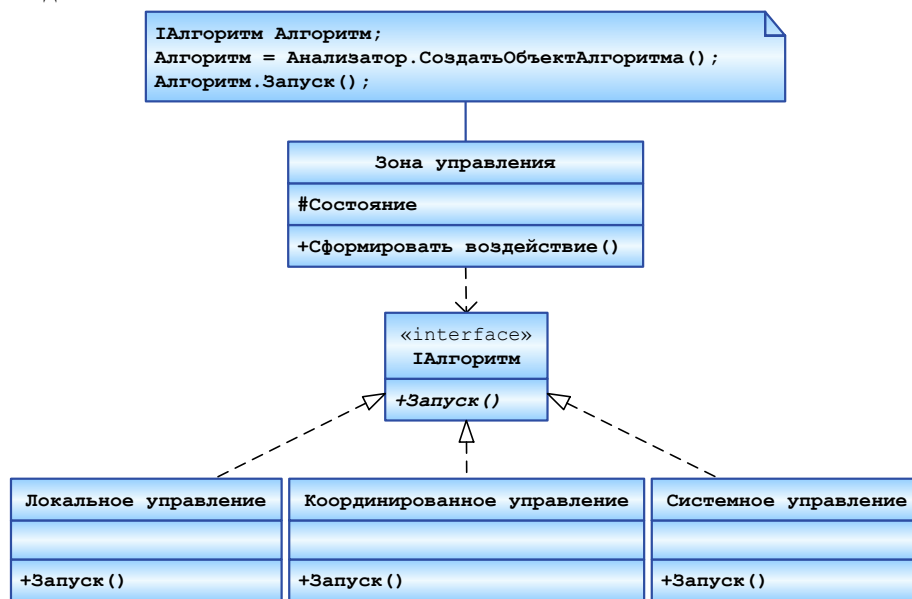


Рис. 4. Диаграмма реализации паттерна управления транспортными процессами

#### 4. Заключение

- Разработаны паттерны синтеза системы управления, обеспечивающие формирование атрибутивных, топологических, знаковых и функциональных зон управления в синтезируемой системе.
- Разработана многоуровневая архитектура системы управления транспортными процессами, формируемая на основе геоинформационной системы с электронной картой урбанизированной территории.

#### Список используемых источников

1. Многоуровневое управление динамическими объектами / В.И. Васильев, Ю.М. Гусев, В.Н. Ефанов [и др.]. – М.: Наука, 1987. – 310 с.
2. Христодуло О.И. Совместное описание пространственных и атрибутивных данных на основе многомерных информационных объектов // Программные продукты и системы. – 2011. – № 3 (95). – С. 48-54.
3. Михеева Т.И., Михеев С.В., Головнин О.К. Параметризация управляющих объектов урбанизированной территории // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. –2015. –Т.17,№2(5). – С.1058-1062.
4. Grenander U. General Pattern Theory // Oxford University Press, 1993. – 904 p.
5. Wolfgang P. Design patterns for object-oriented software development. – New York: Addison-Wesley, 1995. – 268 p.

6. Затуливетер Ю.С., Фищенко Е.А. Графодинамические системы с сетевым управлением в математически однородном поле компьютерной информации // Управление большими системами. – 2010. –№30.1. –С.567-604.
7. Юсупова Н.И., Ризванов Д.А. Интеллектуальная поддержка принятия решений при управлении ресурсами сложных систем на основе многоагентного подхода // Онтология проектирования. –2015. – Т.5,№3(17). –С. 297-312.
8. Михеева Т.И., Головнин О.К., Федосеев А.А. Паттерновое проектирование интеллектуальных транспортных систем // Современные проблемы науки и образования. – 2012. – № 6; URL: [www.science-education.ru/ru/article/view?id=7967](http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=7967).
9. Паттерны проектирования сложноорганизованных систем / Т.И. Михеева, С.В. Михеев, О.К. Головнин, О.Н. Сапрыкин. – Самара: Интелтранс, 2015. – 216 с.
10. Михеева Т.И., Головнин О.К. Паттерны поддержки принятия решений по дислокации технических средств организации дорожного движения // Перспективные информационные технологии: труды Междунар. научно-технич. конф. – Самара: СНЦ РАН, 2013. – С. 267-272.
11. Колесников А.В., Меркулов А.А. Универсальный паттерн организации ситуационных центров // Системы и средства информатики. – 2013. – № 23(2). – С. 198-222.



# Программное обеспечение для поддержки принятия решений о структуре шихтовых материалов

О.С. Логунова  
Институт энергетики и автоматизированных систем  
Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова  
Магнитогорск, Россия  
e-mail: [Logunova66@mail.ru](mailto:Logunova66@mail.ru)

Н.С. Сибилева  
Институт энергетики и автоматизированных систем  
Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова  
Магнитогорск, Россия  
e-mail: [Natus224@gmail.com](mailto:Natus224@gmail.com)

Д.В. Чистяков  
Исполнительный директор  
ЗАО «КонСОМ СКС»  
Магнитогорск, Россия  
e-mail: [dvc@konsom.ru](mailto:dvc@konsom.ru)

## Аннотация<sup>1</sup>

В работе представлено описание программного обеспечения для поддержки принятия решений о структуре шихтовых материалов для дуговой сталеплавильной печи. Программное обеспечение входит в подсистему подготовки информации для решения задачи о выборе структуры шихтовых материалов в автоматизированной системе технологической подготовки производства (АСТПП). Разработка программного обеспечения для АСТПП позволила трансформировать традиционную технологию принятия решений о структуре шихтовых материалов, поскольку появилась возможность в интерактивном режиме изменять параметры задачи по определению структуры шихтовых материалов. Программное обеспечение разработано с целью повышения эффективности о принятии решений касательно структуры шихтовых материалов и для обеспечения заданных требований заказчиков на получаемую марку стали.

## 1. Введение

В результате сплошного мониторинга параметров плавки в дуговой сталеплавильной печи (ДСП), авторами работы [1] выявлены зависимости между структурой шихтовых материалов, подаваемых в ДСП и процентным содержанием остаточных

элементов в стали (Ni, Cr, Cu) [2]. Анализ взаимосвязей между структурой подаваемых в ДСП шихтовых материалов и получаемой продукцией позволил построить математическую модель изменения структуры шихтовых материалов и прогнозирования наиболее вероятного ее состава на основе имеющихся данных [3].

Математическая модель формирования остаточных элементов состоит из двух последовательных задач многокритериальной оптимизации. В первой задаче необходимо определить массу металлического лома, подаваемого в ДСП, при которой будет достигнуто минимальное значение для процентного содержания хрома, никеля и меди в расплаве при наличии ограничений на суммарную массу лома и чугуна, определенную производственными возможностями ДСП. Во второй задаче необходимо определить массовую структуру металлического лома, масса которого была вычислена в первой задаче. При этом, массовая структура должна позволять получить минимальное содержание хрома, никеля и меди при наличии ограничений на исходный и получаемый химический состав стали [4].

Таким образом, для решения задачи согласно ее постановке, необходимо использовать сложные методы оптимизации, которые имеют несколько важных особенностей, сложно поддающихся неавтоматизированному расчету, как задача многокритериальной оптимизации.

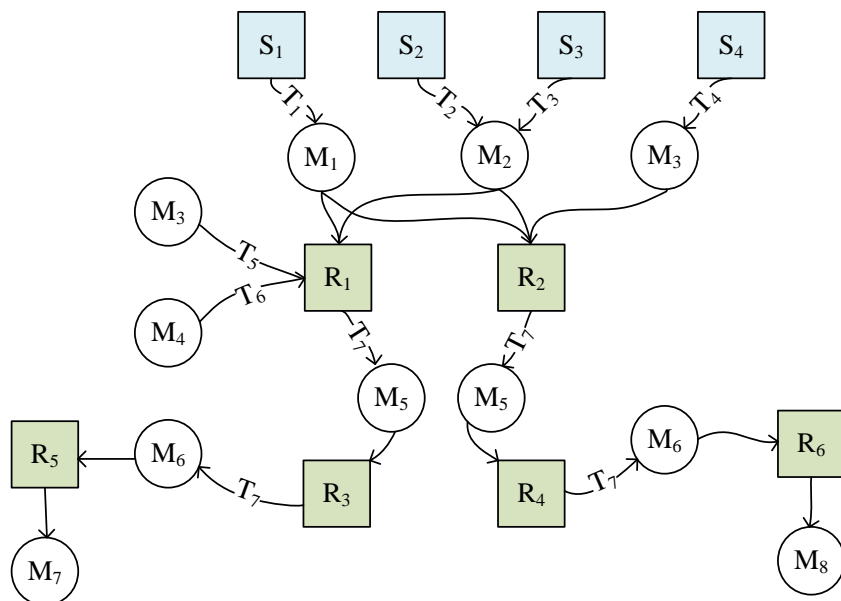
## 2. Методы

Предпроектное обследование процесса формирования структуры шихтовых материалов [5] позволило построить модель движения материальных

---

Труды пятой всероссийской конференции "Информационные технологии интеллектуальной поддержки принятия решений", 16 - 19 мая, Уфа, Россия, 2017

потоков при выплавке стали в условиях «Магнитогорский металлургический комбинат» электросталеплавильного цеха (ЭСПЦ) ОАО (ОАО «ММК»), которая представлена на рисунке 1.



**Рис. 1. Модель движения материальных потоков при выплавке стали в условиях ЭСПЦ ОАО «ММК»**

На рисунке потребители изображены в виде квадратных блоков, а потребляемые материалы отображены в круговых блоках. На рисунке введены обозначения, представленные в таблицах 1-3.

**Таблица 1. Потребители, принятые в модели движения материальных потоков**

Условное обозначение потребителя	Расшифровка
R <sub>1</sub>	Двухванный сталеплавильный агрегат
R <sub>2</sub>	Дуговая сталеплавильная печь
R <sub>3</sub>	Агрегат «Печь-Ковш» 1, агрегат «Печь-Ковш» 3
R <sub>4</sub>	Агрегат «Печь-Ковш» 2, установка усреднительной продувки стали
R <sub>5</sub>	Машина непрерывного литья заготовок 1, машина непрерывного литья заготовок 2
R <sub>6</sub>	Машина непрерывного литья заготовок 5
S <sub>1</sub>	Миксерное отделение
S <sub>2</sub>	Копровый цех
S <sub>3</sub>	Двор металлов
S <sub>4</sub>	Двор сыпучих, ПОС

**Таблица 2. Материалы, принятые в модели движения материальных потоков**

Условное обозначение материалов	Расшифровка
M <sub>1</sub>	Жидкий чугун
M <sub>2</sub>	Металлический лом, альтернативные материалы

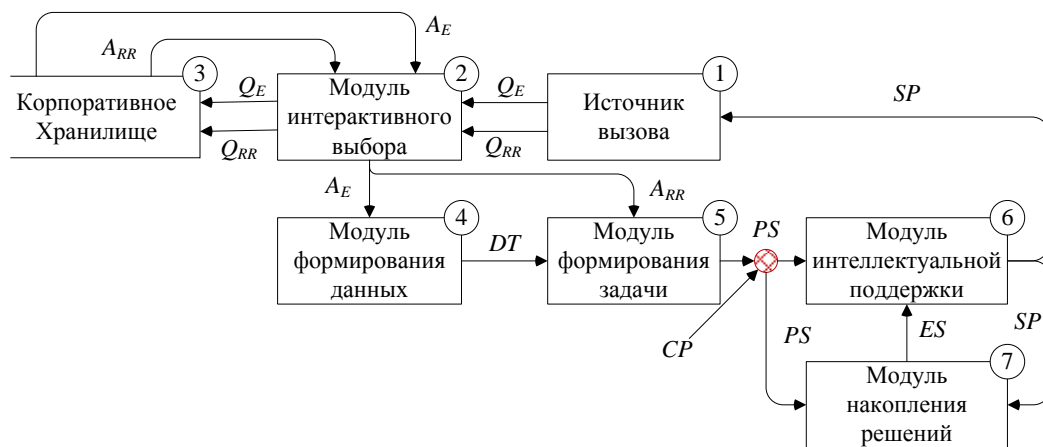
Условное обозначение материалов	Расшифровка
M <sub>3</sub>	Сыпучие, ферросплавы
M <sub>4</sub>	Цветные металлы
M <sub>5</sub>	Жидкий металл
M <sub>6</sub>	Жидкая сталь
M <sub>7</sub>	Сортовая заготовка
M <sub>8</sub>	Сляб

**Таблица 3. Способы передвижения материальных потоков в модели**

Условное обозначение способа	Расшифровка способа
T <sub>1</sub>	Чугуновозные ковши
T <sub>2</sub>	Совки
T <sub>3</sub>	Мульдовые составы
T <sub>4</sub>	Конвейер
T <sub>5</sub>	Автотранспорт
T <sub>6</sub>	Ж/д транспорт
T <sub>7</sub>	Сталеразливочный ковш

Разработанная модель движения материальных потоков при выплавке стали позволила определить концептуальную схему работы системы интеллектуальной поддержки процесса формирования структуры шихтовых материалов ДСП [6], структура которой представлена на рисунке 2.

Схема состоит из пяти подсистем в зависимости от назначения. Авторами разработано программное обеспечение для поддержки принятия решений о структуре шихтовых материалов, выделенное в рамку на рисунке 2.



**Рис. 2. Концептуальная схема системы интеллектуальной поддержки процесса формирования структуры шихтовых материалов ДСП**

В ходе предпроектного обследования процесса формирования структуры шихтовых материалов, выделены подсистемы и взаимосвязи между ними. АСТПП включает в себя три подсистемы: информационное, математическое и программное обеспечения процесса формирования структуры шихтовых материалов ДСП.

В информационное обеспечение АСТПП входят технологическое письмо, база первичных данных о работе ДСП, результаты экспериментального исследования технологических параметров плавки в ДСП и стратегия постановки задачи многокритериальной оптимизации состава шихтовых материалов для ДСП.

В математическое обеспечение АСТПП включены подсистемы решения многокритериальных задач оптимизации тремя различными методами (метод уступок, метод свертки и метод ограничений), подсистема переопределения многокритериальной задачи оптимизации в однокритериальную в зависимости от выбранного способа решения, подсистема решения однокритериальной задачи оптимизации и подсистема построения начальных условий для второй части задачи многокритериальной оптимизации на основании результатов, полученных в первой части задачи многокритериальной оптимизации [7].

В программное обеспечение входят: файл с исходными данными, оформленными согласно требованиям работы программного продукта, система решения последовательной многокритериальной задачи оптимизации и система визуализации полученного решения по каждой из задач и по каждому из методов решения задач [8].

Программное обеспечение разработано с учетом оценки достоинств и недостатков типовых программных продуктов для решения взаимосвязанных задач многокритериальной оптимизации.

Программное обеспечение состоит из нескольких модулей. На рисунке 3 представлена схема программного продукта.

Схема организует работу несколько основных модулей в зависимости от выполняемых ими задач: модуль получения данных; модуль обработки данных; модуль решения однокритериальной задачи симплекс-методом; модуль преобразования многокритериальной задачи оптимизации; основной модуль работы ПО.

Модуль получения данных отвечает за правильное распознавание введенных или загруженных данных.

Модуль обработки данных является модулем, приводящим полученные данные к каноническому виду, который используется при решении задачи симплекс-методом.

Модуль решения задачи симплекс методом представляет собой класс для решения задач линейного программирования, приведенных к каноническому виду.

Модуль преобразования многокритериальной задачи оптимизации к однокритериальной включает в себя функции для решения задачи с помощью метода свертки, метода уступок и метода ограничений, а также функции для расчета целевого кортежа и обеспечения корректной загрузки данных.

Основной модуль работы ПО организует корректную работу всех модулей, кроме этого осуществляет построение пользовательского интерактивного интерфейса. Интерфейсные решения позволяют пользователю осуществлять построение диаграмм и графиков, которые, например, показывают динамику изменения расчетных величин в зависимости от шага решения.

Результаты, полученные с помощью программного обеспечения, показали, что реализованные три стандартных метода решения многокритериальных задач оптимизации не всегда являются

эффективными с точки зрения быстродействия и наличия результата.

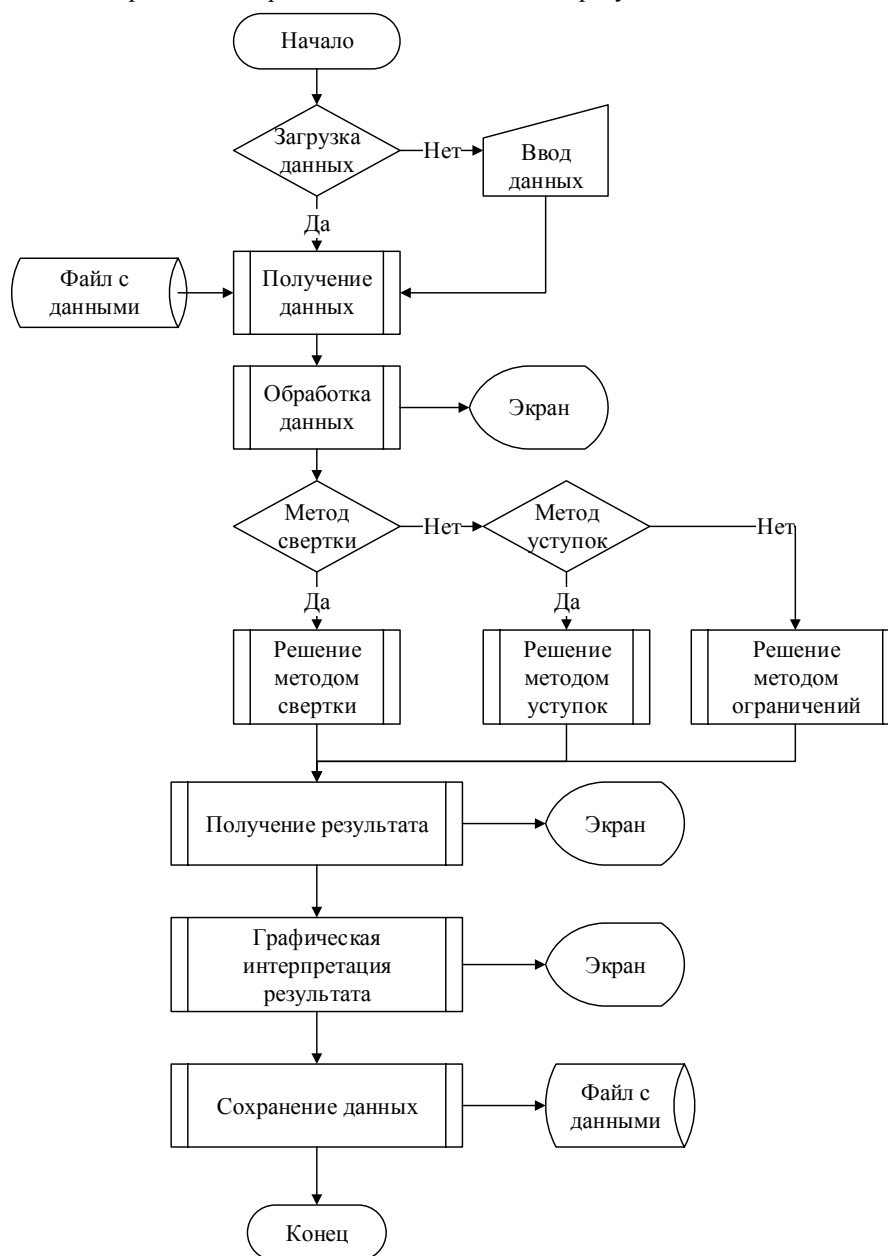


Рис. 3. Функциональная схема программного продукта

### 3. Заключение

1. Фиксирование в реальном времени параметров плавки позволило сформировать базу данных для статистического исследования, что сделало возможным построение математической модели формирования остаточных элементов в готовой стали, состоящей из двух последовательных взаимосвязанных задач многокритериальной оптимизации.

2. Предпроектное обследование процесса формирования структуры шихтовых материалов сделало возможным построение модели движения материальных потоков в условиях ЭСПЦ ОАО «ММК».

3. На основе модели движения материальных потоков разработана концептуальная схема системы интеллектуальной поддержки процесса формирования структуры шихтовых материалов для ДСП. Определено место программного обеспечения для формирования структуры шихтовых материалов в интеллектуальной системе.

4. Спроектирована общая схема решения многокритериальной задачи оптимизации, которая условно состоит из нескольких блоков, в том числе блока, где производится решение задачи. Решение задачи определено тремя методами: методом ограничений, методом уступок и методом свертки. Наиболее эффективно зарекомендовал метод свертки, который также с точки зрения эксперта дает более точные результаты.

## Список используемых источников

1. Логунова О.С, Павлов В.В. Опыт стабилизации остаточного содержания элементов в стали при использовании альтернативных материалов в металлошихте дуговой сталеплавильной печи // *Металлург.* – 2014. – №4. – С. 75-79.
2. Павлов В.В., Ивин Ю.А., Новицкий И.Д., Логунова О.С., Сибилева Н.С. Методика выбора соотношения компонентов в металлошихте дуговой сталеплавильной печи при использовании альтернативных материалов // *Совершенствование технологии в ОАО «ММК» Магнитогорск*, 2015. – С. 118-126.
3. Логунова О.С., Филиппов Е.Г., Павлов В.В. Стратегия постановки задачи многокритериальной оптимизации состава шихтовых материалов для электродуговой сталеплавильной печи // *Известия вузов. Черная металлургия*, 2013. – № 1. – С. 66-70
4. Pavlov V.V., Logunova O.S. Charge melting materials selection procedure for eaf to work in power saving mode // *World Applied Sciences Journal*, 2014. – Vol. 31, N 8. – P. 1502-1507.
5. Логунова О.С., Сибилева Н.С., Павлов В.В. Результаты применения системного оператора для интеллектуальной поддержки управления процессом шихтования // *Материалы школы-семинара молодых ученых и специалистов в области компьютерной интеграции производства. Оренбург*, 2016. – С. 43-47.
6. Логунова О.С., Сибилева Н.С., Павлов В.В. Интеллектуальная поддержка формирования структуры шихты для плавки в дуговой сталеплавильной печи // *Сталь.* – 2016. – № 10. – С. 20-24.
7. Логунова О.С., Сибилева Н.С. / Математическое обеспечение интеллектуальной поддержки системы подготовки производства для выплавки стали // *Проблемы Информатики Та Моделювання: Тезиси шістнадцятої міжнародної науково-технічної конференції. Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут".* – 2016. – С. 47.
8. Логунова О.С., Сибилева Н.С., Павлов В.В. Результаты сравнительного анализа решения многокритериальной задачи оптимизации для расчета структуры шихтовых материалов дуговой сталеплавильной печи // *Математическое и программное обеспечение систем в промышленной и социальной сферах.* – 2014. – №2. – С. 54-64.

# Адаптация метода определения характеристик взрыва газо-воздушной смеси для решения задач трехмерного моделирования в системах поддержки принятия решений

О.И. Христодуло  
Факультет информатики робототехники  
Уфимский государственный авиационный  
технический университет  
Уфа, Россия  
e-mail: o-hristodulo@mail.ru

А.В. Соколова  
Факультет информатики робототехники  
Уфимский государственный авиационный  
технический университет  
Уфа, Россия  
e-mail: beldyanova@ya.ru

Ф.Ф. Искандаров  
Факультет информатики и робототехники  
Уфимский государственный авиационный технический университет  
Уфа, Россия  
e-mail: fanisisk7@gmail.com

## Аннотация<sup>1</sup>

В данной статье рассмотрена технология адаптации метода определения характеристик взрыва газо-воздушной смеси для решения задач трехмерного моделирования в системах поддержки принятия решений. Приведены основные причины применения трехмерного моделирования в системах поддержки принятия решений, описаны проблемы, встречающиеся при разработке подобных систем, и способы их решения, описан пример моделирования взрыва газо-воздушной смеси на основе адаптированной методики.

## 1. Введение

В настоящее время информационные технологии являются основным звеном при принятии управленческого решения в сложных условиях и являются инструментом для получения полного и объективного анализа ситуации. Информационные технологии поддержки принятия решений выступают в роли объекта управления и вычислительной системы, входные параметры для которой задает эксперт. В связи с этим, чем функциональнее система принятия решений и больше исходных данных о сложной ситуации, тем выше вероятность получения адекватных результатов, их интерпретации,

соответственно эффективнее управленческое решение.

Повышенный интерес к системам поддержки принятия решений при решении прикладных задач с поддержкой трехмерной визуализацией пространственных данных связан с возможностью получения наглядного представления результатов, в том числе и результатов геомоделирования, в виде удобном и понятном для любого уровня подготовки специалистов, принимающих решения.

На протяжении долгого времени, задачи моделирования в геоинформационных системах решались в двумерной плоскости, но в связи с развитием аппаратного и программного обеспечения, появилась возможность перехода к трехмерному представлению при решении определённого круга задач, например, при моделировании взрыва газо-воздушной смеси. При этом, в картографии трехмерное представление объектов применяется как при крупномасштабном моделировании (города, районы, цифровые модели местности), так и при моделировании явлений и процессов (обзор видимости, расчет инсоляции и другое). При решении задач моделирования, в том числе взрыва газо-воздушной смеси, приходится сталкиваться с тем, что большинство методов определения характеристик взрыва изначально рассчитаны на применение в двумерном пространстве на плоскости. В связи с этим, актуальным становится задача адаптации существующей методики расчета для задач трехмерного моделирования.

---

Труды пятой всероссийской конференции "Информационные технологии интеллектуальной поддержки принятия решений", 16 - 19 мая, Уфа, Россия, 2017

## 2. Методы определения характеристик взрыва газо-воздушной смеси

Существуют различные методы расчетов определения характеристик взрыва газо-воздушной смеси, для которых основными параметрами расчетов является расстояние распространения воздушной ударной волны и расчет возможных жертв[2].

Анализ методик моделирования взрыва газо-воздушной смеси показал, что «Методика оценки последствий аварийных взрывов топливно-воздушных смесей (РД 03-409-01)»(далее методика РД 03-409-01)[1], является наиболее полной, так как учитывает множество факторов (в том числе факторы внешней среды), реализует различные сценарии развития событий, учитывает дополнительные характеристики взрыва (например, параметры падающей волны, отражения волны и другое), а также позволяет выполнить вероятностную оценку повреждения зданий и гибели живых существ.

Данная методика учитывает такие параметры как: характеристика горючего вещества, агрегатное состояние горючего вещества, средняя концентрация горючего вещества в смеси, стехиометрическая концентрация, масса горючего вещества, удельная теплота сгорания и информация об окружающем пространстве. Методика РД 03-409-01 гибкая и применимая для широкого спектра ситуации для взрыва газо-воздушной и топливно-воздушной смеси (ТВС), но её недостатком является изначальная направленность на применение в двухмерных проекциях.

## 3. Адаптация метода определения характеристик взрыва газо-воздушной смеси для решения задач трехмерного моделирования

Трехмерное моделирование – это процесс создания трехмерной модели объекта, который позволяет увеличить понимание реальных объектов[4]. С точки зрения картографии и моделирования явлений, таких как взрыв газо-воздушной смеси, трехмерная модель территории позволяет лицу, принимающему решение, быстрее сориентироваться на местности и понять масштабы происшествия. Не смотря на положительный эффект от применения трехмерного моделирования в системах поддержки принятия решений, существуют ограничения, которые необходимо учесть при реализации задач трехмерного моделирования процессов и явлений. Одним из таких ограничений является необходимость произведения расчетов на аппаратных средствах способных произвести математические расчеты и без искажений визуализировать трехмерную модель и результат расчёта в адекватных временных диапазонах.

Основным моментом, вносящим трудности перехода от двухмерной проекции (X,Y) к трехмерной,

является появление третьей координаты Z. В случае моделирования взрыва газо-воздушной смеси в трехмерном пространстве необходимо преобразование плоской окружности в трехмерную сферу (с Z-координатой). В связи с тем, что трехмерная модель объекта, на котором происходит моделирование взрыва газо-воздушной смеси, содержит объекты карты, выполненные также в трехмерном пространстве [3], то для повышения точности решения задачи трехмерного моделирования, в расчетную модель включено влияние сторонних объектов на распространение взрывной волны. С учетом вышеуказанных причин, методика РД 03-409-01 адаптирована следующим образом.

Исходными данными для расчетной модели определения характеристик взрыва газо-воздушной смеси являются следующие показатели:

- характеристика горючего вещества ТВС;
- агрегатное состояние ТВС;
- средняя концентрация горючего вещества в облаке ТВС  $C_r$ ;
- стехиометрическая концентрация горючего вещества с воздухом  $C_{СТ}$ ;
- масса горючего вещества в облаке  $M_r$
- удельная теплота сгорания горючего вещества  $q_r$ ;
- информация об окружающем пространстве.

Первым этапом расчета является определение эффективного энергозапаса ТВС по формуле:

$$E = M_r q_r \text{ при } C_r \leq C_{СТ} \quad (1)$$

или

$$E = M_r q_r C_{СТ} / C_r \text{ при } C_r > C_{СТ} \quad (2)$$

где  $E$ - эффективный энергозапас ТВС (Дж);  $M_r$ - масса горючего вещества, содержащегося в облаке ТВС (кг);  $q_r$ - удельная теплота сгорания газа (Дж/кг);  $C_r$ - концентрация горючего вещества в облаке ТВС (кг/м<sup>3</sup>);  $C_{СТ}$ - стехиометрическая концентрация вещества в смеси с воздухом (кг/м<sup>3</sup>).

При этом, в расчете параметров взрыва облака, лежащего на поверхности земли, величина эффективного энергозапаса удваивается.

После получения значения эффективного энергозапаса ТВС необходимо рассчитать безразмерное давление и импульс волны давления:

$$P_x = \Delta P / P_o \quad (3)$$

$$\text{и } I = I_x (P_o)^{2/3} E^{1/3} / C_o, \quad (4)$$

где  $P_x$ - безразмерное давление;  $\Delta P$ - избыточное давление (Па);  $P_o$ - атмосферное давление (Па);  $I$ - импульс волны давления (Па·с);  $I_x$ - безразмерный

импульс фазы сжатия;  $C_o$ - скорость звука в воздухе (м/с).

Далее расчеты осуществляются по двум направлениям:

- дефлаграция (нормальное горение) – скорость перед и за фронтом дозвуковая;
- детонация – скорость фронта по газу перед ним сверхзвуковая, а позади – дозвуковая.

Детонации, в свою очередь, подразделяется на детонацию облака газовой ТВС, расчет производится по следующим формулам:

$$\ln(P_x) = -1.124 - 1.66 \ln(R_x) + 0.26(\ln(R_x))^2 \quad (5)$$

$$\ln(I_x) = -3.4217 - 0.898 \ln(R_x) - 0.0096(\ln(R_x))^2 \quad (6)$$

где  $R_x$ - безразмерное расстояние от центра облака ТВС.

Второй случай, детонации облака гетерогенной ТВС, расчет производится по формулам:

$$P_x = 0.125/R_x + 0.137/R_x^2 + 0.023/R_x^3 \quad (7)$$

$$I_x = 0.022/R_x \quad (8)$$

или

$$P_x = 0.125/\lambda + 0.137/\lambda^2 + 0.023/\lambda^3 \quad (9)$$

$$I_x = 0.022/\lambda \quad (10)$$

где  $\lambda$ - параметрическое расстояние.

В случае дефлаграционного взрывного превращения облака ТВС к параметрам, влияющим на величины избыточного давления и импульса положительной фазы, добавляются скорость видимого фронта пламени ( $V_r$ ) и степень расширения продуктов сгорания ( $\sigma$ ). Для газовых смесей принимается  $\sigma = 7$ , для гетерогенных  $\sigma = 4$ . Для расчета параметров ударной волны при дефлаграции гетерогенных облаков величина эффективного энергозапаса смеси домножается на коэффициент  $(\sigma - 1)/\sigma$ .

Тогда безразмерные давление  $P$  и импульс фазы сжатия  $I$  определяются по соотношениям:

$$P_x = (V_r/C_o)^2((\sigma - 1)/\sigma)(0.83/R_x - 0.14/R_x^2) \quad (11)$$

$$I_x = (V_r/C_o)((\sigma - 1)/\sigma)(1 - 0.4(\sigma - 1) V_r/\sigma C_o)(0.06/R_x + 0.01/R_x^2 - 0.0025/R_x^3) \quad (12)$$

где  $\sigma$ - степень расширения продуктов сгорания.

После определения безразмерного расстояния необходимо определить расстояние  $R$  от центра взрыва:

$$R = R_x(E/P_0)^{1/3}, \quad (13)$$

где  $R$ - расстояние от центра облака ТВС (м).

Соотношения также могут быть записаны с функциями аргумента  $\lambda$ :

$$R = (\lambda E^{1/3})/100. \quad (14)$$

При принятых в методике РД 03-409-01 допущениях между  $R_x$  и  $\lambda$  существует простая связь:

$$R_x = \lambda/2.15 \quad (15)$$

На основе рассчитанных характеристик взрыва газ-воздушной смеси и трехмерной модели территории, формируется список точек модели взрыва газ-воздушной смеси в трехмерном пространстве. Расчет точек модели зон поражения производится с помощью определения точки на сфере, радиус которой равен расстоянию удаления распространения взрывной ударной волны от центра взрыва:

$$x = R \cos \theta \cos \varphi; y = R \cos \theta \sin \varphi; z = R \sin \theta, \quad (16)$$

где  $-90^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$ ,  $0 \leq \varphi \leq 360^\circ$

На рисунке 1 представлено, наглядное отображение углов  $\theta$  и  $\varphi$ .

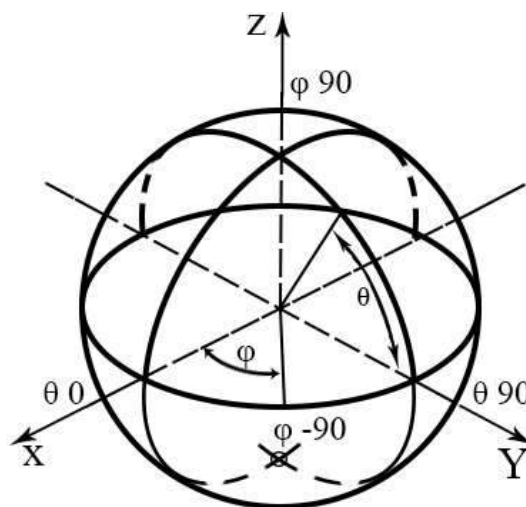
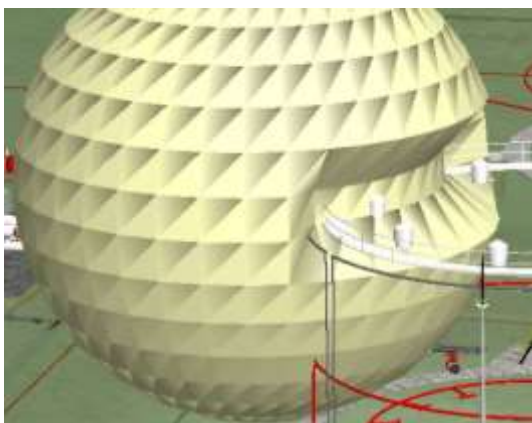


Рис. 1. Наглядное отображение углов  $\theta$  и  $\varphi$

#### 4. Пример моделирования взрыва газ-воздушной смеси на основе адаптированной методики

Во время программного моделирования взрыва газ-воздушной смеси в трехмерном пространстве проверяется, встречает ли взрывная ударная волна на своем пути препятствия, если результат положительный, то программа определяет объект ставший препятствием, и уменьшает радиус поражения в рассматриваемом направлении. Также в процессе создания модели взрыва газ-воздушной смеси, точки модели зон поражения, имеющие окончательное значение расстояния, добавляются в общий массив точек (список), на основе которого формируется трехмерная модель (сфера) взрыва газ-воздушной смеси с учетом встречающихся объектов, расположенных на территории моделирования (рисунок 2).





**Рис. 2. Пример моделирования взрыва газо-воздушной смеси**

#### 4. Заключение

Адаптированный метод определения характеристик взрыва газо-воздушной смеси для решения задач трехмерного моделирования позволил определить способ построения в трехмерном пространстве модели взрыва газо-воздушной смеси с учетом параметров внешней среды (погодные условия, наличие препятствий на пути распространения взрыва).

Результаты исследований, представленные в статье частично поддержаны грантом 15-08-01758 – А «Методологические и методические основы анализа техногенной безопасности в условиях неопределенности состояния объектов управления».

#### Благодарности

Оргкомитет благодарит РФФИ за содействие в проведении конференции.

#### Список используемых источников

1. Методика оценки последствий аварийных взрывов топливно-воздушных смесей (РД 03-409-01)/ Б.Е. Гельфанд, С.Б.Дорофеев, В.И. Сидоров, А.С. Печеркин, А.М. Бартенев, В.Ф.Мартынюк, М.В. Лисанов, А.А. Агапов, В.П. Сидоров, С.И.Сумской.// URL: rostexnadzor.msk.ru/files/RD\_03-409-01.doc
2. Моделирование взрыва газовой смеси на промышленном предприятии средствами 3D GIS / Искандаров Ф. Ф., Хайртдинов Р. И / Материалы какой конференции? X Всероссийская молодёжная научная конференция «Мавлютовские чтения»
3. Христуло О.И. Обработка двумерной пространственной информации в составе 3D модели промышленного объекта / Христуло О.И., Павлов С.В., Соколова А.В., Гизатуллин А.Р.// Научно-технический журнал «Нефтегазовое дело». – Уфа, № 1, Том 13. 2015 г. – С.152-158 (Импакт-фактор журнала – 0,328).
4. Billena R., Zlatanova S. 3D spatial relationships model: a useful concept for 3D cadastre? // Proceedings of EGIS'90. – 1990.Vol.2, №4. – P. 411-425.

# Methodological issues related to the evaluation of the communication networks equipment conformity to the information security requirements

A.V. Barabanov  
Certification Department  
NPO Echelon  
Moscow, Russia  
e-mail: [mail@cnpo.ru](mailto:mail@cnpo.ru)

A.S. Markov  
Information Security Department  
Bauman Moscow State Technical University  
Moscow, Russia  
e-mail: [a.markov@bmstu.ru](mailto:a.markov@bmstu.ru)

V.L. Tsirlov  
Information Security Department  
Bauman Moscow State Technical University  
Moscow, Russia  
e-mail: [v.tsirlov@bmstu.ru](mailto:v.tsirlov@bmstu.ru)

## Abstract<sup>1</sup>

A methodological approach to the evaluation of the communication networks equipment conformity to the information security requirements has been developed on the basis of ISO 15408 procedures. The results of the group synthesis of Security Functional Requirements to communication systems have been presented. It is substantiated that the results of the group synthesis can provide the foundation for the potential set of Protection Profiles related to the communication networks equipment. A conceptual model for the certification testing of communication systems equipment has been developed according to the information security requirements. It is demonstrated that the proposed models ensure determinancy of the certification testing, and repeatability and reproducibility of audits. The issues of minimizing time required for certification testing of the communication networks equipment have been examined.

## 1. Introduction

The growth in information security threats related to the vulnerabilities in communication networks (CN) equipment software determines the need for improving the quality of the CN equipment conformity evaluation, including information security. It should be noted that by the time the requirements for the said equipment have not been clearly specified [1]. For example, according to the

industry standards of OJSC FGC UES2, which set requirements for high-frequency communications through power lines, this equipment must comply with the evaluation assurance level, EAL, 4 under GOST R ISO/IEC 15408 [2, 3], however sets of security functional requirements (SFR) have not been set. Thus, it is highly relevant now to provide the methodological support for the analysis and synthesis of SFR sets to the CN equipment as well as evaluate the CN equipment conformity to these requirements is. This paper presents methods which can be used by experts in testing laboratories while evaluating the CN equipment conformity to the information security requirements.

## 2. Setting Information Security Requirements

Considering the specificities of the national certification system associated with the use of ISO 15408 metastandard the decision has been made within the framework of this paper to use the Common Criteria for establishing sets of SFRs to the CN equipment [4, 5, 6, 7]. The following environment security aspects are described together with the specification of the CN equipment environment security:

- Security propositions with the security aspects of the environment where the CN equipment will be or expected to be used;
- Information security threats, including all threats to assets which are to be protected by the CN equipment or its environment;

---

Proceedings of the 5<sup>th</sup> All-Russian Conference  
"Information Technologies for Intelligent Decision  
Making Support", May 16 - 19, Ufa, Russia, 2017

---

<sup>2</sup> STO-56947007-33.060.40.177-2014. Technical requirements to the equipment of high frequency communication through power lines.

- Enterprise's security policy with the identification and, if applicable, clarification of all the items provided in the enterprise's security policy or rules applying to the CN equipment.

Security objectives reflect the intention to counter all the identified threats to the information security and to cover all the security propositions and the enterprise's security policy. When specifying security requirements to the CN equipment it is necessary to set SFR (for example, requirements to identification/authentication or access control) and assurance requirements which shall be met by the CN equipment and its development process. Sets of SFRs and assurance requirements shall be selected from requirements catalogues provided in parts 2 and 3 of the Common Criteria standard [8]. In order to meet the identified sets of SFRs and assurance requirements, the lists of security functions of the CN equipment and measures for its development are prepared. All the identified sets (aspects of security environment, objectives, requirements, and measures) should be mutually consistent – this information and necessary clarifications are generally provided in the security target.

**Table 1. Security functional requirements to the communication system equipment**

Notation acc. to ISO 15408	Description acc. to ISO 15408
FAU_GEN.1	Audit data generation
FAU_SAR.1	Audit review
FDP_ACC.1	Limited access control
FDP_ACF.1	Access control based on security attributes
FIA_ALF.1	Authentication failures processing
FIA_ATD.1	User attributes determination
FIA_SOS.1	Secrets verification
FIA_UAU.2	Authentication before any user actions
FIA_UAU.6	Re-authentication
FIA_UID.2	Identification before any user actions
FMT_MOF.1	Control over security functions execution mode
FMT_MTD.1	Control over security functions data of the CN equipment
FMT_SMF.1	Control function specification
FMT_SMR.1	Security roles
FMT_MSA.1	Security attributes control
FMT_MSA.3	Static attributes initialization
FPT_STM.1	Reliable time marks
FPT_TST.1	Self-tests of the CN equipment security functions

The analysis performed within the framework of this study allowed us to establish a set of SFRs which are reasonable to apply to the CN equipment (Table 1).

### 3. Protection System Model for Communication Networks Equipment

The protection system (PS) model for the CN equipment has been developed on the basis of Common Criteria principles. We will treat the protection system model for the CN equipment as a set of targets of evaluation (TOE)  $\{TOE_1, TOE_2, \dots, TOE_w\}$ , where  $w \in \mathbb{N}$  is an amount of targets of evaluation.

Every target of evaluation  $TOE_i$  has a set of security functions  $\{SF_1^i, SF_2^i, \dots, SF_{k_i}^i\}$ , where  $k_i$  is a number of security functions of the target of evaluation  $TOE_i$ ,  $i = 1, 2, \dots, w$ . The security function means a part or parts of the CN equipment (TOE) used to follow a subset of interconnected security policy rules. Examples of the security functions include access control functions, memory clearing functions, events logging, and identification and authentication functions. We denote a set of security functions  $TOE_i$  as  $TSF_i$ ,  $i = 1, 2, \dots, w$ . Each set of security functions  $TSF_i$  is interconnected with many interfaces to the security function of the CN equipment  $ITSF_i = \{IF_1^i, IF_2^i, \dots, IF_{z_i}^i\}$ , where  $z_i$  is a number of interfaces to the security functions  $TOE_i$  (for example, graphic interface or external network interface). Interfaces can be assigned to the security functions either at a physical (or example, external network interface), or logical level (for example, command level interface). Each interface  $IF_k^i \in ITSF_i$  is aligned with a set of  $V(IF_k^i)$  values which it can receive at the input of any external subject or target.

Since the security functions of the CN equipment and interfaces to them are unique, then a set of  $SSF = \{SF_j^i: j = 1, 2, \dots, k_i, i = 1, 2, \dots, w\}$  and  $ISSF = \{IF_f^g: f = 1, 2, \dots, z_g, g = 1, 2, \dots, w\}$  does not contain regular elements and, therefore, sets of security functions of the CN equipment and interfaces to them can be represented as a set of  $SSF = \{SF_1, SF_2, \dots, SF_m\}$  and  $ISSF = \{IF_1, IF_2, \dots, IF_b\}$  respectively, where  $m = k_1 + k_2 + \dots + k_w$ ,  $b = z_1 + z_2 + \dots + z_w$ . Thus, a conceptual model for the CN equipment PS can be described as a tuple  $\langle SSF, ISSF \rangle$ .

### 4. Certification Testing Model

The certification testing of the CN equipment the PS of which is described as a tuple  $\langle SSF, ISSF \rangle$  is performed to detect whether it conforms to the set of  $SSR = \{SR_1, SR_2, \dots, SR_n\}$  information security requirements which are specified in the notation of ISO 15408, where  $n \in \mathbb{N}$  is a number of requirements. In the certification testing, functional testing is performed during the evaluator's activity ATE\_IND.2.2E. The evaluator's steps during this activity are shown below:

- Evaluation step ATE\_IND.2-4: the evaluator shall determine a tested subset of the CN equipment security functions;
- Evaluation step ATE\_IND.2-5: the evaluator shall develop testing documents for a tested subset of the security functions, which details are sufficient for testing reproducibility;
- Evaluation step ATE\_IND.2-6: the evaluator shall conduct testing;
- Evaluation step ATE\_IND.2-7: the evaluator shall record necessary information on tests which constitute a subset of tests;
- Evaluation step ATE\_IND.2-8: the evaluator shall make sure whether all actual testing results conform to the expected results.

The functional testing of the CN equipment PS is provided for a set of  $SSF$ ; during the evaluation step ATE\_IND.2-4 a testing laboratory expert shall identify a set of  $SSF$ .

A set of tests  $ST = \{st_1, st_2, \dots, st_n\}$  is performed for testing (evaluation step ATE\_IND.2-5) where  $st_i$  is intended to check whether  $SR_i$  [9] is met. Each test  $st_i \in ST$  is described as:

- A sequence of actions;
- A set of interfaces to security functions  $S(st_i) = \{s_1^i, s_2^i, \dots, s_{c_i}^i\} \subseteq ISSF$  ( $c_i$  is a number of interfaces used during  $st_i$  testing) used during testing;
- Set of values transferred to interfaces during testing  $\mathfrak{P}_i = \{\langle h_1, h_2, \dots, h_{c_i} \rangle\} = V(s_1^i) \times V(s_2^i) \times \dots \times V(s_{c_i}^i)$ ;
- Expected results (approval criterion).

The sequence of actions determines a set of steps performed by the expert of the testing laboratory to reset the CN equipment PS for testing and generation of the input sequence transferred to the CN equipment input (evaluation step ATE\_IND.2-6). Testing results are recorded with the use of different testing software (evaluation step ATE\_IND.2-7). Approval criterion should contain model results of testing. During testing of each tuple of  $\mathfrak{P}_i$  set, a necessary sequence of actions is performed, actual results are compared with expected ones (evaluation step ATE\_IND.2-8). Based on the comparison results a decision on successful or failed test is made.

Let us introduce the following definitions.

*Definition 1.* We define the logical function  $F_{ST}: ST \rightarrow \{0,1\}$  as a predicate for successful testing  $st_i \in ST$

$$F_{ST}(st_i) = \begin{cases} 1, \forall \langle h_1, h_2, \dots, h_{c_i} \rangle \in \mathfrak{P}_i: \text{test } st_i \text{ is successful;} \\ 0, \text{ otherwise.} \end{cases}$$

*Definition 2.* We define the matrix  $R = (r_{i,j}) \in \{0,1\}^{n \times m}$  as a matrix for security requirements covered by the CN equipment security functions:

$$r_{i,j} = \begin{cases} 1, SR_i \text{ is covered by the security function } SF_j; \\ 0, \text{ otherwise.} \end{cases}$$

*Definition 3.* We define the logical function  $F_R: SSR \rightarrow \{0,1\}$  as a predicate for reporting  $SR_i \in SSR$  requirement fulfilment for the CN equipment:

$$F_R(SR_i) = \bigvee_{j=1}^m r_{i,j}.$$

When analyzing the reports on requirements fulfilment, the testing laboratory expert should examine documents on the CN equipment submitted for testing to check whether they contain appropriate logical substantiation of that a set of security functions  $SSF$  is suitable for meeting each security requirement  $SR_i$ .

Thus, the conceptual module for the CN equipment certification testing is characterized by a tuple  $\langle SSF, ISSF, SSR, ST, F_R, F_{ST} \rangle$ . The CN equipment certification testing is described below.

1. At the stage of source data analysis the source information on the certification target is collected. The documents on the CN equipment, provided by the designer for certification, are examined together with the requirements of regulatory and guidance documents. The logical and physical structure of the CN equipment is analyzed to define the information protection subsystem, security functions and interfaces to security functions. As a result, experts develop a model for the CN equipment PS, which is described by a tuple  $\langle SSF, ISSF \rangle$ , and a set of tested security functions (evaluation step ATE\_IND.2-4).
2. When constructing a matrix for security requirements covering, the laboratory experts analyze the CN equipment PS and establish a link between the security requirements and the functions, which ensure the fulfillment of such requirements. As a result, the matrix  $R = (r_{i,j}) \in \{0,1\}^{n \times m}$  is built.
3. The documents on the CN equipment PS are analyzed and it is checked whether such documents specify a fact of fulfilling any security requirement. As a result, a tuple of values of the predicate for fulfilling requirements  $\langle F_R(SR_1), \dots, F_R(SR_n) \rangle$  is built.
4. Based on the model for the CN equipment PS, the laboratory experts develop a set of tests which will be used during certification testing (evaluation step ATE\_IND.2-5).
5. During testing the experts use developed testing procedures to make an effect on the identified interfaces to the CN equipment security functions to receive response (evaluation step ATE\_IND.2-6).

6. The expert shall record the following information in the report (step ATE\_IND.2-7):

- Identification information on the fulfillment of the tested security functions;
- Instructions on connection and setting of all necessary testing equipment, as required for a certain test;
- Instructions on establishing all preliminary conditions for testing;
- Instructions on activating security functions;
- Instructions on supervising security functions fulfillment;
- Description of all the expected results and necessary analysis with respect to the supervised fulfillment procedure to compare with expected results;
- Instructions on testing completion.
- Actual testing results.

The laboratory expert compares actual testing results with reference values specified in the testing procedure (evaluation step ATE\_IND.2-8). As a result, a tuple of values of the successful testing predicate  $\langle F_{ST}(st_1), \dots, F_{ST}(st_n) \rangle$  is built.

7. Analysis of the testing results includes the overview of the testing results by laboratory experts and group managers. As to the CN equipment, the conformity to a set of SSRs is declared, if  $\forall i \in \{1, \dots, n\} F_R(SR_i) = 1, F_{ST}(st_i) = 1$ .
8. Following the certification testing results a technical statement on the evaluation and engineering opinion with a decision on the CN equipment conformity/inconformity to the set requirements are prepared.

## 5. Minimizing Time for Certification Testing

We will evaluate the time for certification testing according to the model developed. In general, it can be shown that the time for certification testing increases exponentially depending on the number of interfaces to security functions of the CN equipment. It is necessary to perform certification testing of the CN equipment (PS whereof is described by the tuple  $\langle SSF, ISSF \rangle$ ) for compliance with a set of  $SSR = \{SR_1, SR_2, \dots, SR_n\}$  information security requirements using a set of tests  $ST = \{st_1, st_2, \dots, st_n\}$  (test  $st_i$  is designed for checking whether the requirements  $SR_i$  are fulfilled),  $i \in \mathbb{N}$  is a number of requirements. When testing each tuple of the set  $\mathfrak{P}_i = \{\langle h_1, h_2, \dots, h_{c_i} \rangle\} = V(s_1^i) \times V(s_2^i) \times \dots \times V(s_{c_i}^i)$  necessary sequence of actions is performed, where  $S(st_i) = \{s_1^i, s_2^i, \dots, s_{c_i}^i\} \subseteq ISSF$  ( $c_i$  is a number of interfaces used for the test  $st_i$ ).

The testing time can be estimated as follows:

$$\mathcal{T}_T^{AS} = \sum_{i=1}^n t_i \cdot |\mathfrak{P}_i| = \sum_{i=1}^n t_i \cdot \prod_{j=1}^{c_i} |V(s_j^i)| \leq \sum_{i=1}^n t_i \cdot M_i^{c_i} \approx n \cdot t \cdot M^c,$$

where  $n$  is a number of tests,  $t_i$  is testing time  $st_i$  for one set of input data,  $c_i$  is a number of interfaces to security functions used for performing the test  $st_i$ ,  $M_i = \max(|V(s_1^i)|, |V(s_2^i)|, \dots, |V(s_{c_i}^i)|)$ ,  $M = \max(M_1, M_2, \dots, M_n)$ ,  $c = \max(c_1, c_2, \dots, c_n)$ ,  $t = \max(t_1, t_2, \dots, t_n)$ .

The testing time can be reduced primarily by decreasing the power of the checked set of values, transferred to interfaces to security functions during testing (random control) [9]. We will list key methods for random control used today when testing software which can be considered reasonable for the CN equipment certification testing.

1. Testing with the use of random values of input data. Values of the components  $x_i$  of the input tuple  $\hat{x} = (x_1, x_2, \dots, x_s)$  are generated at random within the tolerance range  $D_{x_i}^P$ . Testing is completed, once an acceptable value space is covered.
2. Testing with breaking down the tolerance range into equivalent subsets. Tolerance ranges  $D_{x_i}^P$  of the input tuple are broken down into subsets  $D_{x_{ij}}^P$ , values of which are considered equivalent in the context of functional features of the tested software. When testing, one component of the subset  $D_{x_{ij}}^P$  is transferred to the software input as a component of the tuple.
3. Testing thresholds. When using this method, thresholds of the tolerance region  $D_{x_i}^P$  of the input tuple are tested firstly.
4. Testing on the basis of risk analysis. Most critical functions or requirements are tested. Prioritization is performed with the use of risks analysis tool.
5. Testing on the basis of covering sets. When using covering sets of the depth  $t$  input tuples which cover all possible values of subtuples from  $t$  components are generated.

It should be noted that methods 2-3 are more oriented at software testing, and random testing can successfully be used both for software and certification [10]. Risk analysis based testing is studied in details by Russian and foreign scientists, however, necessary repeatability and reproducibility of the CN equipment certification restricts random selection. Considering these features it is reasonable to use covering sets to minimize time for testing. The covering set of the  $h$  depth for  $st_i \in ST$  test will be matrix [9, 11, 12] consisting of  $c_i$  columns with  $j$ -column including values out of the  $V(s_{c_j}^i)$  set values transferred to the interface during testing, and any combination of possible values of  $h$  factors is present at

least in one line. In general, h-factor testing of  $n$  input data taking  $v$  values will require the number of tests in proportion to  $v^t \cdot \log n$ . It should be noted that plotting covering sets is NP-difficult task. For example,  $h = 2$  (two-factor testing) based on known estimates of the minimum covering sets size, the following estimate of the tuple power of  $\mathfrak{P}_i^* \subseteq V(s_1^i) \times V(s_2^i) \times \dots \times V(s_{c_i}^i)$  values received at the input by interfaces to security functions, which are used for testing, can be calculated:

$$|\mathfrak{P}_i^*| \approx M_i^2 \cdot \log c_i,$$

where  $c_i$  is a number of interfaces to security functions used during testing  $st_i$ ,  $M_i = \max(|V(s_1^i)|, |V(s_2^i)|, \dots, |V(s_{c_i}^i)|)$ ,  $\{s_1^i, s_2^i, \dots, s_{c_i}^i\}$  is a set of interfaces to security functions used for testing.

Then, the testing time can be estimated as follows:

$$J_T^* \approx \sum_{i=1}^n t_i \cdot M_i^2 \cdot \log c_i \approx n \cdot t \cdot M^2 \cdot \log c,$$

where  $n$  is a number of tests,  $t_i$  is time for the test  $st_i$  for one input data set,  $c_i$  is a number of interfaces to security functions used during testing  $st_i$ ,  $M_i = \max(|V(s_1^i)|, |V(s_2^i)|, \dots, |V(s_{c_i}^i)|)$ ,  $\{s_1^i, s_2^i, \dots, s_{c_i}^i\}$  is a set of interfaces to security functions used during testing,  $M = \max(M_1, M_2, \dots, M_n)$ ,  $c = \max(c_1, c_2, \dots, c_n)$ ,  $t = \max(t_1, t_2, \dots, t_n)$ .

It should be noted that the use of covering sets can reduce the testing time, as the size of the covering set increases logarithmically depending on the number of interfaces to security functions. Thus, repeatability and reproducibility of testing is ensured [11, 13].

## 6. Conclusions

The following main testing results have been obtained.

1. Synthesis of the FSRs set which can be used for establishing information security requirements for the CN equipment, for example, within the framework of testing, has been performed. A FSR set has been built with regard to the latest regulatory base profiles related to the methods of ISO 15408 metastandard. The synthesized FSR set can be used as a basis for the CN equipment protection profiles.
2. A PS model and certification testing model for the CN equipment developed with regard to ISO 15408 metastandard, which ensure the determinacy of testing and repeatability and reproducibility, have been proposed.
3. The issues of minimizing time for certification testing have been examined. It has been assumed that the testing time can be reduced by the use of covering testing sets, with repeatability and reproducibility ensured.

## References

1. Markov A., Rautkin Y., Luchin D., Tsirlov V. Evolution of a Radio Telecommunication Hardware-Software Certification Paradigm in Accordance with Information Security Requirements // 2015 International Siberian Conference on Control and Communications, SIBCON 2015 - Proceedings 2015. P. 7147139. DOI: 10.1109/SIBCON.2015.7147139.
2. Barabanov A.V., Markov A.S., Tsirlov V.L. Russia's new approach to Common Criteria // Information Technologies for Intelligent Decision Making Support ITIDS'2015 Proceedings of the 3rd International Conference. General Chair Woman: Yusupova Nafisa. 2015. P. 31-34.
3. Markov A.S., Fadin A.A., Veryaev A.S. Formalization of requirements for security analysis tools of information systems // Information Technologies for Intelligent Decision Making Support ITIDS'2015 Proceedings of the 3rd International Conference. General Chair Woman: Yusupova Nafisa. 2015. P. 116-118.
4. Herrmann D. S. Using the Common Criteria for IT Security Evaluation. Auerbach Publications. 2002. 362 p.
5. Higaki W.H. Writing Common Criteria Documentation. CreateSpace Independent Publishing Platform. 2014. 282 p.
6. Higaki W.H. Successful Common Criteria Evaluations: A Practical Guide for Vendors. CreateSpace Independent Publishing Platform. 2010. 362 p.
7. Merkow M.S., Breithaupt, J. Computer Security Assurance Using the Common Criteria. Thomson Delmar Learning. 2005. 278 p.
8. Prieto-Diaz R. The Common Criteria Evaluation Process. Commonwealth Information Security Center Technical Report CISC-TR-2002-003, James Madison University, Harrisonburg, VA. 2002. 56 p.
9. Roubik A.F. Applying the Common Criteria to the Certification & Accreditation of Department of Defense Unclassified Information Technology Systems. SANS Institute. 2003.
10. Markov, A.S., Fadin, A.A., Tsirlov, V.L. Multilevel Metamodel for Heuristic Search of Vulnerabilities in the Software Source Code // International Journal of Control Theory and Applications. 2016. № 9 (30). P. 313-320.
11. Barabanov A.V., Markov A.S., Tsirlov V.L. Methodological framework for analysis and synthesis of a set of secure software development controls // Journal of Theoretical and Applied Information Technology. 2016. V. 88. № 1. P. 77-88.
12. Grishin M.I., Markov A.S., Barabanov A.V. Formal'nyy bazis i metabazis otsenki sootvetstviya

13. sredstv zashchity informatsii ob"ektov informatizatsii // Izvestiya Instituta inzhenernoy fiziki [*Izvestiya of the Institute of Engineering Physics*]. 2011. V. 3. № 21. P. 82-88. (in Russ.).
14. Markov A.S., Tsirlov V.L. Opyt vyyavleniya uyazvimostey v zarubezhnykh programmnykh produktakh, Voprosy kiberbezopasnosti [*Cybersecurity Issues*]. 2013. № 1(1). P. 42-48. (In Russ.).

# Tendencies in international evaluation of it-products for compliance with information safety requirements

A.V. Barabanov  
Certification Department  
NPO Echelon  
Moscow, Russia  
e-mail: [mail@cnpo.ru](mailto:mail@cnpo.ru)

A.S. Markov  
Information Security Department  
Bauman Moscow State Technical University  
Moscow, Russia  
e-mail: [a.markov@bmstu.ru](mailto:a.markov@bmstu.ru)

V.L. Tsirlov  
Information Security Department  
Bauman Moscow State Technical University  
Moscow, Russia  
e-mail: [v.tsirlov@bmstu.ru](mailto:v.tsirlov@bmstu.ru)

## Abstract<sup>1</sup>

The article describes the results of the study into current tendencies in some foreign systems of evaluating compliance of IT-products with information safety requirements, which is based on the Common Criteria methodology. It forecasts changes in certification systems, which adhere to the Common Criteria methodology. These forecasts may be interesting to the Russian specialists in certification of information security tools and information security standardization.

## 1. Introduction

In the last few years, the ISO/IEC 15408 based regulatory and methodological approach, which is known as a Common Criteria (CC) methodology, has gained popularity in the technical control of the information security industry in Russia [1-6]. The development of over ten packages of laws and regulations, some of which have been tested in the process of information security tools (IST) certification, have been initiated in Russia in that respect [7, 8].

However, the CC methodology was generated back in the mid-1990s of the past century [9, 10], and the international community is planning to make fundamental changes in CC this year [11]. This work is devoted to analysis of international tendencies related to fundamental changes in CC.

---

**Proceedings of the 5<sup>th</sup> All-Russian Conference "Information Technologies for Intelligent Decision Making Support", May 16 - 19, Ufa, Russia, 2017**

## 2. Common Criteria Basis

The CC methodology is used to set information security requirements for various information technology products (IT-products) and evaluate their compliance. There are two segments of CC-related regulatory documents:

- Common Criteria working documents (Common Criteria for Information Technology Security Evaluation, CC) and Common Evaluation Methodology (Common Methodology for Information Technology Security Evaluation, CEM) developed by the participants of Common Criteria Recognition Arrangement, CCRA;
- Series of international standards, mainly, these are ISO/IEC 15408 and ISO/IEC 18045 standards, developed and supported by the Technical Committee (TC) for Standardization ISO/IEC JTC 1/SC 27 (IT Security Techniques).

Traditionally, the first segment of the working documents is more dynamic in comparison with the standards that reflect one of the versions of the working documents.

Although Russia is not a CCRA member, the Russian Technical Commission 362 (Information Security) harmonizes and uses international standards in IST certification. It should be reminded that the Russian regulatory base interprets an IT-product, with claimed information security mechanisms, as IST.

IST certification with respect to the CC methodology has certain specifics, for instance:

- Tests are held for compliance with the Security Target (ST) document, which is rigidly structured and includes two classes of requirements: security functional requirements (SFR) and assurance measures - security assurance requirements (SAR);



- Security targets can be developed using standard sets of requirements – Protection Profiles (PP), which specify SFR (reflect a certain class of IST) and SAR (reflect the assurance level of the lifecycle of IST of this class – set as an evaluation assurance level ranging from 1 to 7).

### 3. Certification Problems with respect to Common Criteria

In 2016 the Technical Committee ISO/IEC JTC 1/SC 27 jointly with the CCRA participants proceeded to creating fundamentally new versions of CC and CEM documents, and relevant international standards. Aside from the dynamic nature of the information security industry, that was basically inspired by the initiatives of certain foreign national certification systems (CCRA participants), which are related to making significant changes in the operating procedures on evaluating conformance of the IT-items to the information security requirements. According to the latest conferences on the topic [11, 12], we can identify the following targets of the proposed fundamental changes:

- Ensuring test repeatability and reproducibility;
- Enhancing the efficiency of the conformance evaluation;
- Ensuring uniform nature of the assurance measures;
- Increasing awareness of the interested parties.

### 4. Ensuring Test Repeatability and Reproducibility

Since 2015 the international community has been working on changing the CC methodology to cut down the time on certification testing, ensuring repeatability and reproducibility of the results. This is caused by the fact that the experience of certain foreign certification systems showed inefficiency of the use of evaluation assurance levels (EAL), and certification for compliance with the security target, which do not claim compliance with any of the available (approved) protection profiles, for instance:

- Certification for the most widely-spread EALs (3 and 4) takes on average from a year and a half to two years, which is unacceptable due to the dynamic nature of the IT-technologies;
- Certification according to ST requirements, which do not claim compliance with any of the approved PP, requires the testing laboratories to develop unique test procedures for the cases where various laboratories can obtain different results.

To solve the above problems, certain foreign certification systems, at the initiative of the USA, suggested the solution consisting in certification of IT products only for compliance with the so-called Collaborative Protection Profile and abandonment of IT-product certification for compliance with ST, which do not claim any compliance

with any of the approved PP. Let us state the main specifics of the Collaborative PP:

- Abandonment of the “evaluation assurance level” concept with significantly more lenient assurance requirements;
- Ban on supplementing/ strengthening the list of safety requirements that are specified in the Collaborative PP;
- Creating standard test procedures for every Collaborative PP.

Despite the fact that the new version of the CCRA Agreement allows the use of assurance level up to EAL 4, all the Collaborative PPs that have been created to date use requirements that do not exceed the requirements of the lowest evaluation assurance level – EAL 1, i.e.: requirements for ST (ASE), independent compliance testing (ATE\_IND.1), vulnerability review (AVA\_VAN.1), basic functional specification (ADV\_FSP.1), operations manual (AGD\_OPE.1), preparatory procedures (AGD\_PRE.1), OO marking (ALC\_CMC.1) and coverage of the OO configuration management system (ALC\_CMS.1).

It should be noted that the new approach is not used universally, because no Collaborative PP has been developed for all critical technologies from the point of view of the information security, and there are areas that require enhanced assurance to the certified IT-products.

To solve the last of the above problems, some of European countries suggest 2 parallel CC certifications, with issuance of 2 separate certificates, i.e.: for compliance with the requirements of Collaborative PP and for compliance with a single ST, which would contain additional requirements [11]. The second certification is going to be carried out within the framework of SOG-IS MRA (European Mutual Recognition Agreement of IT Security Evaluation Certificates of Senior Officials Group Information Systems Security).

### 5. Enhancing the Efficiency of the Conformance Evaluation

The main information security factor for modern information systems are vulnerabilities, therefore enhancing the efficiency of tests to identify defects and vulnerabilities is a burning issue now [13, 14].

Unfortunately, the latest versions of CC documents have less stringent requirements for vulnerability identification methods, which raises concerns of the international community [15].

For instance, the latest Collaborative PP suggests that the analysis of vulnerabilities should only be performed by the testing laboratories and exclusively based on the study of the open information sources. Moreover, it considers only the vulnerabilities of the safety architecture, and there are no requirements for the use of static or dynamic analysis of the source texts etc.

Moreover, the list of the assurance requirements specified by the CC methodology contains almost no requirements related to the life cycle of so-called safe software, i.e. software with the minimum number of employed vulnerabilities.

Let us note the main propositions expressed by the foreign specialists at the relevant conferences:

1. Expansion of the current SAR list, which performance ensures that the developer designs IT products with a minimum number of the used vulnerabilities and generates the environment that ensures quick elimination of the vulnerabilities identified during the use of the certified products [16, 17]. Let us note that such approach has been taken into account during development of the national standard GOST R "Information Protection. Secure Software Development. General Requirements" [18-20].
2. Specification of actions of the testing laboratories during analysis of vulnerabilities to increase its efficiency and determinacy, as in:
  - Using special tools for identifying a wide range of vulnerabilities [21, 22];
  - Identifying minimum list of analysed open bases and security bulletins [23];
  - Identifying the list of penetration testing tools [24].

## 6. Ensuring Uniform Nature of Assurance Measures

As for the assurance requirements, the foreign specialists note that the assurance requirements are set for a specific version of the IT-product, not the processes implemented by the developer of the IT-product (within the framework of the management system).

Therefore, the certification leads to hardly any improvements in the processes of the development lifecycle.

The proposition as such consists in specification of the assurance requirement wording to focus them only on the developer's processes, rather than the measures used to develop a specific IT-product submitted for certification. Such approach, for instance, will allow significantly cutting down expenses of the developers of the upgradable and multi-version items.

## 7. Increasing Awareness of the Interested Parties

The last group of propositions expressed by the international specialists in IT-product certification is aimed at enhanced support for the end users of certified products, and consists in:

- The certification systems should publish more detailed technical reports: end users (system integrators) should understand what has been tested and the scope of the test;

- The developer, testing laboratory and certification body should jointly develop a certified IT-product installation and use guide containing detailed descriptions of the work with certified security functions.

## 8. Conclusions

The following conclusions can be made on the analysis of the CC documents:

1. Despite the initiative on abandoning evaluation assurance levels new versions of the documents shall still have evaluation assurance levels system for cases, where high assurance requirements are laid to the product.
2. The security functional requirements list will be supplemented with up-to-date requirements related to new security mechanisms (for instance, virtualization environment and cloud computations).
3. Measures aimed at developing safe software are going to be integrated in evaluation assurance levels to minimize vulnerabilities and to unify the specified measures.
4. The evaluator's actions (experts of the testing laboratories) will be updated with instructions on analysis of vulnerabilities in certified IT-products.
5. Any actions aimed to keep the end users informed will be appreciated, for instance, publishing by certification systems of detailed technical reports on evaluation and guides on safe setting up of certified IT-products.

These conclusions can be useful for generation and upgrading regulatory and methodological bases of the mandatory IST certification systems in our country and throughout the Eurasian Economic Union.

## References

1. Herrmann D. S. Using the Common Criteria for IT Security Evaluation. Auerbach Publications. 2002. 362 p.
2. Higaki W.H. Successful Common Criteria Evaluations: A Practical Guide for Vendors. CreateSpace. 2010. 282 p.
3. Higaki W.H. Successful Common Criteria Evaluations: A Practical Guide for Vendors. CreateSpace Independent Publishing Platform. 2010. 362 p.
4. Merkow M.S., Breithaupt J. Computer Security Assurance Using the Common Criteria. Thomson Delmar Learning, 2005. 278 p.
5. Prieto-Diaz R. The Common Criteria Evaluation Process. Technical Report CISC-TR-2002-003, CISC, 2002, 56 p.
6. Roubik A.F. Applying the Common Criteria to the Certification & Accreditation of Department of

- Defense Unclassified Information Technology Systems. SANS Institute. 2003. 78 p.
7. Barabanov A.V., Markov A.S., Tsirlov V.L. Russia's new approach to Common Criteria // Information Technologies for Intelligent Decision Making Support ITIDS'2015 Proceedings of the 3rd International Conference. General Chair Woman: Yusupova Nafisa. 2015. P. 31-34.
  8. Markov A.S., Fadin A.A., Veryaev A.S. Formalization of requirements for security analysis tools of information systems // Information Technologies for Intelligent Decision Making Support ITIDS'2015 Proceedings of the 3rd International Conference. General Chair Woman: Yusupova Nafisa. 2015. P. 116-118.
  9. Barabanov A.V., Markov A.S., Tsirlov V.L. Otsenka sootvetstviya sredstv zashchity informatsii "Obshchim kriteriyam" // Informatsionnye tekhnologii [Information Technologies]. 2015. V. 21. № 4. P. 264-270. (In Russ).
  10. Duncan B., Whittington M. Compliance with standards, assurance and audit: does this equal security? // In Proceedings of the 7th International Conference on Security of Information and Networks (Glasgow, UK, September 09-11, 2014). SIN '14. ACM, New York, NY, USA, 2014. P. 77-84. DOI = <http://dx.doi.org/10.1145/2659651.2659711>.
  11. Chuzel J., Weber J., Huisman R., Medium and higher assurance evaluations in the European context. // In Proceedings of the 16th International Common Criteria Conference (Berkshire, London, UK, September 22-24, 2015). ICC-2015. CESG, 2015. URL: <https://www.iccc15.org.uk/Programme.aspx>.
  12. Barabanov A., Markov A. Modern Trends in the Regulatory Framework of the Information Security Compliance Assessment in Russia Based On Common Criteria // ACM International Conference Proceeding Series 8. "Proceedings of the 8th International Conference on Security of Information and Networks, SIN 2015" 2015. DOI = <http://dx.doi.org/10.1145/2799979.2799980>.
  13. Markov A., Rautkin Y., Luchin D., Tsirlov V. Evolution of a Radio Telecommunication Hardware-Software Certification Paradigm in Accordance with Information Security Requirements // In Proc.: 2015 International Siberian Conference on Control and Communications, SIBCON 2015 - Proceedings 2015. P. 7147139. DOI = <http://dx.doi.org/10.1109/SIBCON.2015.7147139>.
  14. Reber, G., Malmquist, K., Shcherbakov, A. 2014. Mapping the Application Security Terrain. // Voprosy kiberbezopasnosti [Cybersecurity Issues]. 2014. № 1(2). P. 36-39. (In Russ).
  15. Ardi S., Shahmehri N. Introducing Vulnerability Awareness to Common Criteria's Security Targets // In Proceedings of 4th International Conference on Software Engineering Advances (Porto, Portugal, September 20-25, 2009), ICSEA '09, IEEE, 2009. P. 419-424, DOI = <http://dx.doi.org/10.1109/ICSEA.2009.67>.
  16. Howard M., Lipner S. The Security Development Lifecycle: A Process for Developing Demonstrably More Secure Software. Microsoft Press, 2006. 352 p.
  17. Kara M. Review on Common Criteria as a Secure Software Development Model. IJCSIT, 2012, V. 4, No 2 (Apr. 2012). P. 83-94. DOI = <http://dx.doi.org/10.5121/ijcsit.2012.4207>.
  18. Barabanov A., Markov A., Tsirlov V. Procedure for Substantiated Development of Measures to Design Secure Software for Automated Process Control Systems. // 2016 International Siberian Conference on Control and Communications, SIBCON 2016 - Proceedings 2016. P. 7491660.
  19. Barabanov A.V. Standartizatsiya protsesssa razrabotki bezopasnykh programmnykh sredstv // Voprosy kiberbezopasnosti [Cybersecurity Issues]. 2013. № 1 (1). P. 37-41. (In Russ).
  20. Barabanov A.V., Markov A.S., Tsirlov V.L. Methodological Framework for Analysis and Synthesis of a Set of Secure Software Development Controls // Journal of Theoretical and Applied Information Technology. 2016. V. 88. № 1. P. 77-88.
  21. Markov A., Fadin A., Shvets V., Tsirlov V. The Experience of Comparison of Static Security Code Analyzers // International Journal of Advanced Studies. 2015. V. 5. № 3. P. 55-63.
  22. Markov, A.S., Fadin, A.A., Tsirlov, V.L. Multilevel Metamodel for Heuristic Search of Vulnerabilities in the Software Source Code // International Journal of Control Theory and Applications. 2016. № 9 (30). P. 313-320.
  23. Dorofeev A., Markov A., Tsirlov V. Social Media in Identifying Threats to Ensure Safe Life in a Modern City // Communications in Computer and Information Science, 2016. Volume 674. P. 441-449. DOI = [http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-49700-6\\_44](http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-49700-6_44).
  24. Markov A.S., Tsirlov V.L. Opyt vyyavleniya uyazvimostey v zarubezhnykh programmnykh produktakh, Voprosy kiberbezopasnosti [Cybersecurity Issues]. 2013. № 1(1). P. 42-48. (In Russ.).

# Программная система поддержки принятия решений в процессе производства по делам об административных правонарушениях

О.К. Головнин

Факультет информатики

Самарский национальный исследовательский  
университет имени академика С.П. Королева

Самара, Россия

e-mail: golovnin@ssau.ru

Е.А. Романова

Факультет информатики

Самарский национальный исследовательский  
университет имени академика С.П. Королева

Самара, Россия

e-mail: katrine.romanoff@mail.ru

## Аннотация<sup>1</sup>

В статье описаны архитектура и функции разработанной программной системы, предназначенной для поддержки принятия решений в процессе производства по делам об административных правонарушениях. Использована математическая модель поддержки принятия решений на основе технологии Case-based reasoning поиска описания прецедентов (паттернов) решения аналогичных задач в базах знаний. Разработанная система обеспечивает автоматизацию сбора, планирования и анализа информации, используемой в процессе производства по делам об административных правонарушениях.

## 1. Введение

В настоящее время прослеживается тенденция ежегодного увеличения числа правонарушений в РФ. По статистике, предоставленной Министерством юстиции, каждый год в нашей стране совершаются более 12 тысяч административных правонарушений [1]. Именно поэтому проблема правонарушений и ответственности за них является острой проблемой на данный момент, как в юридической науке, так и в юридической практике.

Производство по делам об административных правонарушениях представляет собой один из видов административно-юрисдикционного производства. Задачами этого производства являются всестороннее, полное, объективное и своевременное выяснение обстоятельств каждого дела, разрешение его в соответствии с законом, обеспечение исполнения вынесенного постановления, а также выявление

причин и условий, способствовавших совершению административных правонарушений [2].

Кроме того, при административном производстве определяются порядок рассмотрения дел об административных правонарушениях, и подготовительных мер, процедура опротестования постановлений по административным делам, а также порядок исполнения постановлений о наложении административных взысканий [3].

## 2. Постановка задачи

При ведении административного производства уполномоченные органы, выполняющие свои обязанности в области учета дел по административным правонарушениям, сталкиваются с рядом проблем таких, как [4]:

- трудности, возникающие при отслеживании процессуальных сроков;
- высокая нагрузка на специалистов, связанная с большим объемом дел;
- принятие решений по делам об административных правонарушениях на основе опыта лица, которое принимает данное решение;
- отсутствие единой базы по делам даже в рамках одной организации;
- формирование первичной документации в «ручном» режиме.

Для решения проблем, возникающих при административном производстве, была поставлена задача создания автоматизированной информационной системы для учета дел по административным правонарушениям.

Разрабатываемая система предназначена для выполнения следующих задач:

- автоматизация учета дел по административным правонарушениям;

---

Труды пятой всероссийской конференции  
"Информационные технологии интеллектуальной  
поддержки принятия решений", 16 - 19 мая, Уфа,  
Россия, 2017

- исключение процессуальных нарушений;  
сокращение нагрузки на специалистов, которые ведут административное производство;
- увеличение точности решений, принимаемых по делам об административных правонарушениях
- уменьшение времени формирования документов, необходимых для административного производства.



Рис. 1. Структурная схема системы

### 3. Архитектура системы

Разработанная автоматизированная система предоставляет возможность ведения базы данных дел по административным правонарушениям, поиска дел по картотеке, контроль процессуальных сроков, формирования календаря задач для каждого пользователя и формирования документов, необходимых для ведения административного производства.

Для достижения поставленной цели была составлена структурная схема, представленная на рисунке 1. Система учета была разделена по функциональному признаку на следующие подсистемы:

1. Подсистема управления, отвечающая за взаимодействие подсистем между собой;
2. Подсистема фильтрации и поиска дел, позволяющая искать дела об административных правонарушениях по различным критериям;
3. Подсистема формирования документов, предоставляющая возможность сохранять документы, необходимые административного производства, в виде файлов;
4. Подсистема контроля процессуальных сроков;
5. Подсистема взаимодействия с сайтом правосудия для контроля исполнения, позволяющая вести исполнительное производство;
6. Подсистема работы с базой данных,

обеспечивающая хранение, модификацию данных, необходимых для функционирования системы;

#### 7. Подсистема визуализации.

В процессе создания автоматизированной системы учета об административных правонарушениях была построена диаграмма использования, представленная на рисунке 2. Данная диаграмма показывает, какие возможности имеют пользователи с различными правами при работе с разработанной системой. Пользователи могут иметь одну из следующих ролей: администратор, начальник отдела, специалист.

Функционал, предоставленный «Администратору», включает работу с пользователями и с шаблонами документов, необходимых для административного производства.

В функции «Специалиста» входят управление календарем задач, работа с участниками процесса и работа с делами, включающая создание, редактирование и поиск дел по заданному критерию.

Пользователь с ролью «Начальник отдела», кроме работы с делами и управления календарем, имеет возможность удаления дела, формирования отчетов, принятия решения по делу, а также распределение задач по специалистам.

При разработке системы учета дел были описаны алгоритмы, один из которых - алгоритм составления протокола об административном правонарушении, представленный на рисунке 3. Данный алгоритм описывает последовательность действий в

зависимости от прибытия или неприбытия правонарушителя и потерпевшего в определенную дату и время по указанному адресу для составления протокола об АП.

В случае, когда правонарушитель и потерпевший прибыли, вносятся сведения о прибывших лицах,

фиксируется номер протокола и вводятся сведения о вручении копии протокола. Иначе формируется акт о неприбытии каждому участнику и отправляются копии протокола с сопроводительными письмами. Если расследование по делу не проводилось, происходит присвоение номера делу [5].

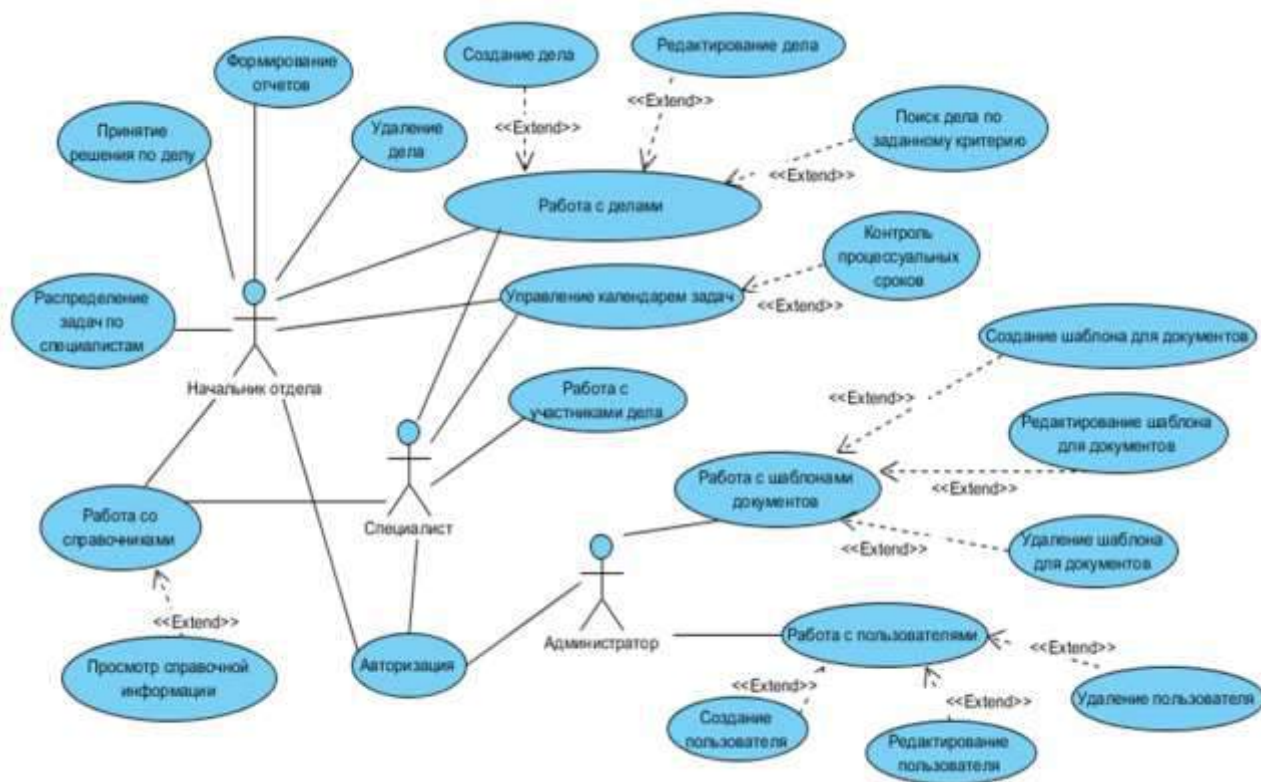


Рис. 2. Диаграмма вариантов использования системы

#### 4. Поддержка принятия решения

При разработке системы учета дел математическая модель поддержки принятия решений реализована на основе технологии Case-based reasoning поиска описания прецедентов решения аналогичных задач в базах знаний.

Прецедентный подход (Case-based reasoning) представляет собой процесс (методологию) решения новой задачи (проблемы) с помощью повторного использования и адаптации (при необходимости) решений, которые были ранее получены при решении подобных задач [6,7].

Прецедентом является структурированное представление накопленного опыта в виде данных и знаний, который в последующем позволяет выполнять его автоматизированную обработку при помощи специализированных программных систем [6].

Прецедент обычно описывается в виде паттерна проектирования или фрейма, который является структурой, отражающей некоторые характерные свойства задачи поиска решения. Паттерны имеют слотовую структуру и классифицируются по

приложениям, степени обобщения описываемых решений и группам задач [7,8].

#### 5. Функции системы

Разработанная система обеспечивает автоматизацию сбора, планирования и анализа информации, используемой в процессе производства по делам об административных правонарушениях, и обладает следующими основными функциями:

- ведение картотеки дел по правонарушениям;
- анализ сведений об участниках дела;
- принятие решений по делам об административных правонарушениях на основе опыта лица, которое принимает данное решение;
- формирование документов, необходимых для административного производства, по различным критериям;
- формирование календаря задач и контрольных дат по делам об административных правонарушениях;
- контроль процессуальных сроков по делам об административных правонарушениях.

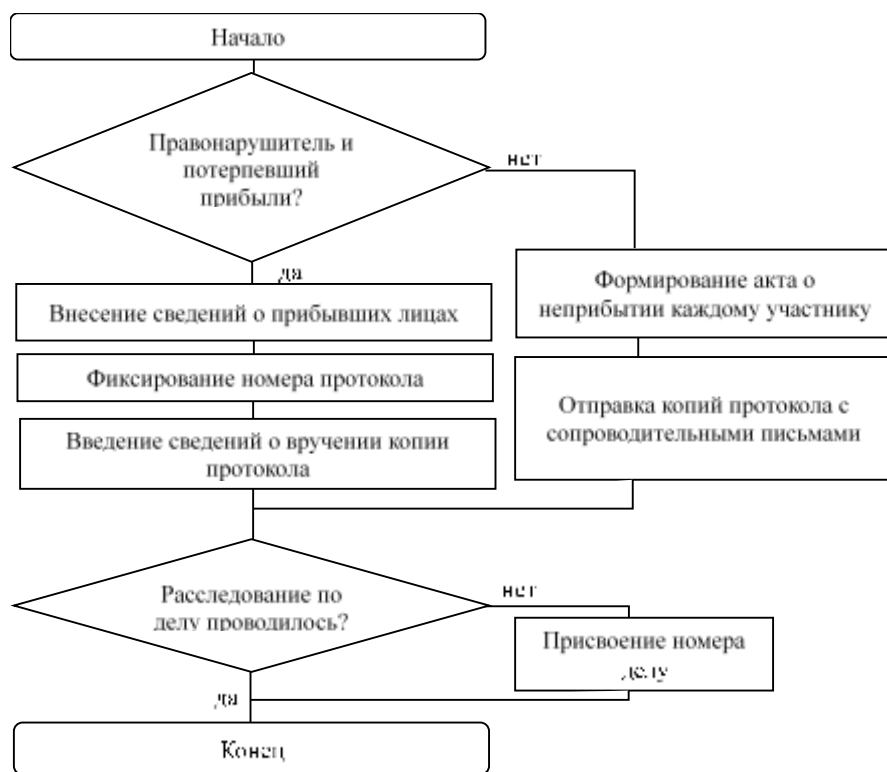


Рис. 3. Алгоритм составления протокола об административном правонарушении

## 6. Заключение

Разработана автоматизированная система для учета административных правонарушений, которая позволит повысить эффективность деятельности органов, уполномоченных возбуждать и рассматривать дела об административных правонарушениях, а именно:

- уменьшить нагрузку на специалистов, сократить время формирования отчетности;
- исключить процессуальные нарушения;
- повысить точность принимаемых решений по делам об административных правонарушениях;
- формировать документы для административного производства.

## Список используемых источников

1. Сведения об осуществлении государственного контроля (надзора) и муниципального контроля / Минюст России. – URL: [minjust.ru/ru/press/news/svedeniya-ob-osushchestvlenii-gosudarstvennogo-kontrolya-nadzora-i-municipalnogo-b](http://minjust.ru/ru/press/news/svedeniya-ob-osushchestvlenii-gosudarstvennogo-kontrolya-nadzora-i-municipalnogo-b) (дата обращения: 01.02.2017).
2. Кодекс Российской Федерации об административных правонарушениях от 30.12.2001 N 195-ФЗ (ред. от 13.07.2015, с изм. от 14.07.2015) (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.10.2015).
3. Агапов А.Б. Административная ответственность : учебник для магистров. – 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Издательство Юрайт, 2015. – 494 с.
4. Головнин О.К., Михеева Т.И., Сидоров А.В. Автоматизированная система интеллектуальной поддержки принятия решений в распределенных средах // Вестник Уфимского государственного авиационного технического университета. – 2014. – Т. 18, № 5 (66). – С. 131-138.
5. Головнин О.К., Романова Е.А. Автоматизированная информационная система учета дел об административных правонарушениях // Перспективные информационные технологии: труды Междунар. научно-технич. конф. – Самара: Издательство СНЦ РАН, 2017. – С. 619-622.
6. Карпов Л.Е., Юдин В.Н. Методы добычи данных при построении локальной метрики в системах вывода по прецедентам. – М.: ИСП РАН, препринт N 18, 2006.
7. Норенков И.П., Уваров М.Ю. Поддержка принятия решений на основе паттернов проектирования // Наука и образование. – 2011. – №9; URL: <http://technomag.edu.ru>.
8. Паттерны проектирования сложноорганизованных систем / Т.И. Михеева, С.В. Михеев, О.К. Головнин, О.Н. Сапрыкин. – Самара: Интелтранс, 2015. – 216 с.

# Облачная геоинформационная система поддержки принятия решений по управлению транспортной инфраструктурой города

Н.А. Остроглазов

кафедра информационных систем и технологий

федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева»  
(Самарский университет)  
Самара, Россия  
e-mail: [nickitaost@gmail.com](mailto:nickitaost@gmail.com)

Т.И. Михеева

кафедра организации и управления перевозками на транспорте

федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева»  
(Самарский университет)  
Самара, Россия  
e-mail: [mikheevati@its-spc.ru](mailto:mikheevati@its-spc.ru)

## Аннотация<sup>1</sup>

Исследованы концепции построения и структура современных интеллектуальных транспортных геоинформационных веб-ориентированных систем; разработана архитектура веб-ориентированной системы дислокации объектов транспортной инфраструктуры и методы структурного синтеза такой системы; разработаны алгоритмы получения, обработки, визуализации атрибутивной и пространственно-ориентированной информации.

## 1. Введение

Развитие Интернет-технологий с каждым годом увеличивает свои темпы. Появляются новые методы хранения, передачи и обработки данных, распределенных территориально между различными ресурсами. В настоящее время сеть Интернет прочно заняла своё место в области информационного обмена и охватывает всё новые области деятельности. Очевидно, что современные веб-технологии позволяют по-новому взглянуть на задачи реализации технологических решений для работы с геопространственными данными.

На сегодняшний день остро стоит вопрос обеспечения оперативного доступа к информации об объектах транспортной инфраструктуры (ТрИ) города для анализа их состояния и принятия решения об оптимальном и безопасном управлении инфраструктурой. Объекты ТрИ являются важной составляющей транспортного комплекса любого

мегаполиса и обеспечивают его функционирование. К объектам ТрИ относятся: транспортные средства, обеспечивающие транспортное обслуживание населения и перевозку грузов; улично-дорожная сеть; технические средства организации дорожного движения (ТСОДД) – дорожные ограждения, дорожная разметка, дорожные знаки, светофоры.

Динамичное развитие субъектов страны неизбежно приводит к их территориальному расширению. Происходит существенное увеличение количества объектов ТрИ. Возникает потребность в оценке текущего состояния и расположения объектов ТрИ для оперативного принятия решения об управления транспортной системой в целом. От уровня развития транспортной системы, оперативности анализа и обработки данных об объектах ТрИ зависит эффективность принятия решения об эксплуатации транспортной инфраструктуры, что, в конечном итоге, оказывает влияние на безопасность и экономическую составляющую управления. Так или иначе задача принятия решения об управлении транспортной инфраструктурой сводится к анализу большого массива как атрибутивной так и пространственной информации. Необходимо иметь представление об актуальном взаимном расположении и состоянии объектов ТрИ для дальнейшего принятия решения об управлении.

Проблемой, возникающей при оценке состояния транспортной инфраструктуры, являются устаревшие методы накопления, обработки, визуализации данных об объектах ТрИ. Большинство муниципальных организаций осуществляют анализ состояния объектов ТрИ, руководствуясь бумажными носителями: карты, отчеты, ведомости, таблицы. В таких условиях лицо, принимающее решение об

---

Труды пятой всероссийской конференции "Информационные технологии интеллектуальной поддержки принятия решений", 16 - 19 мая, Уфа, Россия, 2017

Всероссийская конференция "Информационные технологии интеллектуальной поддержки принятия решений", 16-19 мая, Уфа, Россия, 2017



управлении, опирается на устаревшую информацию. Определение взаимного расположения, мониторинг состояния, доступ к атрибутивной информации объектов ТРИ, при такой организации работы, представляется сложным и трудоемким процессом, т.к. плотность и объемы информации достаточно высоки для их ручной обработки. Появляется необходимость в разработке новых методов и средств для учета, оперативного доступа к атрибутивным данным и оценки состояния объектов ТРИ. Для обеспечения оперативного доступа к информации о взаимном расположении и состоянии объектов ТРИ необходимо использовать современные информационные технологии. Одним из возможных вариантов решения задач хранения, визуализации и доступа к информации об объектах ТРИ является разработка интегрированной системы, соединяющей возможности интеллектуальных транспортных систем (ИТС), геоинформационных технологий по обеспечению хранения и визуализации пространственных данных, и современных Интернет-технологий, предоставляющих инструменты для удаленного доступа к информационным ресурсам.

## **2. Разработка методов структурного синтеза веб-ориентированной геоинформационной системы поддержки принятия решений по управлению транспортной инфраструктурой города**

Объекты ИТС группируются следующим образом:

1.Вспомогательные «геообъекты» – увеличивающие наглядность карты, но непосредственно не задействованные в работе каких-либо алгоритмов или информационных подсистемах ИТС. К таким объектам относятся жилые кварталы, рельеф местности, водоемы, растительность и т.п.

2.Базовые объекты предметной области (ПрО).

- Объекты, описывающие объекты ТРИ города.

- Объекты-события и вспомогательные объекты подсистем: дорожно-транспортные происшествия (ДТП), очаг аварийности, вскрытие дорожного полотна, дорожный патруль и т.д.

Интеллектуальные объекты, обладающие знаниями, аналитическими способностями (правилами вывода, методами-алгоритмами).

Ядром ИТС является комплекс программных средств, служащих основой для построения подсистем. Ядро включает следующие компоненты:

- единое хранилище семантических данных на основе СУБД MS SQL Server;

- оцифрованная карта города на базе геоинформационной системы (ГИС) MapInfo. На карту нанесены объекты (модели УДС, транспортного потока (ТП), ТСОДД и другие вспомогательные объекты);

- система генерации отчетов;
- система обработки данных;
- сервер приложений.

Сервер приложений - это многокомпонентная система, реализованная как набор СОМ-объектов. Основные СОМ-объекты бизнес-уровня системы:

- компоненты, отвечающие за функционирование всей системы. Приложения-клиенты имеют доступ только к интерфейсу сервера, т.е. прямой доступ к БД и ГИС невозможен. Сам сервер не имеет прямого доступа к уровню хранения данных, взаимодействуя с СУБД/ГИС посредством промежуточных интерфейсов. Такая организация системы позволяет полноценно использовать преимущество многоуровневой архитектуры;

- компонент, предоставляющий доступ к СУБД;

- компонент, предоставляющий доступ к ГИС.

Система обработки данных включает в себя ряд подсистем, решающих задачи экспертизы и моделирования:

- подсистемы сбора, хранения, редактирования и обработки информации, касающейся УДС и объектов на ней («Паспортизация дороги», «Реестр дорожных знаков», «Реестр светофорных объектов», «Реестр железнодорожных переездов»);

- подсистема сбора, хранения, редактирования и обработки оперативной информации («Мониторинг оперативной информации», «Контроль за состоянием УДС», «Учет и анализ ДТП»);

- подсистема генерации сводных отчетов (XML шаблоны отчетов);

- экспертная система дислокации ТСОДД на УДС города;

- система моделирования координированного управления;

- система моделирования распределения транспортных потоков.

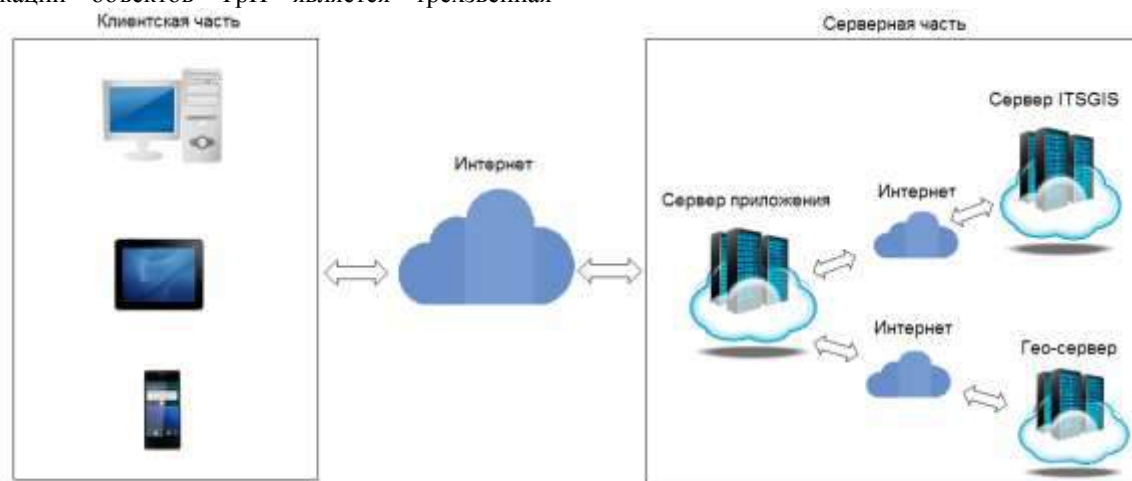
На основе изученной структуры ИТС разработаны технологии взаимодействия и интеграции веб-ориентированной ГИС и ИТС.

При построении комплексных веб-ориентированных ГИС возникает проблема создания наиболее эффективной архитектуры, которая должна обеспечить производительность, масштабируемость и надежность решения. В широком смысле построение архитектуры сводится к выбору основных составляющих системы: базовой ГИС-технологии, средства хранения пространственных данных. В узком смысле – это применение наиболее эффективных архитектурных решений на каждом уровне проектируемой ГИС, где центральное место занимают средства web-публикации.

В основе веб-ориентированной ГИС дислокации объектов транспортной инфраструктуры лежит многоуровневая архитектура. Условно, система делится на две части – клиентская и серверная. Каждая часть имеет более сложную организацию и, оставаясь в рамках архитектуры системы в целом, подразделяется на несколько уровней. На рисунке 1 представлена архитектура системы.

Таким образом, основой веб-ориентированного ГИС дислокации объектов ТРИ является трехзвенная

клиент-серверная архитектура.



**Рис. 1. Архитектура веб-ориентированной ГИС**

В состав трехзвенной архитектуры системы входят:

- серверная часть – состоит из сервера приложения, сервера ИТС и геосервера;
- клиентская часть – веб-браузер на различных устройствах (персональный компьютер, планшет или смартфон).

Сервер приложения взаимодействует с сервером ИТС, геосервером и обрабатывает запросы, приходящие из среды веб-браузера.

Применение такого подхода к организации веб-ориентированной ГИС обеспечивает централизованное хранение, анализ и предоставление пространственных данных в сети Интернет для удаленных пользователей, решающих задачи справочно-информационного, справочно-аналитического картографического обслуживания, визуально-картографического представления цифровых геоданных в интересах распространения. Поставщики геоданных взаимодействуют с единым хранилищем пространственных и атрибутивных данных. Сервер приложения геопортала ИТС отвечает за доставку пространственных данных и является связующим звеном между пользователями и сервером геоданных ИТС. Для работы с геопорталом пользователю не требуется установка специального программного обеспечения на рабочую машину, достаточно имеющегося стандартного браузера. Работа с геоданными осуществляется в окне браузера. При проектировании веб-ориентированной ГИС дислокации объектов транспортной инфраструктуры целесообразно использовать паттерны:

- структурный паттерн проектирования – проху;
- шаблон проектирования – MVC;
- паттерн проектирования поведения классов – Mediator.

Концепция веб-ориентированной ГИС дислокации объектов транспортной инфраструктуры предусматривает наличие сети однотипных узлов, между которыми осуществляется синхронизация

метаданных каталога информационных ресурсов. Каждый узел состоит из следующих элементов:

- один или несколько хранилищ пространственных и атрибутивных данных, картографических наборов, электронных карт;
- веб-сервер, осуществляющий доступ к пространственным данным в соответствии с отраслевыми стандартами;
- программное обеспечение, осуществляющее поддержку распределенного каталога георесурсов и его синхронизацию с другими узлами системы.

Узлы веб-ориентированной ГИС могут располагаться в разных организациях и даже городах, каждый из них поддерживает собственный набор информационных ресурсов.

Неотъемлемой частью веб-ориентированной ГИС является геоинформационный компонент системы. По сути веб-ГИС – это надстройка над распределенной ГИС, которая обеспечивает оперативный доступ к геоданным, геосервисам и функциям каталогизации, разделение прав доступа. Важнейшей функцией веб-ГИС является построение интерфейсов пользователя к картографической информации по тематическим слоям, содержащим различные категории объектов транспортной инфраструктуры.

В связи с тем, что ГИС, как правило, состоят из различных подсистем, который могут взаимодействовать друг с другом, для организации их правильной работы целесообразно использовать шаблон проектирования MVC (Model-View-Controller).

Шаблон MVC позволяет создавать системы, различные аспекты которых (логика ввода, бизнес-логика и логика интерфейса) разделены, но достаточно тесно взаимодействуют друг с другом. Эта схема указывает расположение каждого вида логики в системе. Пользовательский интерфейс располагается в представлении. Логика ввода располагается в контроллере. Бизнес-логика

находится в модели. Это разделение позволяет работать со сложными структурами при создании приложения, так как обеспечивает одновременную реализацию только одного аспекта. Например, разработчик может сконцентрироваться на создании представления отдельно от бизнес-логики. На рисунке 2 представлена диаграмма последовательности функционирования шаблона MVC в проектируемой модели веб-ориентированной ГИС.

задача разработки веб-ориентированной автоматизированной информационной системы поддержки принятия решений по управлению транспортной инфраструктурой города.

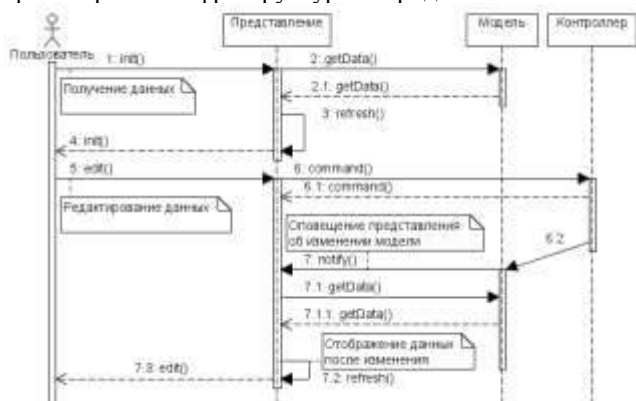


Рис. 2. Диаграмма последовательности работы шаблона MVC

### Список используемых источников

1. Михеева Т.И. «Структурно-параметрический синтез интеллектуальных транспортных систем». - Самара: Самар. науч. центр РАН, 2008. 380 с.
2. Остроглазов Н.А., Имамутдинов А.Н., Головнин О.К. Веб-ориентированная

### 3. Заключение

На основании принципов объектно-ориентированной декомпозиции, построена унифицированная модель ПрО и наполнена классами объектов. Основанная на использовании моделей наследования свойств, определяющая иерархию объектно-ориентированного конструирования классов ПрО, систематизация понятий ПрО позволила выделить классы.

Таким образом, в работе исследована концепция построения современных ИТС и на её основе решена информационная система дислокации объектов транспортной инфраструктуры // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. Самара: Самарский научный центр РАН, 2016, Т. 17, №4 (4). – С. 739-743.

3. Имамутдинов А.Н., Сидоров А.В., Ключников В.А. Веб-ориентированная модель интеллектуальной транспортной геоинформационной системы ITSGIS // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. Самара: Самарский научный центр РАН, 2015, Т. 17, №2 (5). – С. 1114-1118.

4. Головнин О.К., Михеева Т.И., Автоматизированная система интеллектуальной поддержки принятия решений в распределенных средах // Вестник Уфимского государственного авиационного технического университета. – 2014. – Т. 18, № 5 (66). – С. 131-138.

5. Михеева Т.И., Головнин О.К. Паттерны поддержки принятия решений по дислокации технических средств организации дорожного движения / Перспективные информационные технологии (ПИТ 2013): труды Международной научно-технической конференции. – Самара: Изд-во СНЦ РАН, 2013. – С. 267-272.

# Автоматизированная система информационной поддержки планирования туристического маршрута

О.К. Головнин

Факультет информатики

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева

Самара, Россия

e-mail: golovnin@ssau.ru

Н.Н. Кутовой

Факультет информатики

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева

Самара, Россия

e-mail: kytov09@gmail.com

## Аннотация<sup>1</sup>

Разработана автоматизированная система, предназначенная для повышения эффективности процесса поддержки принятия решений при планировании туристического путешествия. Система развернута на основе геоинформационной справочной системы i-GIS и использует модуль формирования панорам WayMark для построения виртуальных туров. Описаны концепция построения системы, функциональная спецификация, структурная организация, алгоритмы функционирования. Разработанная система обеспечивает формирование и визуализацию туристического маршрута, построение которого осуществляется на основе различных критериев.

## 1. Введение

В настоящее время автоматизированные системы построения и визуализации маршрутов используются практически в любых сферах. Наиболее актуальным направлением является туризм. Автоматизация процесса туризма уже достигла невероятных высот. Человек из любой точки мира может спланировать туристическую поездку заранее, используя разнообразные интернет-ресурсы, программы, мобильные приложения. Постоянно вносятся различные нововведения, которые меняют туристическую индустрию к лучшему. Инновации в туризме приносят новые идеи, услуги и продукты на рынок, что позволяет сервису и уровню предложения переходить на более высокую ступень развития [1].

Основные улучшения происходят как раз в автоматизированных системах, которые играют главную роль в отрасли туризма. Наиболее значимые инновации позволили создать программы, позволяющие просматривать виртуальные туры на

главных туристических объектах [2]. Трехмерные туры стали очень востребованы в наши дни и продолжают активно развиваться. Актуальной видится возможность представить основные достопримечательности туристической поездки, виртуально побродить по залам музеев и выставок. Благодаря подобным системам можно решить, какой из предложенных туров хочется больше всего посетить вживую [3]. Стоит заметить, что абсолютно все автоматизированные системы для туристов выполняют главную задачу – удовлетворяют их потребности. Подобные системы должны быть максимально удобными и полезными для пользователей.

## 2. Постановка задачи

Можно представить стандартную ситуацию, в которой турист оказался в незнакомом городе и у него есть ограниченный запас времени. В течении этого времени человек хотел бы посетить интересные места, посмотреть достопримечательности города, которых огромное множество. В таком случае хорошо было бы предоставить туристу выбор определенных маршрутов, находящихся рядом, и показать, что расположено на каждом из них. На основании этих данных человек мог сам решить, какие места ему хотелось бы посетить.

Таким образом, возникла цель создать систему, позволяющую экономить время туристов при выборе необходимого маршрута с помощью просмотра важной информации, панорамных фотографий и видеофрагментов об основных объектах на карте.

Система разрабатывается для выполнения следующих задач [4]:

- реализации построения маршрута в виде виртуального тура и визуализации его на карте;
- поиска и выбора маршрутов по определенным критериям;
- предоставления возможности просмотра фотографий и видеофрагментов, содержащих важную информацию об объектах маршрута.

---

Труды пятой всероссийской конференции "Информационные технологии интеллектуальной поддержки принятия решений", 16 - 19 мая, Уфа, Россия, 2017

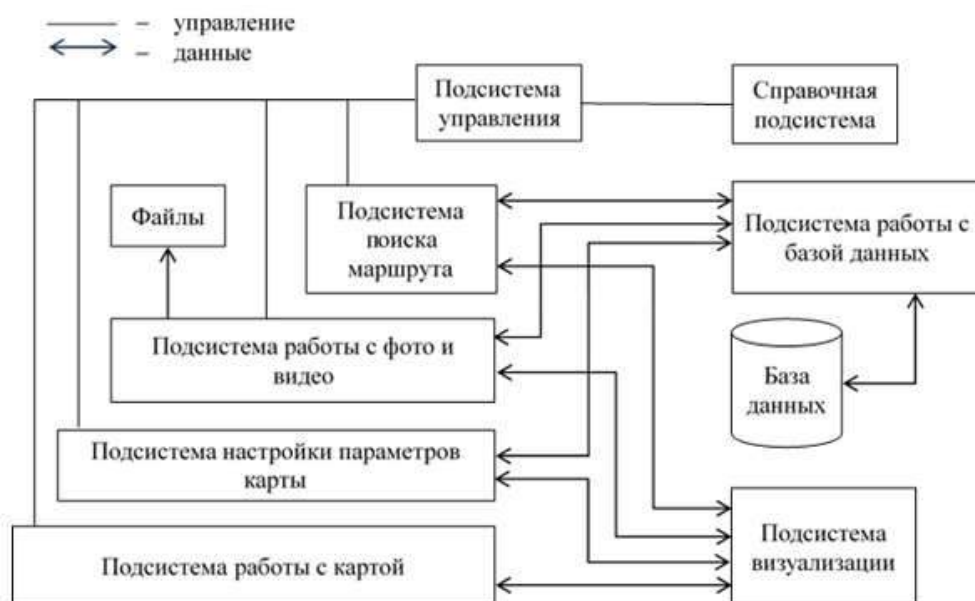


Рис. 1. Структурная схема системы

### 3. Архитектура системы

Разработанная автоматизированная система предоставляет возможность построения маршрута в виде виртуального тура и визуализации на карте для пользователя, поиска интересных маршрутов, просмотру фотографий и видеофрагментов, содержащих важную информацию об объектах. Система обеспечивает простое взаимодействие пользователя с необходимой информацией, удобство использования и помощь в выборе маршрутов на определенной местности.

Для достижения поставленной цели была составлена структурная схема, представленная на рисунке 1. Система была разделена по функциональному признаку на следующие подсистемы:

1. Подсистема управления, отвечающая за взаимодействие подсистем между собой;
2. Подсистема поиска маршрута, позволяющая искать загруженные маршруты в базе данных по различным критериям;
3. Подсистема работы с фото и видео, предоставляющая возможность загружать видеофрагменты, фотографии, сохранять их в базе данных в виде файлов;
4. Подсистема настройки параметров карты, позволяющая изменять параметры подгруженной виртуальной карты;
5. Подсистема работы с картой, позволяющая выстраивать маршрут на карте, подключать к координатам фото и видео из базы данных;
6. Подсистема работы с базой данных,

обеспечивающая хранение, модификацию данных, необходимых для функционирования системы;

#### 7. Подсистема визуализации.

В процессе создания автоматизированной системы построения и визуализации туристических геовидеомаршрутов была построена диаграмма использования, представленная на рисунке 2.

Данная диаграмма показывает, какие возможности имеют пользователи с различными правами при работе с разработанной системой. Пользователи могут иметь одну из следующих ролей: Менеджер, турист.

Предоставленный «Менеджеру» функционал включает редактирование файлов системы, загрузку видео и фото, формирование определенных маршрутов в системе, сохранение их в базе данных.

Для «Туриста» доступен фильтр поиска, с помощью которого можно найти маршруты, загруженные в системе. «Турист» вводит необходимые данные и получает соответствующий результат, который отображается на карте, где можно просмотреть видео и фото, прикрепленные к выбранному маршруту и на основании предоставленных данных сделать выбор.

В системе использовалась геоинформационная справочная система ITSGIS, содержащая электронную карту города, собственную автоматизированную информационную систему и базу данных, обеспечивающие работу с геообъектами. Электронная карта предоставляет пользователю наглядную иллюстрацию географических объектов, и дает возможность управления ими: добавление, изменение, удаление, перемещение, масштабирование [5]. Геоданные в

ITSGIS сопровождаются связанными атрибутивными данными, представляющими собой семантику

объектов реального мира.

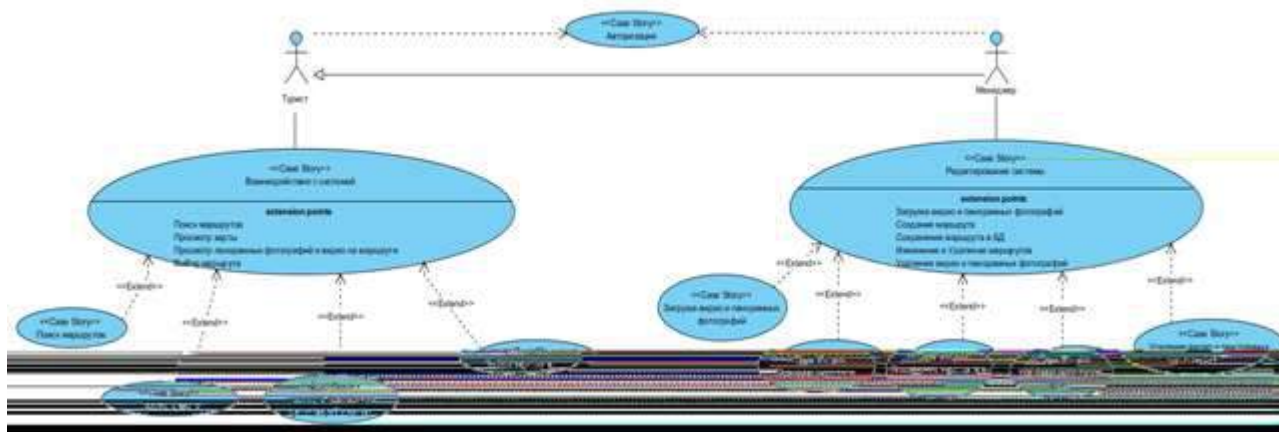


Рис. 2. Диаграмма вариантов использования системы

#### 4. Применение модуля

При разработке автоматизированной системы построения и визуализации туристических геовидеомаршрутов использовался модуль формирования видеопанорам WayMark (рисунок 3). Функции данного модуля достаточно обширные и они обеспечивает [6]:

- чтение данных в формате NMEA с GPS приемника, подключенного к USB порту компьютера;
- выбор картографического сервиса (Google maps, Bing maps, ArcGIS, OpenStreetMap, Яндекс карты);
- поиск и выбор маршрутов по определенным критериям;
- запись GPS данных в файл на жесткий диск

компьютера;

- использование в качестве источника геоданных интернета или кэша для работы в автономном режиме;
- кодирование и запись видео на жесткий диск.

В предоставленном модуле программное обеспечение реализует кодирование загруженного видео с использованием кодека X264 – свободной библиотеки для кодирования видеопотоков, реализующей стандарт сжатия H.264, обеспечивающей как высокое качество, так и высокий коэффициент сжатия видео. В целях снижения нагрузки на процессор для вывода видеоизображений на экран применяется кроссплатформенная открытая графическая библиотека OpenGL [6].

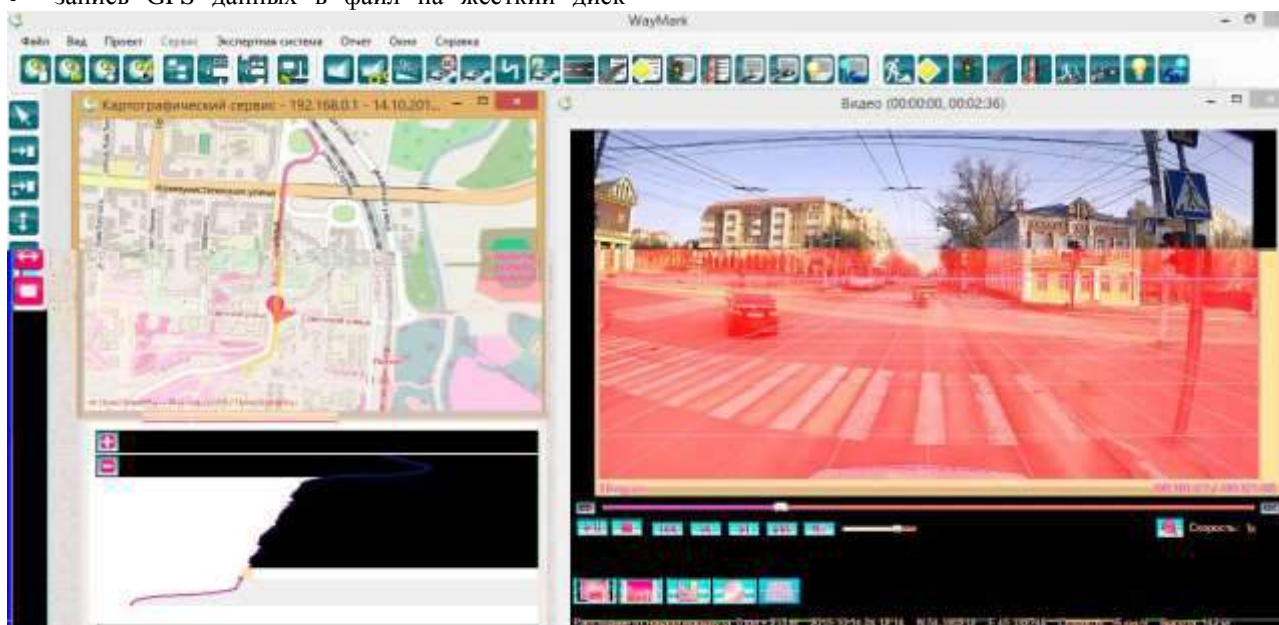


Рис. 3. Интерфейс WayMark при построении маршрута

Модуль позволяет выполнять автоматизированную обработку загруженных файлов при помощи специализированных программных систем.

## 5. Функции системы

Разработанная система обеспечивает автоматизацию построения, визуализации определенного маршрута, к которому привязаны видеозаписи и изображения, предоставляющие необходимую информацию об объектах маршрута.

При разработке автоматизированной системы предусмотрено:

- обеспечение удобного пользовательского интерфейса;
- обеспечение наивысшего быстродействия работы системы;



Рис. 4. Просмотр панорамной видеозаписи

## 6. Заключение

Разработана система построения и визуализации виртуальных туристических маршрутов, обеспечивающая:

- создание геовидеомаршрутов на основе данных, получаемых с мобильной лаборатории;
- визуализацию маршрутов на электронной карте;
- просмотр текстовой и медийной информации о туристических объектах на маршруте;
- просмотр панорамных фотографий и видеофрагментов на выбранных маршрутах.

## Список используемых источников

1. Яковлев Г.А. Экономика и статистика туризма: учебное пособие. 4-е изд., перераб. и доп. М.: Издательство РДЛ, 2007. – 376 с.
2. Жолобов Д.А., Карагуйшиева М.А. Модель персонализации маршрута в мобильной туристической системе // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2012. – №6. – С. 211-215.

- хранение и обработка необходимой информации;
- обеспечение надежности и сохранности данных при работе системы.

Пример панорамной видеозаписи, полученной при помощи разработанной системы, приведен на рисунке 4.

Таким образом, разработана автоматизированная система информационной поддержки планирования туристического маршрута, которая позволит сэкономить время пользователя при выборе маршрута благодаря предоставлению текстовой информации, видеофрагментов и изображений о туристических объектах, расположенных на маршруте.

3. Липьянина К.В. Имитационная модель транспортного маршрута к туристическим объектам в регионе // Системные технологии. – 2015. – №3 (16). – С.8-21.
4. Головнин О.К., Кутовой Н.Н. Автоматизированная система построения и визуализации виртуальных туристических геовидеомаршрутов // Перспективные информационные технологии: труды Междунар. научно-технич. конф. – Самара: СНЦ РАН, 2017. – С. 625-627.
5. Mikheeva T.I., Sidorov A.V., Golovnin O.K. Geoinformation Technologies for Development of Reference System of Urban Infrastructure // Proceedings of the 15th international workshop on computer science and information technologies CSIT'2013, Vol.1, 2013. – P. 96-99.
6. Михеева Т.И., Головнин О.К. Система медийного автоматизированного мониторинга автомобильных дорог // Актуальные проблемы автотранспортного комплекса: межвуз. сб. науч. статей. – Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2013. – С. 193-198.

# Концепция разработки системы поддержки принятия решений в сфере управления инновационным развитием региона на базе адаптивно-имитационной модели

М.М. Низамутдинов  
Сектор экономико-математического  
моделирования  
Институт социально-экономических  
исследований Уфимского научного центра  
Российской академии наук  
Уфа, Россия  
e-mail: marsel\_n@mail.ru

В.В. Орешников  
Сектор экономико-математического  
моделирования  
Институт социально-экономических  
исследований Уфимского научного центра  
Российской академии наук  
Уфа, Россия  
e-mail: VOresh@mail.ru

## Аннотация<sup>1</sup>

В статье рассматриваются вопросы формирования системы поддержки принятия решений в области управления инновационным развитием региональных социально-экономических систем. Предложена концепция разработки подобной системы на основе использования адаптивно-имитационной модели региона. Определены и описаны функциональные блоки, позволяющие организовать работу системы.

## 1. Введение

Эффективное управление стратегическим инновационным развитием сложных социально-экономических систем в условиях нестабильности как внешней, так и внутренней среды требует анализа множества параметров и учета различных последствий реализации того или иного сценария развития. Отдельной задачей регионального менеджмента является использование упреждающего управления. Традиционная схема управления представляет собой взаимодействие субъекта управления, объекта управления и влияние на них окружающей среды. При этом управленческое воздействие субъекта на объект осуществляется в ответ на произошедшие изменения в показателях функционирования объекта, на несоответствие реальных значений некоторых параметров плановым или нормативным значениям [1]. В тоже время, в условиях функционирования сложных социально-экономических систем необходимо не устранять

последствия отрицательных отклонений, а предотвращать их появление. Для этого требуется четкое понимание процессов происходящих в системе и возможность адекватного представления о состоянии системы в будущем, при условии реализации некоторого набора воздействий. Исходя из этого, актуализируются задачи прогнозирования, планирования регионального развития, а также выработки научно обоснованных управленческих решений. Возникающие при этом трудности, связанные с масштабом решаемых задач, не позволяют принимать взвешенные решения без применения современных информационных технологий и информационных систем. Одним из наиболее перспективных направлений в данной области на сегодняшний день является создание и внедрение систем поддержки принятия решений (СППР) [5].

Как отмечается в литературных источниках [6] СППР представляет собой компьютерную автоматизированную систему, цель работы которой заключается в оказании помощи людям, принимающим решение (ЛПР) в сложных условиях для полного и объективного анализа предметной деятельности. Таким образом, СППР возникли в результате слияния управленческих информационных систем и систем управления базами данных [11]. Данные системы нашли своё применение в большей степени в управлении организациями и предприятиями (в т.ч. в рамках проектного управления, при создании ситуационных центров и т.д.). Однако при решении задач комплексного развития и стратегического управления территориальными социально-экономическими системами (муниципального и регионального уровней) применения СППР не получило должного распространения. Во многом, на наш взгляд, это связано с особенностями объекта управления и

---

Труды пятой всероссийской конференции  
"Информационные технологии интеллектуальной  
поддержки принятия решений", 16 - 19 мая, Уфа,  
Россия, 2017

Всероссийская конференция "Информационные технологии интеллектуальной поддержки принятия решений", 16-19 мая, Уфа, Россия, 2017



спецификой решаемых задач. В тоже время сложившиеся на сегодняшний день тенденции в области государственного и муниципального управления таковы, что в данной сфере применяется всё больше различных информационных систем. Логичным продолжением данных тенденций является создание и внедрение соответствующих СППР.

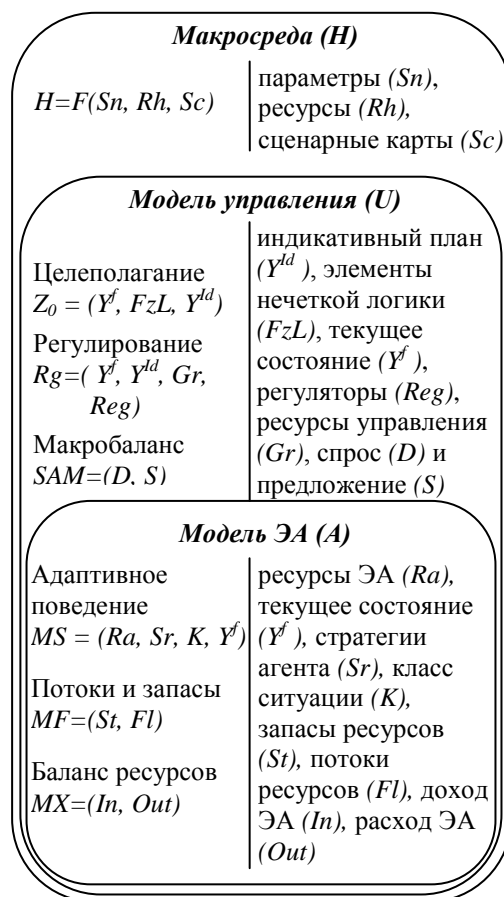
На наш взгляд организация поддержки принятия решений в области управления региональным инновационным развитием должна решать следующие задачи, соответствующие укрупненным этапам:

- Сбор и накопление информации;
- Анализ ретроспективной, текущей и прогнозной ситуации;
- Формирование прогноза развития ситуации в различных условиях;
- Формирование комплекса рекомендаций по улучшению ситуации исходя из поставленной задачи.

Учитывая специфику объекта управления, особенности его функционирования и развития, а также принимая во внимание цели и задачи, ставящиеся перед предлагаемой СППР, в качестве ее ядра в данном случае целесообразным представляется выбрать имитационную модель, базирующуюся на возможности адаптации поведения различных экономических агентов к изменению как внешней среды, так и поведению других агентов. Кроме того, следует обратить внимание на то, что существенное влияние оказывают и характеристики самого рассматриваемого агента, правила принятия им решений, которые могут основываться не только на «собственном опыте», но и включать правила выявленные при анализе поведения иных агентов. Решению подобных задач способствует использование возможностей адаптивно-имитационной модели региона, логическая структура которой включает три ключевых уровня (уровень экономических агентов (ЭА), уровень регионального управления и уровень макросреды) и представлена на рисунке 1 [7].

Стратегия поведения экономического агента в рамках данной модели представляет собой набор условий и соответствующих им правил поведения. Тем самым учитывается ситуационный характер принятия решений. Необходимо отметить, что рассматриваются как «внутренние условия» (в т. ч. состояние экономического агента, объем имеющихся запасов, потребности экономического агента), так и «внешние условия» (в т. ч. возможность получения ресурсов от других экономических агентов и внешней среды, изменение макроэкономических показателей). Изменение условий способно привести не только к количественным, но и к качественным

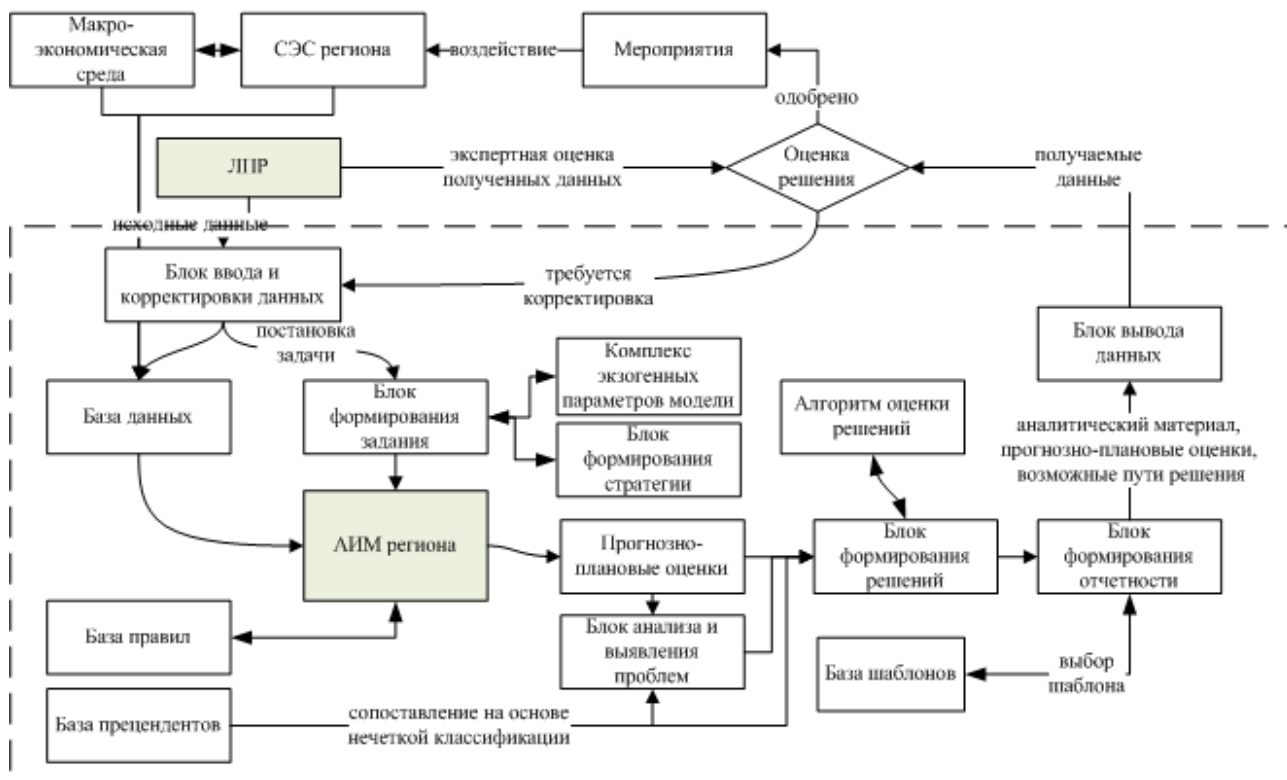
изменениям в функционировании экономического агента.



**Рис. 1. Иерархически организованная компонентная структура адаптивно-имитационной модели**

Адаптивно-имитационная модель позволяет получать сбалансированные прогнозно-плановые оценки показателей регионального развития. Однако следует отметить, что сама по себе модель не позволяет решить все задачи, стоящие перед СППР и требует дополнения комплексом функциональных блоков. Состав и взаимосвязь между блоками определяется исходя из поставленных задач и общей логики формирования управленческого решения (рис. 2).

Первым этапом является формирование комплекса исходных данных. Блок ввода данных обеспечивает наполнение базы данных различной информацией о состоянии объекта управления и внешней среды. В связи с тем, что данные должны обновляться в системе периодически необходимым условием ее функционирования является организация мониторинга. Это позволяет не только иметь представление о текущем и ретроспективном состоянии региона, но и отслеживать последствия принимаемых управленческих решений, а соответственно расширять и совершенствовать имеющиеся базы правил и базы прецедентов.



**Рис. 2. Концептуальная схема СПДР в сфере управления инновационным развитием региона на базе адаптивно-имитационной модели**

Следует принимать во внимание масштабность данной работы. База данных хранит в себе информацию о региональной социально-экономической системе, а также о значимых характеристиках внешней среды. Необходимо учесть отражение в ней разнородной информации, относящейся к различным объектам с учетом их изменения во времени. Обработка огромных массивов информации требует применения современных информационных технологий обработки данных и интеллектуального анализа. В связи с этим хранение данных предлагается организовать на базе концепции OLAP (в том числе за счет свойств многомерной базы) и Data Mining. Как отмечают эксперты в данной области, при помощи Data Mining можно выявить скрытые закономерности в больших объемах информации [10].

Кроме того, блок ввода служит для постановки задачи пользователем системы (лицом принимающим решения). На рисунке 2 данный этап представлен блоком формирования задания. Необходимость подобного блока обусловлена тем, что с одной стороны разнообразием практических задач и направлений применения СПДР (начиная от анализа ретроспективной информации и заканчивая выработкой альтернативных решений при планировании инновационного развития [8]), а с другой стороны – необходимостью ввода не только отчетных данных, но и экзогенных параметров

модели, а также выбором стратегии развития. Комплекс экзогенных параметров модели включает в себя сценарные параметры макроэкономической среды, управляемые параметры, а также иные показатели, которые используются в расчетах, но не моделируются в рамках самого инструментария. Блок формирования стратегии должен позволять формировать общую стратегию развития региональной системы и определять ряд параметров модели до проведения модельного эксперимента с целью выбора приоритетного направления развития. В частности, могут быть выделены социально ориентированная, инвестиционно ориентированная, инновационная [2], комплексная и иные стратегии. Таким образом, блок ввода данных является интерфейсом ввода статистической информации, управляющих параметров, сценарных параметров.

Совокупность указанных данных является входной информацией для представленной ранее адаптивно-имитационной модели региональной системы. В рамках данной статьи не будем подробно останавливаться на внутреннем устройстве самой модели и алгоритмах расчета итоговых показателей. Однако следует отметить, что имитационное моделирование подразумевает возможность не только выбора правил поведения из имеющейся базы правил, но и корректировку самой этой базы. В зависимости от поставленной задачи АИМ может решать задачи как прогнозирования (построение прогноза развития социально-экономической

системы без задействования управляющих алгоритмов), так и планирования (с учетом управленческих установок).

В тоже время постановка задачи определения параметров инновационного развития региона [9] накладывает определенные особенности на процедуру проведения модельных экспериментов. В частности, необходимым является определение показателя инновационного развития региона. Исследователями отмечается, что при решении данной задачи могут быть выдвинуты следующие требования [3]:

- агрегирование многих критериев, имеющих различную размерность и направленность изменений;
- учет весов критериев, т.е. их важности в интегральной оценке
- формализация нечетких понятий для обеспечения эффективной обработки качественной информации наравне с четкими количественными данными
- привязка интегрального показателя к целевым ориентирам стратегического развития региона и т.д.

Полученные прогнозно-плановые оценки поступают в блок анализа и выявления проблем. На данном этапе осуществляется структурный анализ, анализ динамики и иные процедуры, позволяющие выявить как непосредственно проблемы, так и предпосылки для их возникновения. Для этого применяется база прецедентов, содержащая информацию о возможности применения накопленного опыта решения проблем в процессе выработки решения новых задач.

Основным понятием является прецедент – это структурированное представление накопленного опыта в виде данных и знаний, обеспечивающее его последующую автоматизированную обработку при помощи специализированных программных систем. Общая структура прецедента включает два основных компонента – идентифицирующая часть (описывает имеющийся опыт), обучающая часть (описывает решения и их характеристики).

На основе прогнозно-плановых оценок, выявленных в ходе анализа проблем развития и имеющихся прецедентов, система поддержки принятия решений формирует комплекс альтернативных решений, которые должны быть оценены по определенным критериям.

Одной из наиболее важных составляющих СППР является блок формирования решений, в рамках которого предполагается осуществлять классификацию ситуаций и сопоставление с имеющейся базой прецедентов для выбора возможных путей решения. При этом представляется

целесообразным использовать методы теории нечетких множеств. Такой подход дает возможность отслеживать плавные изменения свойств объекта управления, а также задействовать качественные характеристики. Как отмечают исследователи нечеткие переменные наилучшим образом подходят для планирования факторов во времени, когда их будущая оценка затруднена [4].

При этом важнейшим этапом является построение функций принадлежности множеств, которые описывают семантику используемых базовых значений нечетких и лингвистических переменных. Существует несколько методов построения функций принадлежности. Однако в случае разработки инструментария поддержки принятия решений в области управления региональным развитием необходимо учитывать такие особенности как наличие разнородных источников информации (предприятия, население, общественные организации, органы государственного и муниципального управления и т.д.). Кроме того, выбор решений должен учитывать специфику инновационного развития.

Завершающим этапом является формирование отчета о результатах моделирования и предлагаемых способах решения выявленных проблем. Целесообразным при этом представляется использование готовых шаблонов унифицированных отчетов. Подобные отчеты позволяют лицу принимающему решение быстрее ориентироваться в получаемых данных.

Однако следует понимать, что СППР является лишь инструментом, позволяющим подготовить решение, но не подменяет собой ЛПР, на которое возлагается ответственность. В связи с этим проводится экспертная оценка полученных данных. В случае одобрения предложенного решения, на его основе разрабатывается мероприятие (комплекс мероприятий), реализация которого приводит к изменению состояния региональной системы. В случае неодобрения, осуществляется корректировка постановки задачи и повторный запуск СППР.

Следует отметить, что для лица принимающего решения в рамках его практической деятельности использование СППР не должно быть связано с непосредственной настройкой отдельных параметров экономико-математической модели, проведением математических расчетов или изучением особенностей математического аппарата нечеткой логики. Взаимодействие с системой осуществляется через блоки ввода и вывода информации посредством привычного интерфейса, а вся внутренняя работа системы скрыта от пользователя.

Кроме указанных функциональных блоков и адаптивно-имитационной модели для использования СППР потребуется разработка методического

обеспечения использования инструментария, включающего, в том числе:

- Методику сбора и обработки данных о состоянии региональной социально-экономической системы;
- Методику проведения эксперимента с имитационной моделью социально-экономического развития региона;
- Методику формирования управленческого решения на базе использования СППР.

Таким образом, предлагаемая СППР может стать универсальным средством, обеспечивающим ЛПР полной и достоверной информацией о ретроспективном, текущем и будущем состоянии региональной системы, позволяющим проводить анализ и выявлять возможные пути разрешения сложившихся проблем.

## 2. Заключение

В результате проведенного исследования были получены следующие результаты:

- Разработана концептуальная схема СППР в области управления инновационным развитием региона;
- Определено место адаптивно-имитационной модели в разработанной схеме и показаны возможности ее использования при формировании прогнозно-плановых оценок развития региона, а также оценке эффективности применения альтернативных управляющих воздействий;
- Описана процедура формирования решения и раскрыты назначения функциональных блоков, которые обеспечивают возможность работы с модельным комплексом для конечного пользователя, обеспечивая удобное использование инструментария для лица, не являющегося специалистом в области экономико-математического моделирования.

## Благодарности

Исследование выполнено в рамках гранта РФФИ № 16-29-12883.

## Список используемых источников

1. Атаева А.Г., Уляева А.Г. Исследование факторов формирования и развития городских агломераций как направления усиления межтерриториального взаимодействия в регионе // Экономика и предпринимательство. 2015. № 12-1. С. 369.
2. Гажва В.О. Инновационное развитие Калужского региона / В.О. Гажва, Е.В. Губанова // Материалы международного научно-практического «круглого стола». Направления социально-экономического развития региональной экономики. 2016. С. 122-125.

3. Захарова А.А. Интегральная оценка инновационного развития региона на основе нечетких множеств // Научное обозрение. Технические науки. 2014. № 1. С. 161-168.
4. Захарова А.А. Некоторые аспекты разработки информационной системы поддержки принятия стратегических решений об инновационном развитии региона // Современные наукоемкие технологии. 2007. № 9. С.27-29.
5. Ильясов Б.Г., Дегтярева И.В., Макарова Е.А., Валитов Р.Р. Система интеллектуальной поддержки принятия решений при управлении макроэкономическим воспроизводственным процессом на основе имитационного моделирования // Вестник Уфимского государственного авиационного технического университета. 2012. № 3. С. 217-229.
6. Мелихова О.А., Руденко Э.Г., Логинов О.А. Обзор моделей систем принятия решений Южный федеральный университет // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 1 С. 78-83.
7. Низамутдинов М.М. Инструментарий прогнозирования изменения параметров регионального развития на основе адаптивно-имитационного подхода / М.М. Низамутдинов, В.В. Орешников // Proc. of the 3rd International Conference Information Technologies for Intelligent Decision Making Support ITIDS'2015. Russian Federation, Ufa, 2015. P. 211-215.
8. Печаткин В.В. Инвестиционно-инновационное развитие регионов России: ключевые проблемы и направления их решения // Экономическое возрождение России. 2013. № 3 (37). С. 75-78.
9. Строев П.В. Анализ факторов, оказывающих влияние на инновационную активность в экономике России // Вестник Финансового университета. 2012. № 2 (68). С. 143-148.
10. Тюшняков В.Н., Жертовская Е.В., Якименко М.В. Информационно-аналитическое обеспечение ситуационного центра как основа разработки стратегий инновационного развития региона // Фундаментальные исследования. 2015. № 11-6. С. 1253-1257.
11. Фаттахов Р.В., Иванова Е.И., Сметанина О.Н. О роли информационных ресурсов при поддержке принятия управленческих решений на региональном уровне // Вестник Уфимского государственного авиационного технического университета. 2007. Т. 9. № 2. С. 82-87.

# Программное обеспечение актуарных расчетов в добровольном пенсионном страховании

В.А. Германова

Факультет информатики и робототехники  
Уфимский государственный авиационный  
технический университет  
Уфа, Россия  
hakimovalera@mail.ru

Е.И. Прокудина

Факультет информатики и робототехники  
Уфимский государственный авиационный  
технический университет  
Уфа, Россия  
preliv@gmail.com

## Аннотация<sup>1</sup>

В работе рассматриваются договоры добровольного пенсионного страхования, предлагаемые негосударственными пенсионными фондами (НПФ). Разработано программное обеспечение для оценки величин премий и пенсий с учетом риска на базе подхода Asset-Liability Management.

## 1. Введение

В существующих экономических условиях негосударственное пенсионное обеспечение является одним из действенных механизмов повышения уровня жизни пенсионеров.

Основной задачей при задании параметров предлагаемых НПФ пенсионных схем является корректное определение (с учетом принятых допущений и ограничений) размеров пенсионных взносов (премий) и выплат, позволяющих в последующем выполнить взятые фондом обязательства перед вкладчиками.

В работе основное внимание уделено схемам с установленными выплатами, для которых необходимо найти размер страховой премии. В таких схемах уровень пенсий является гарантированным на весь период оставшейся жизни пенсионера, в отличие от схем с установленными взносами, в которых выплата пенсий производится лишь в течение определенного срока или до исчерпания средств пенсионного счета.

## 2. Постановка задачи

Необходимо разработать программное обеспечение, позволяющее при заданном уровне риска НПФ оценивать величину премии для отдельного лица,

---

Труды пятой международной конференции "Информационные технологии интеллектуальной поддержки принятия решений", 16 - 19 мая, Уфа, Россия, 2017

желающего заключить договор негосударственного пенсионного обеспечения.

Для решения данной задачи была выбрана математическая модель функционирования НПФ, описывающая: процессы внесения премий, выплат (при наступлении пенсии или в результате наследования), и ведение активной инвестиционной деятельности (эффективное вложение всех собранных премий за год в финансовые активы и расчет полученного дохода), основанная на подходе ALM [1].

## 3. Математическая модель функционирования НПФ с учетом инвестирования

Используемая математическая модель функционирования НПФ [1] является дискретной, в ней как время  $t$ , так и возраст  $x$ , в котором могут находиться участники схемы, принимают целые неотрицательные значения (в годах).

Рассматривается стационарная популяция из  $N$  человек. Каждый участник вступает в пенсионную схему в момент  $t = 0$  в возрасте  $s$ , согласно которой:

- взнос каждого участника  $C$  вносится в начале каждого года до наступления пенсионного возраста, либо до выбытия из схемы (будем считать, что единственная причина выбытия – смерть);
- полученные деньги НПФ вкладывает в акции и облигации, по которым получает определенный доход ( $I_t$ );
- в возрасте  $R$  лет начинаются ежегодные выплаты пожизненных пенсий в размере  $B$ ;
- в случае смерти участника до или после назначения негосударственной пенсии фонд выплачивает правопреемникам участника определенную выкупную сумму  $V_t$ .

Необходимо найти величину пенсионного взноса  $C$  при заданном значении пенсии  $B$  и заданной вероятности разорения НПФ:

$$P(U_t < 0), t \in [0, \omega - s],$$

где  $U_t$  – величина капитала компании в момент времени  $t$ ,

$\omega$  – предельный возраст застрахованного.

Величина капитала компании  $U_t$  в каждый момент времени  $t \in [0, \omega - s]$ , определяется следующим соотношением:

$$U_t = U_{t-1} + CS_t + I_{t-1}(1 - \gamma) - B_t - V_t - D_t,$$

где  $U_{t-1}$  – величина капитала в предыдущий момент;  $CS_t$  – суммарные премии, вносимые в момент времени  $t$ ;  $I_{t-1}$  – доход от инвестиций единицы вложений в момент времени  $t-1$ ;  $\gamma$  – доля капитала, составляющая страховой резерв в момент времени  $t-1$ ;  $B_t$  – суммарные пенсионные выплаты в момент времени  $t$ ;  $V_t$  – суммарные выкупные суммы, выплачиваемые в момент времени  $t$ ;  $D_t$  – суммарные расходы фонда в момент времени  $t$ .

Для  $t = 0$  капитал компании будет равен сумме взносов всех участников, то есть  $U_0 = N \cdot C$ .

Далее рассматривается вычисление каждой составляющей капитала фонда.

Суммарный взнос, вносимый в момент времени  $t$ , определяется в соответствии с формулой:

$$CS_t = \begin{cases} N_t^l \cdot C, & 0 < t < t_r \\ 0, & t \geq t_r \end{cases},$$

где  $N_t^l$  – число живых участников в момент времени  $t$ ;  $t_r$  – момент выхода на пенсию.

Доход от инвестиций единицы вложений в момент времени  $t-1$ :

$$I_{t-1} = \alpha_{t-1} r_{1,t-1} + (1 - \alpha_{t-1}) r_{0,t-1},$$

где  $\alpha_{t-1}$  – доля вложения в рискованные активы;  $r_{1,t-1}$  и  $r_{0,t-1}$  – доходности от вложения в рискованные и безрисковые активы соответственно.

Формирование инвестиционных стратегий участников пенсионных схем осуществляется на основе двух подходов: подхода «100 минус возраст» и Малкиеля (таб. 1) [2].

Подход «100 минус возраст» предполагает, что при инвестировании только в акции и государственные облигации доля инвестирования в акции определяется как 100 минус свой возраст (возраст инвестора) со знаком %. Таким образом, например, 20-летний должен вложить около 80% своих сбережений в акции.

**Таблица 1. Структура инвестиционного портфеля по подходу Малкиеля**

Направления инвестирования	Доли активов (%) в портфеле в зависимости от возраста участника			
	20-летние	30–40-летние	50-летние	60-летние и старше
Акции	70	60	50	30
Облигации	25	35	45	60
Наличность	5	5	5	10

Доля капитала, составляющая страховой резерв в момент времени  $t-1$ , определяется в соответствии с нормативным диапазоном Инспекции НПФ в зависимости от доли вложения в рискованные активы [1]:

$$\gamma = \begin{cases} 0.05, & 0 \leq \alpha_{t-1} \leq 0.2 \\ 0.1, & 0.2 < \alpha_{t-1} \leq 0.4 \\ 0.15, & 0.4 < \alpha_{t-1} \leq 0.6 \\ 0.2, & 0.6 < \alpha_{t-1} \leq 0.8 \\ 0.25, & 0.8 < \alpha_{t-1} \leq 1 \end{cases}$$

Суммарные пенсионные выплаты в момент времени  $t$ :

$$B_t = \begin{cases} 0, & 0 < t < t_r \\ N_t^l \cdot B \cdot (1 + \pi_t), & t \geq t_r \end{cases}$$

где  $(1 + \pi_t)$  – коэффициент индексации пенсии в год  $t$ .

Предполагается, что доходности рискованных и безрисковых активов, а также норма инфляции – случайные величины.

Суммарные выкупные суммы, выплачиваемые в момент времени  $t$  находятся по формуле:

$$V_t = \begin{cases} N_t^d \cdot V_{1t}, & 0 < t < t_r \\ N_t^d \cdot V_{2t}, & t_r \leq t < t_\omega \text{ и } V_{2t} > 0 \end{cases},$$

где  $N_t^d$  – число участников, умерших в момент времени  $t$ ;  $V_{1t}$  – выкупная сумма наследникам в случае смерти участника до назначения негосударственной пенсии

$$V_{1t} = C \sum_{i=0}^{t-1} (1 - a + (1 - b)I_i); \quad V_{2t} - \text{выкупная}$$

сумма наследникам в случае смерти участника после назначения негосударственной пенсии

$$V_{2t} = B \left( (1 + \sum_{i=t+1}^{t+n-1} (1 + \pi_i)^{i-t}) - (t - t_r) \right); \quad n -$$

количество выплат наследникам.

Суммарные расходы фонда в момент времени  $t$ :

$$D_t = \begin{cases} a \cdot C_t + b \cdot I_{t-1} \cdot U_{t-1}, & I_{t-1} > 0 \\ a \cdot C_t, & I_{t-1} \leq 0. \end{cases}$$

где  $a$  – доля отчислений на покрытие расходов от взносов (5%);  $b$  – доля отчислений на покрытие расходов от инвестиционного дохода (15%) [3].

#### 4. Нахождение зависимости вероятности разорения фонда от величины пенсионного взноса на основе метода Монте-Карло

Задаются входные параметры модели (размер пенсионной выплаты  $B$ , исходные массивы данных).

На основе соответствующих временных рядов финансовых инструментов строятся их эмпирические законы распределения.

На основе таблицы продолжительности жизни находится закон распределения остаточного времени жизни застрахованного.

При заданном значении пенсионного взноса  $C$ , который меняется от 0 до  $B$  с шагом  $\Delta C$ :

- проводятся  $K$  испытаний, каждое из которых соответствует функционированию фонда при заданных входных параметрах в течение временного периода  $[0, \omega-s]$ ;

при этом в каждый момент времени  $t \in [0, \omega-s-1]$  генерируются значения параметров: инфляции  $(1 + \pi_t)$ , инвестиционной доходности  $I_t$  и размеров возрастных когорт участников  $N_t^l$  и  $N_t^d$ ;

производится расчет капитала фонда;

фиксируется разорение или неразорение фонда при каждом испытании;

- вычисляется оценка вероятности разорения фонда.

Для оценки числа итераций  $K$  используется правило остановки имитационных экспериментов:

$$K = \frac{x_{1-\frac{\alpha}{2}}^2 \cdot \sigma^2}{\varepsilon^2},$$

где  $\alpha$  - уровень достоверности;  $x_{1-\frac{\alpha}{2}}$  – квантиль стандартного нормального распределения уровня  $1-\frac{\alpha}{2}$ ;  $\varepsilon$  – точность оценки вычислений;  $\sigma^2$  – дисперсия случайной величины за период.

#### 5. Программное обеспечение и вычислительный эксперимент

Разработанное программное обеспечение позволяет при заданных входных параметрах модели определять вероятность разорения для каждого значения пенсионного взноса в соответствии с различными стратегиями инвестирования.

Рассмотрим результаты экспериментов, проведенных с помощью разработанного программного обеспечения.

Входные данные:

таблица смертности населения России для 2015 года;

ежемесячные значения доходностей ПИФов акций и облигаций;

ежемесячные значения ИПЦ (с января 2009 года по январь 2015 года);

возраст вступления в пенсионную схему  $s = 20$  лет, пенсионный возраст  $R = 60$  лет;

$N = 100$  участников;

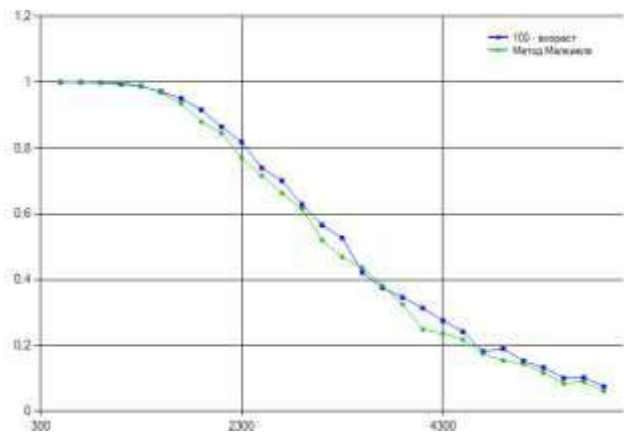
ежегодные пенсии в размере  $B=50000$  руб., ежегодные взносы  $C$  варьировались от 500 до 6000 руб. с шагом 200 руб.;

для оценки числа итераций уровень доверия результатам  $\alpha=99,9\%$ , а точность оценки вычислений  $\varepsilon = 0,05$ .

На рис.1 представлена форма ввода входных параметров для расчета вероятности разорения фонда.

Рис. 1. Форма ввода входных данных

На рис. 2. представлена зависимость вероятности разорения фонда от величины премии при различных инвестиционных стратегиях.



**Рис. 2. Зависимость вероятности разорения от премии**

Для подхода «100-возраст» рекомендовано значение премии 5000 руб. в год, для метода Малкиеля – 4700 руб. в год при допустимой вероятности разорения фонда 5%.

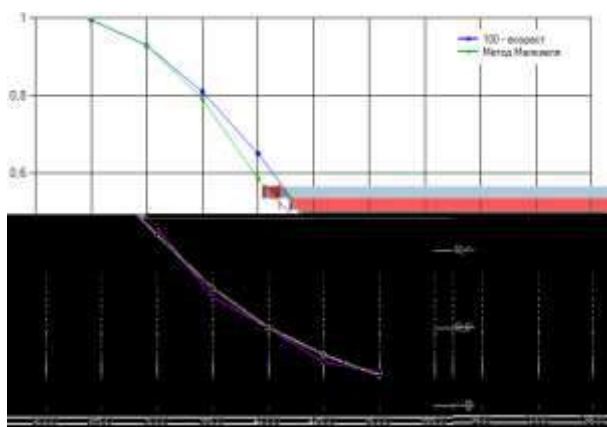
**Анализ чувствительности величины премии к изменению входных параметров модели**

При прочих одинаковых входных параметрах изменялся возраст вхождения в пенсионную схему. Зависимость премии, при 5% вероятности разорения, от возраста в каждом эксперименте отражена в таблице 2. Очевидно, что возраст вступления сильно влияет на размер премии.

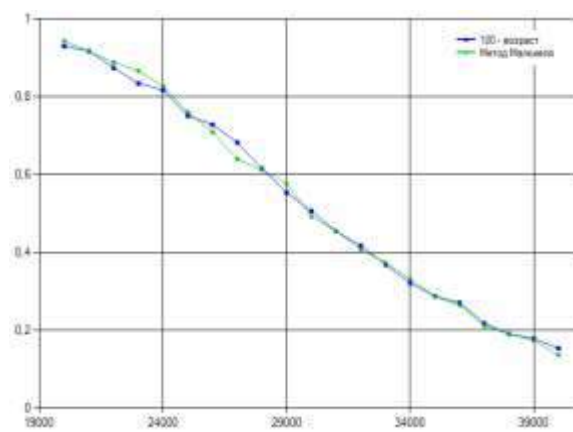
**Таблица 2. Зависимость величины премии С от возраста s вхождения в пенсионную схему**

<i>s</i>	20	25	30	35	40	>40
<i>C</i> , тыс. руб.	5	8	14	19	23	40

На рис. 3., 4. представлена зависимость вероятности разорения фонда от величины премии при возрастах вхождения в пенсионную схему 20 и 45 лет.



**Рис. 3. Зависимость вероятности разорения от премии при возрасте вхождения s = 20**



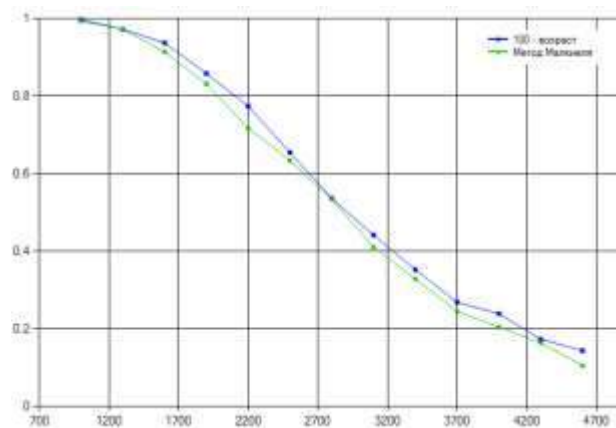
**Рис. 4. Зависимость вероятности разорения от премии при возрасте вхождения s = 45**

При прочих одинаковых входных параметрах изменялось количество участников пенсионной схемы. Зависимость премии, при 5% вероятности разорения, от количества участников в каждом эксперименте отражена в таблице 3. Очевидно, что количество участников имеет небольшое влияние на размер премии.

**Таблица 3. Зависимость размера премии С от количества участников N**

<i>N</i>	50	100	200	1000	10000
<i>C</i> , тыс. руб.	5,3	5	5	4,7	4,7

На рис. 5. представлена зависимость вероятности разорения фонда от величины премии при количестве участников *N* = 10000.



**Рис. 5. Зависимость вероятности разорения от премии при N = 10000**

**6. Заключение**

- На основе стохастической модели функционирования НПФ было разработано программное обеспечение, позволяющее определять премию для выбранного договора



- добровольного пенсионного страхования, при заданной вероятности разорения фонда.
- Проведены вычислительные эксперименты, результаты которых позволяют определить параметры пенсионной схемы, наиболее влияющие на размер премии.
- Практическое применение разработанного программного продукта может повысить уровень финансового менеджмента, что положительно отразится на финансовой устойчивости страховой компании.

### **Список используемых источников**

1. Prokudina E.I., Salikhova L.R. Estimation of Pension Contributions Based on Dynamic Financial

Analysis. // Proc. of the 12th International Workshop on Computer Science and Information Technologies CSIT'2010'. Russia, Moscow - St.Petersburg, 2010. Volume IV - P. 189-194.

2. Бронштейн Е.М., Прудников В.Б О подходе к формированию динамических инвестиционных стратегий групп участников негосударственных пенсионных фондов (НПФ) // Управление риском. 2007. № 4. с. 51-61.
3. Налоговый кодекс Российской Федерации (часть вторая) от 05.08.2000 N 117-ФЗ, статья 296 «Особенности определения расходов негосударственных пенсионных фондов».

# Построение SCADA-системы как части архитектуры предприятия

Н.В. Зубаирова  
Факультет информатики и робототехники  
Уфимский государственный авиационный  
технический университет  
Уфа, Россия  
e-mail: [sunnynatalia@mail.ru](mailto:sunnynatalia@mail.ru)

В.В. Мартынов  
Институт экономики и управления  
Уфимский государственный авиационный  
технический университет  
Уфа, Россия  
e-mail: [vitaliy.v.martynov@gmail.com](mailto:vitaliy.v.martynov@gmail.com)

## Аннотация<sup>1</sup>

Архитектура предприятия представляет собой процесс сбора и распространения информации о том, как организация использует и должна использовать информационные технологии в своей деятельности.

Построение SCADA-системы как части архитектуры предприятия позволит отобразить место внедряемой системы в процессах, протекающих в организации, выявить способ интеграции данной системы с уже функционирующими в организации программными продуктами и определить основной состав SCADA-пакета с точки зрения предъявляемых требований к его функциональным возможностям.

## 1. Введение

В ходе своего развития информационные технологии (ИТ) заняли прочное место в управлении предприятием. На сегодняшний день невозможно достичь эффективности бизнеса без применения ИТ, обеспечивающих автоматизацию бизнес-процессов предприятия. Одним из эффективных инструментов осуществления организационных изменений в компаниях с использованием ИТ стала архитектура предприятия.

Архитектура предприятия представляет собой процесс сбора и распространения информации о том, как организация использует и должна использовать ИТ в своей деятельности. Архитектура предприятия представляет собой информационную основу корпоративной структуры компании. Управление архитектурой предприятия (Enterprise Architecture) создает основу для синхронизации объектов внутри предприятия и в то же время обеспечивает их

непрерывное изменение для целей оптимизации бизнеса.

Применение модели Захмана в процессе построения архитектуры предприятия позволяет реализовать системный подход в области решения задач предприятия с точки зрения информационных технологий. Построение SCADA-системы как части архитектуры предприятия позволит отобразить место внедряемой системы в процессах, протекающих в организации, выявить способ интеграции данной системы с уже функционирующими в организации программными продуктами и определить основной состав SCADA-пакета с точки зрения предъявляемых требований к его функциональным возможностям.

## 2. Построение архитектуры предприятия с использованием модели Захмана

В результате сравнительного анализа моделей, реализующих системный подход в процессе построения архитектуры предприятия, методом анализа иерархий, было принято решение о том, что модель Захмана является наиболее предпочтительной моделью построения архитектуры предприятия для АО «Благовещенский арматурный завод». Данный раздел ориентирован на последовательное описание каждой отдельной части системы в координации со всеми остальными ее частями.

Построение модели архитектуры предприятия выполняется с целью логического разбиения архитектуры предприятия на отдельные разделы, для упрощения их формирования и восприятия, и обеспечения возможности рассмотрения целостной архитектуры с определенных точек зрения или соответствующих уровней абстракции.

Данная модель представляется в виде таблицы, состоящей из пяти строк и шести столбцов. В применении к деятельности предприятия верхняя строка, контекстный уровень, соответствует уровню интересов высшего руководства и собрания акционеров. Второй уровень соответствует интересам бизнес-менеджеров и владельцев процессов. На третьем уровне бизнес-менеджеры, бизнес-аналитики и менеджеры, отвечающие за информационные

---

Труды пятой всероссийской конференции "Информационные технологии интеллектуальной поддержки принятия решений", 16 - 19 мая, Уфа, Россия, 2017

технологии, должны работать вместе. Уровни с четвертого и далее описывают детали, которые представляют интерес для ИТ-менеджеров, проектировщиков, разработчиков. На каждом из этих уровней участники рассматривают одни и те же категории вопросов, соответствующих столбцам в таблице, – только с различным уровнем абстракции и детализации [1].

В качестве средства для построения моделей, входящих в методологию Захмана был выбран программный продукт ARIS. Построение архитектуры предприятия начинается с описания таблицы Захмана (таблица 1).

Контекстная модель архитектуры предприятия представляет собой точку зрения директора компании.

**Таблица 1. Модель Захмана**

Уровень абстракции / Категории вопросов	Что?	Как?	Где?	Кто?	Когда?	Почему?
Контекстная модель Директор	Список понятий и объектов управления работой	Диаграмма цепочек добавленного качества	География бизнеса	Организационная структура компании	Календарный план	Дерево целей
Концептуальная модель Начальник ПАЛ	Семантическая модель данных	Диаграмма цепочки процесса проведения анализов металлов и сплавов	Диаграмма информационных потоков	Организационная структура ПАЛ	График работ	Дерево услуг ПАЛ
Логическая модель Системный аналитик	Расширенная модель «Сущность-отношение»	Диаграмма типов прикладной системы	Иерархия информационных систем	Распределение ролей	Структура процессов при управлении и работой	Диаграмма правил
Физическая модель Проектировщик	Диаграмма таблиц	Диаграммы прикладной системы	Диаграмма компонент	Интерфейс пользователя	Диаграмма событий	Описание правил
Детальная реализация Программист	СУБД	Программный код	Топология сети	Правила доступа	Диаграмма состояний	Бизнес-логике

На данном уровне абстракции ответ на вопрос «Что?» дает список понятий и объектов управления работой. Ответ на вопрос «Как?» дает диаграмма цепочек добавленного качества (рисунок 1). Данная диаграмма отображает цикл производственного процесса на верхнем уровне с точки зрения директора компании. Производственный цикл начинается с получения заказа клиента, путем участия в тендере и заканчивается поставкой произведенного товара. В данном процессе участвуют основные производственные участки и подразделения. Административные функции производственного процесса автоматизированы с помощью информационной системы «SAP ERP», описание которой будет выполнено в рамках отдельного раздела. Ответом на вопрос «Где?» является

география бизнеса, на вопрос «Кто?» – организационная структура предприятия. На вопрос «Когда?» на заданном уровне абстракции отвечает календарный план работы предприятия, на вопрос «Почему?» – Дерево целей компании.

Таким образом, исходя из информации, полученной в процессе описания контекстной модели архитектуры предприятия можно сделать вывод о том, что с точки зрения директора, автоматизация протекающих в компании процессов решена достаточно эффективно, следовательно, существует необходимость в рассмотрении концептуальной модели архитектуры предприятия, соответствующей точке зрения начальника производственно-аналитической лаборатории.

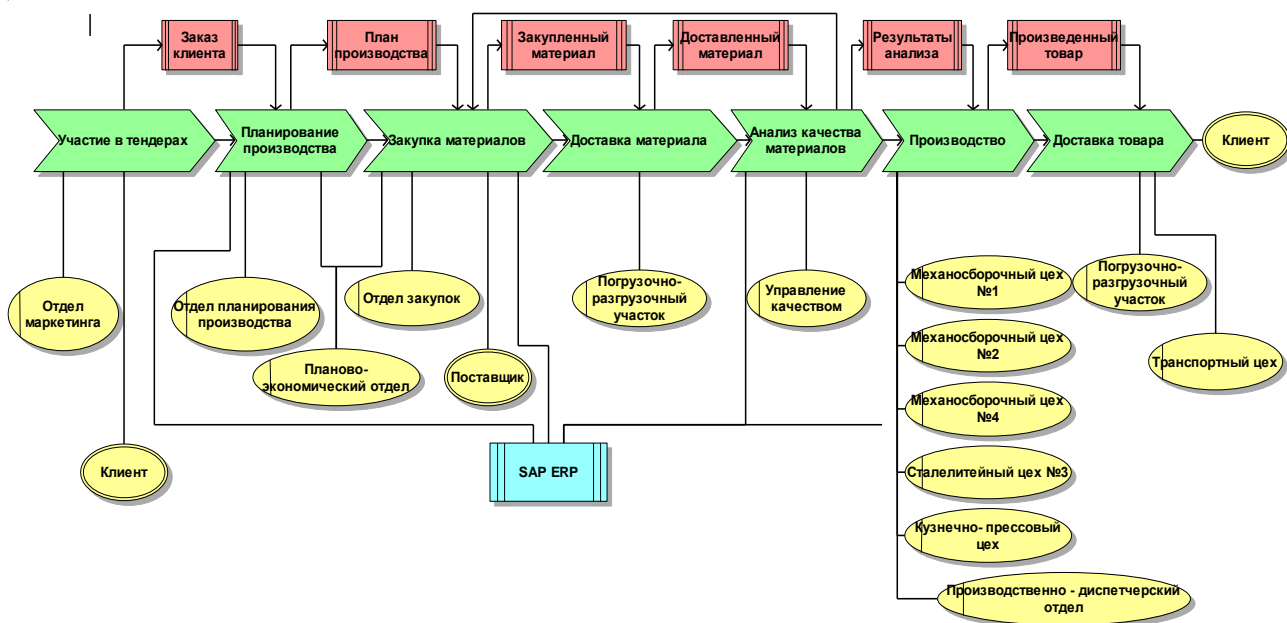


Fig. 1. Диаграмма цепочки добавленного качества

На уровне концептуальной модели ответ на вопрос «Что?» позволяет дать модель технических терминов процесса анализа металлов и сплавов. На вопрос «Кто?» дает ответ организационная структура рассматриваемого отдела. Производственно-

аналитическая лаборатория является структурным подразделением Управления качеством. Организационная структура производственно-аналитической лаборатории представлена на рисунке 2.

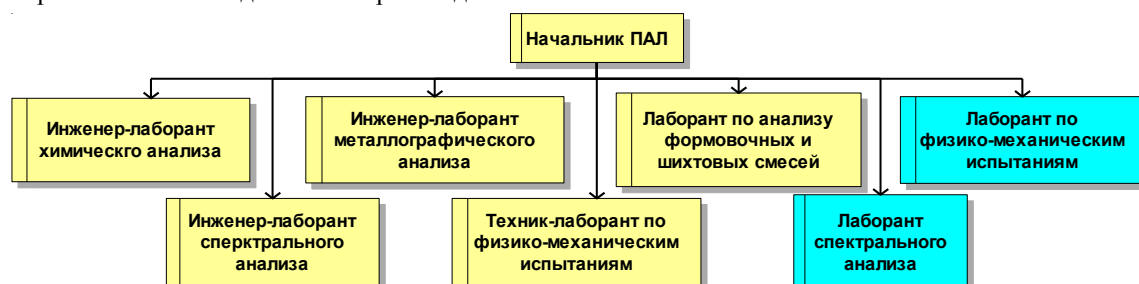
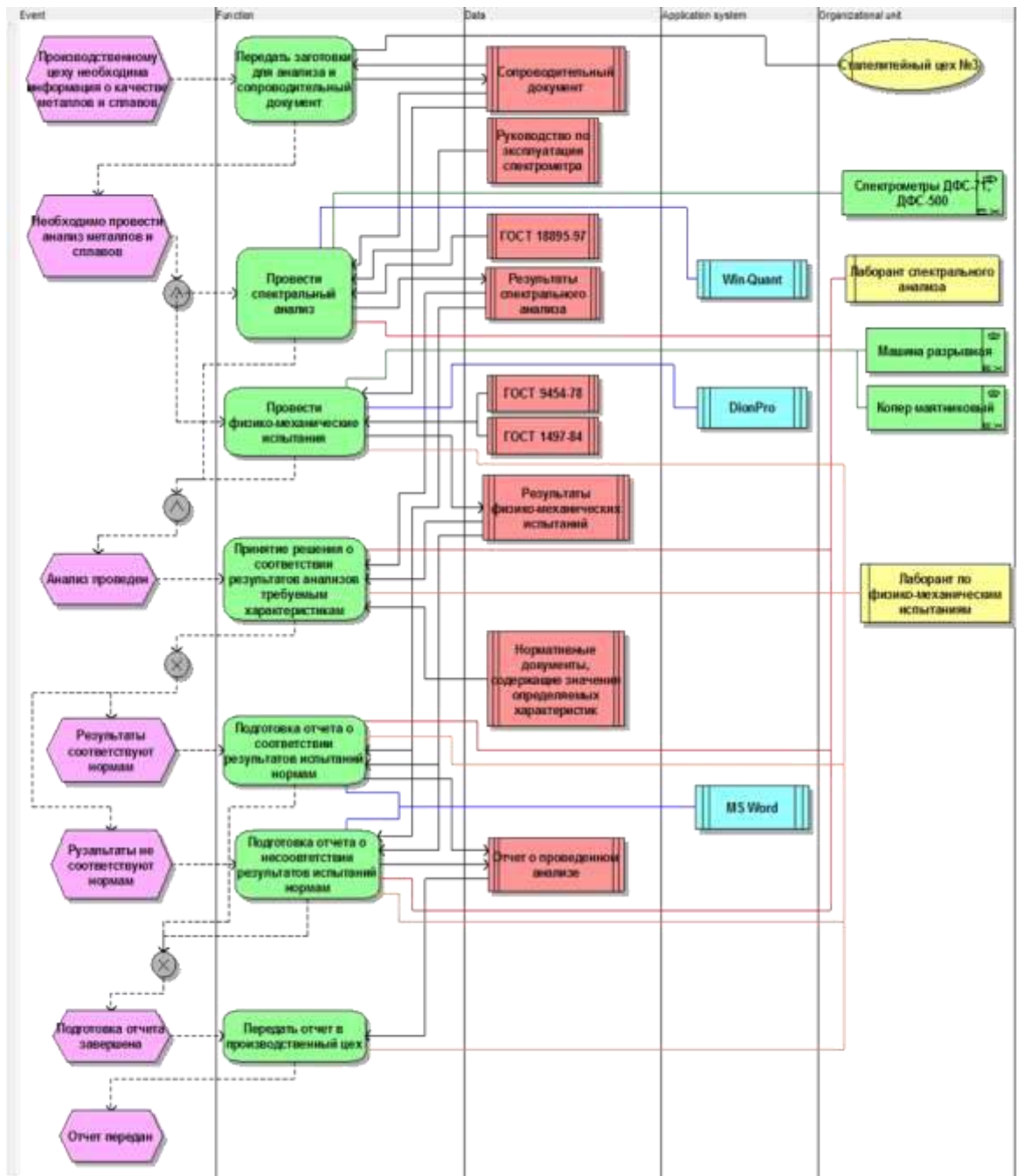


Fig. 2. Организационная структура производственно-аналитической лаборатории

Диаграмма цепочки процесса проведения анализов металлов и сплавов (PCD) позволяет наглядно проиллюстрировать описываемый нами процесс и дать ответ на вопрос «Как?» (рисунок 3). Процесс начинается с появления необходимости в анализе качества материалов, используемых в процессе производства. В производственно-аналитическую лабораторию из сталелитейного цеха поступают образцы металлов и сплавов и сопроводительный документ. Лаборант спектрального анализа проводит анализ на определение массовой доли элементов в образце, руководствуясь государственным стандартом и внутренним документом – «Руководство по эксплуатации спектрометра». В качестве оборудования, используемого в данном анализе, выступают спектрометры, управление которыми осуществляется с помощью программного обеспечения «Win-Quant». Выходом из данного процесса являются результаты спектрального анализа и возникновение события «Анализ проведен» [2].

Параллельно со спектральным анализом выполняется процесс проведения физико-механических испытаний, который подразумевает проведение анализов на ударную вязкость и растяжение лаборантом по физико-механическим испытаниям. Данные анализы регламентированы государственными стандартами и выполняются с помощью специализированного оборудования: маятниковый копер и разрывная машина. Управление оборудованием осуществляется с помощью программного обеспечения «Dion Pro». Выходом из данного процесс является результат физико-механических испытаний и возникновение события «Анализ проведен». После окончания проведения анализов выполняется процесс принятия решений о соответствии результатов испытаний нормам. Данный процесс выполняется лаборантом по физико-механическим испытаниям и лаборантом спектрального анализа. Процесс регламентирован нормативными документами, содержащими значения определяемых характеристик.



**Fig. 3. Диаграмма цепочки процесса проведения анализов металлов и сплавов (PCD) «как есть»**

Возможными выходами из данного процесса являются события «Результаты соответствуют нормам» и «Результаты не соответствуют нормам», которые в свою очередь приводят к выполнению процесса составления итогового отчета о соответствии или несоответствии результатов анализа нормам. Процесс составления отчета выполняется средствами «MS Word». Результатом процесса является сформированный отчет и возникновения события «Подготовка отчета завершена», которое приводит к выполнению процесса передачи результатов анализа заказчику. Процесс проведения анализа металлов и сплавов завершается событием «Отчет передан».

Рассмотрение данного технологического процесса позволило выявить проблемное место в процессе анализа качества металлов и сплавов. Функция составления итогового отчета выполняется лаборантами вручную, путем внесения данных в «MS Word», на основании чего можно сделать вывод о том, что в производственно-аналитической лаборатории задача автоматизации процесса проведения анализа металлов и сплавов решена недостаточно эффективно, так как составление итогового отчета не поддерживается с точки зрения информационных технологий.

Ответ на вопрос «Где?» в концептуальной модели архитектуры предприятия дает диаграмма

информационных потоков, описывающая процесс передачи информации между сталелитейным цехом и производственно-аналитической лабораторией.

Ответом на вопрос «Когда?» в концептуальной модели архитектуры предприятия дает график работ лаборатории, а ответом на вопрос «Почему?» является дерево услуг ПАЛ.

Исходя из информации, полученной в процессе описания концептуальной модели архитектуры предприятия, принято решение о необходимости детального рассмотрения процесса проведения анализа металлов и сплавов с точки зрения информационного и технического обеспечения, с целью определения функциональных возможностей используемого программного обеспечения управления оборудованием и выявлении необходимости в дополнительной автоматизации технологического процесса анализа металлов и сплавов, путем внедрения соответствующего требованиям программного продукта.

В случае принятия решения о необходимости внедрения дополнительного программного обеспечения, имеет смысл рассмотреть логическую и физическую модели архитектуры предприятия из таблицы Захмана, отражающие точки зрения системного аналитика и проектировщика, и детальную реализацию системы, отражающую точку зрения разработчика [3].

## 2.1. Построение SCADA-системы как части архитектуры предприятия

Данный раздел представляет собой описание модели Захмана с точек зрения системного аналитика и

проектировщика, что соответствует уровням логической и физической моделей таблицы Захмана. Данные уровни таблицы позволяют наглядно отобразить место SCADA-системы в архитектуре предприятия в целом и разработать методы и модели организации информационной поддержки технологического процесса.

### Анализ информационных систем поддержки технологического процесса оценки качества металлов и сплавов

На данном этапе выполняется анализ существующего программного обеспечения управления оборудованием в процессе аналитической деятельности лаборатории, направленной на оценку качества металлов и сплавов. Этап соответствует точке зрения системного аналитика в модели Захмана.

Управление спектрометрами и контроль за их работой осуществляется с помощью программного приложения «WinQuant». Для управления работой разрывной машины используется программное приложение «DION-Pro». Управление копром, прибором, с помощью которого проводятся лабораторные испытания материалов на ударную вязкость, осуществляется вручную лаборантом.

Диаграмма типа прикладных систем описывает прикладные информационные системы, используемые в производственно-аналитической лаборатории (рисунок 4). Данная диаграмма представляет собой ответ на вопрос «Как?» с точки зрения системного аналитика, то есть является одним из видов диаграмм, используемых в логической модели архитектуры предприятия в таблице Захмана.

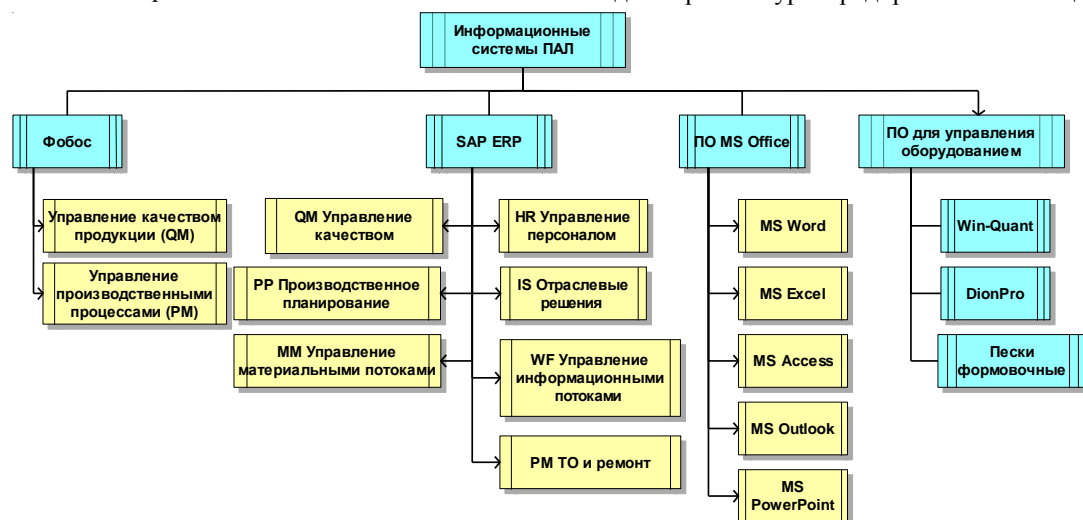


Fig. 4. Диаграмма типов прикладной системы

На верхнем уровне иерархии располагается класс информационных систем, выделенный по функциональному признаку в данном случае, был выделен класс «Информационные системы ПАЛ». В состав данного класса входят информационные системы «SAP ERP» и «MS Office» и подкласс «ПО для управления оборудованием». Система «Фобос»

принадлежит к классу MES-систем, применение которых позволяет связать уровни управления и достичь максимальной эффективности от использования информационных технологий. Все перечисленное выше программное обеспечение работает автономно, за исключением систем «SAP ERP» и «Фобос», способ интеграции данных систем

изображен на диаграмме иерархии информационных систем предприятия. По результатам проведения анализов лаборант получает несколько отчетов от каждого приложения и станка. Для того, чтобы предоставить полученную информацию заказчику, лаборанту необходимо средствами «MS Office Word» вручную создать итоговый отчет, объединяющий в себе результаты проведенных анализов. После чего данный отчет хранится в одной из папок персонального компьютера без использования какой-либо информационной системы.

На основании проведенного анализа информационных систем, используемых непосредственно в данной лаборатории, можно сделать вывод о том, что на данном заводе задача автоматизации процесса проведения анализа металлов и сплавов решена не эффективно. В производственно-аналитической лаборатории отсутствует информационная система, позволяющая автоматически составлять отчеты о проведенных анализах, на основании данных полученных из

программных средств «DION-Pro» и «WinQuant». В качестве решения данной проблемы предлагается внедрить в производственно-аналитическую лабораторию SCADA-систему.

### Разработка методов организации информационного сопровождения технологического процесса

Диаграмма прикладной системы отражает фактическую модульную структуру прикладной системы (рисунок 5) и представляет собой ответ на вопрос «Как?» в контексте физической модели таблицы Захмана. Данная диаграмма показывает наличие трех основных компонентов, разрабатываемой SCADA-системы: «База данных», «Компонент формирования отчетов» и «Электронный архив». Каждому из данных компонентов соответствуют функции, определенные на этапе формализации требований сотрудников производственно-аналитической лаборатории к разрабатываемому продукту.

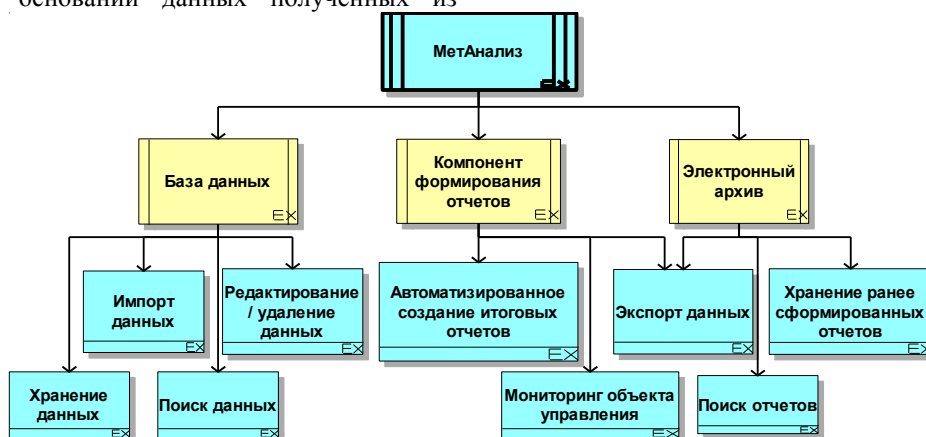


Fig. 5. Диаграмма прикладной системы

Таким образом, на данном этапе исследования были наглядно продемонстрированы изменения в изучаемом процессе в связи с внедрением разрабатываемой SCADA-системы.

### 3. Заключение

- построение модели архитектуры предприятия позволило сконцентрироваться на процессах работы производственно-аналитической лаборатории и в то же время показала работу предприятия в целом;
- на основании проведенного анализа информационных систем, было принято решение о целесообразности внедрения в производственно-аналитическую лабораторию SCADA-систему с целью повышения эффективности работы сотрудников при проведении анализов металлов и сплавов;
- в ходе построения SCADA-системы как части архитектуры предприятия были рассмотрены логическая и физическая

модели таблицы Захмана, в рамках которых были разработаны методы организации информационного сопровождения технологического процесса.

### Благодарности

Оргкомитет благодарит РФФИ за содействие в проведении конференции.

### Список используемых источников

1. Мартынов В.В., Султанова С.Н. Архитектура предприятия.: Учебное пособие. – Уфа: УГАТУ, 2015. – 160 с.
2. Мартынов В.В., Азаров В.Н., Леохин Ю.Л., Лысенко И.А., Рыков В.И., Филосова Е.И. Информационное обеспечение систем качества.: Учебное пособие. -М.: Европейский центр по качеству, 2009. – 443 с.
3. Мартынов В.В., Прошин Е.Н., Скуратов А.К. Базы данных.: Учебное пособие /Уфимск.гос.авиц.техн.ун-т. – Уфа: РИК УГАТУ, 2016. – 190 с.

# Исследование локализации процесса электрохимической обработки с помощью математического моделирования

Н.И. Житникова  
Факультет информатики робототехники  
Уфимский государственный авиационный  
технический университет  
Уфа, Россия  
e-mail: zhitnikova\_ni@mail.ru

О.Р. Зиннатуллина  
Факультет информатики робототехники  
Уфимский государственный авиационный  
технический университет  
Уфа, Россия  
e-mail: olga\_zr@mail.ru

А.А. Зарипов  
Факультет информатики робототехники  
Уфимский государственный авиационный технический университет  
Уфа, Россия  
e-mail: jacud@yandex.ru

## Аннотация<sup>1</sup>

Для исследования используется одномерная модель электрохимического формообразования с учетом различных факторов: зависимостей выхода по току и электродных потенциалов от плотности тока, газовой выделению и нагрева электролита. Показано, что указанные факторы могут иметь противоположное влияние на локализацию процесса.

## 1. Введение

Применение методик импульсной электрохимической обработки (ЭХО) часто является наиболее рациональным способом обработки. Основные преимущества импульсной ЭХО формулируются следующим образом: отсутствие поверхностного измененного слоя, долговечность инструмента, низкие значения параметров шероховатости при работе на высоких амплитудных плотностях тока и высокая точность копирования формы и повторяемость процесса при работе на достаточно малых межэлектродных зазорах (1...20 мкм) по схеме с вибрацией электрода-инструмента (ЭИ).

В то же время возникает проблема расчета форм обрабатываемых поверхностей, образующихся в ходе ЭХО. Это связано с тем, что в отличие от механического процесс ЭХО происходит в бесконтактном режиме и скорость съема материала заготовки в каждой точке поверхности определяется плотностью тока. Поэтому форма следа на заготовке при ЭХО не повторяет полностью профиль ЭИ. Для

расчета формы необходимо учитывать различные факторы, связанные с физико-химическими особенностями процесса, а также распределение электрического поля в пространстве между электродами.

## 2. Постановка задачи

Для анализа локализации электрохимической обработки [1] рассматривается задача о моделировании процессов, происходящих при электрохимической обработке в межэлектродном пространстве (МЭП), состоящем из двух участков с различной величиной межэлектродного зазора  $s$  и  $s_1$  (рис. 1).

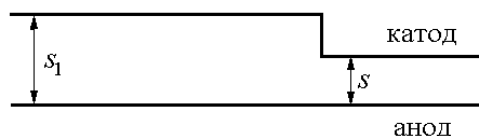


Рис. 1. Схема межэлектродного пространства

Каждый из участков представляет собой пространство, заполненное электролитом. На электроды подается импульс напряжения прямоугольной формы и происходит электрохимическое растворение материала анода.

Процесс растворения определяется законом Фарадея. Скорость электрохимического растворения при этом определяется формулой [2, 3]

$$V_{\text{см}} = k\eta \frac{j}{\kappa}, \quad k = \kappa\varepsilon/\rho, \quad (1)$$

где  $\varepsilon$  – электрохимический эквивалент;  $\rho$  – плотность растворяемого материала;  $j$  – плотность тока на анодной границе;  $\kappa$  – электропроводность электролита;  $\eta = \eta(j)$  – выход по току (доля тока,

Труды пятой всероссийской конференции "Информационные технологии интеллектуальной поддержки принятия решений", 16 - 19 мая, Уфа, Россия, 2017



участвующего в реакции растворения металла). Согласно закону Ома напряженность электрического поля  $E = j/\kappa$ .

В плоско-параллельном МЭП  $E = U/s$ ,

$$V_{ecm} = k\eta \frac{U}{s},$$

где  $U$  – напряжение между электродами,  $s$  – межэлектродный зазор.

При этом, чем больше относительная разность  $|\Delta V_{ecm}|/V_{ecm}$  скоростей на различных участках МЭП, тем выше локализация процесса, и происходит более точное копирование формы электрода-инструмента (ЭИ), роль которого играет катод. На локализацию процесса влияют различные факторы такие, как выделение газа на поверхностях электродов, нагрев и загрязнение электролита, изменение электродных потенциалов и т.п.

### 3. Нестационарный процесс

Рассмотрим вначале идеальный процесс (анодные и катодные потенциалы являются постоянными величинами, выделение газа и нагрев электролита отсутствуют). В этом случае

$$L_1 = \frac{1}{V_{ecm}} \frac{dV_{ecm}}{ds} = -\frac{1}{s}. \quad (2)$$

Теперь рассмотрим случай, когда электродные потенциалы и выход по току являются функциями плотности тока  $j$ . Тогда плотность тока определяется неявной функцией

$$j = \kappa \frac{U - \varphi(j)}{s}, \quad \frac{dj}{ds} = -\frac{j}{s} \left( 1 + \frac{\kappa}{s} \frac{d\varphi}{dj} \right)^{-1},$$

где  $\varphi(j)$  – суммарный электродный потенциал. В этом случае найдем отношение

$$L_2 = \frac{1}{V_{ecm}} \frac{dV_{ecm}}{ds} = -\frac{1}{s} \left( 1 + \frac{j}{\eta} \frac{d\eta}{dj} \right) \left( 1 + \frac{\kappa}{s} \frac{d\varphi}{dj} \right)^{-1}. \quad (3)$$

В качестве безразмерного параметра, характеризующего локализацию удобно выбрать отношение (3) к (2)

$$k_{loc} = \frac{L_2}{L_1} = \left( 1 + \frac{j}{\eta} \frac{d\eta}{dj} \right) \left( 1 + \frac{\kappa}{s} \frac{d\varphi}{dj} \right)^{-1}. \quad (4)$$

Отсюда следует, что при  $\eta = const$ ,  $\frac{d\varphi}{dj} > 0$  значение

$k_{loc} < 1$ , т.е. процесс имеет меньшее значение коэффициента локализации, чем идеальный (при этом разность скоростей растворения меньше, чем при идеальном процессе, что потребует большего припуска для достижения заданной точности

копирования). С другой стороны, при  $\frac{d\eta}{dj} > 0$ ,

$\varphi = const$  величина  $k_{loc} > 1$ . Тем самым, реальные зависимости выхода по току и электродных потенциалов имеют противоположное влияние на коэффициент локализации.

### 4. Стационарный процесс

Рассмотрим, как зависимость выхода по току и электродных потенциалов сказывается на погрешности стационарной формы, которая устанавливается со временем. Рассмотрим слабоискривленный ЭИ и соответствующую ему стационарную форму анодной поверхности (рис. 2).

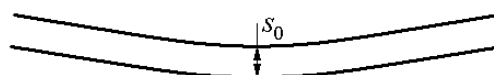


Рис. 2. Стационарный процесс

При стационарном решении проекция скорости движения ЭИ на внешнюю нормаль к поверхности анода равна скорости электрохимического растворения  $V_{et}$ , т.е.

$$V_{et} \cos \nu = k\eta(j) \frac{U - \varphi(j)}{s},$$

где  $\nu$  – угол между касательной к анодной поверхности и осью абсцисс. Отсюда

$$s = \frac{k}{V_{et}} \frac{\eta(j)(U - \varphi(j))}{\cos \nu},$$

$$s_0 = \frac{k}{V_{et}} \eta(j_0)(U - \varphi(j_0)).$$

Индекс «0» соответствует точке с горизонтальной касательной. Тогда погрешность копирования равна

$$\begin{aligned} \Delta = s - s_0 &= \frac{k}{V_{et}} \left[ \frac{\eta(j)(U - \varphi(j))}{\cos \nu} - \eta(j_0)(U - \varphi(j_0)) \right] = \\ &= \frac{k}{V_{et}} (U - \varphi(j_0)) \eta(j_0) \left( \frac{1}{\cos \nu} - 1 \right) - \\ &- \frac{k}{V_{et}} (U - \varphi(j_0)) \frac{\eta(j_0) - \eta(j)}{\cos \nu} + \frac{k}{V_{et}} \frac{\eta(j)(\varphi(j_0) - \varphi(j))}{\cos \nu}. \end{aligned}$$

Если обозначить погрешность, соответствующую постоянному выходу по току и потенциалу

$$\Delta_0 = \frac{k}{V_{et}} (U - \varphi(j_0)) \eta(j_0) \left( \frac{1}{\cos \nu} - 1 \right),$$

то отношение

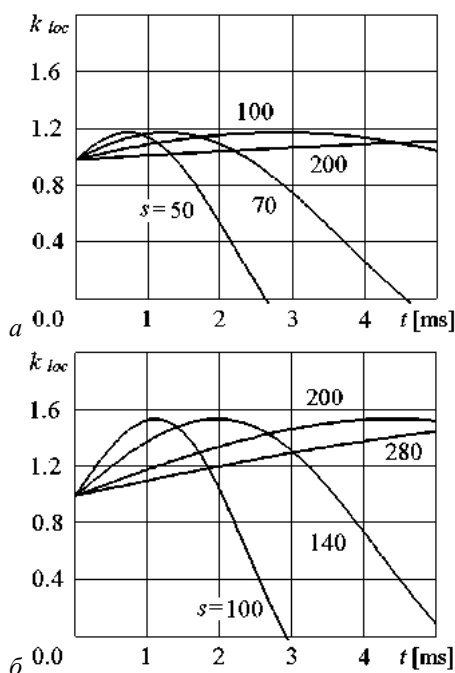
$$\frac{\Delta}{\Delta_0} = 1 - \frac{\eta(j_0) - \eta(j)}{\eta(j_0)} \frac{1}{1 - \cos \nu} + \frac{\eta(j)(\varphi(j_0) - \varphi(j))}{\eta(j_0)(U - \varphi(j_0))} \frac{1}{1 - \cos \nu}$$

позволяет утверждать, что погрешность стационарной поверхности уменьшается, если выход по току возрастает с увеличением плотности тока и увеличивается, если электродный потенциал увеличивается с возрастанием плотности тока.

Тем самым, воздействие этих факторов на точность стационарной поверхности аналогично влиянию на скорость растворения при нестационарном процессе.

## 5. Влияние газовыделения и нагрева

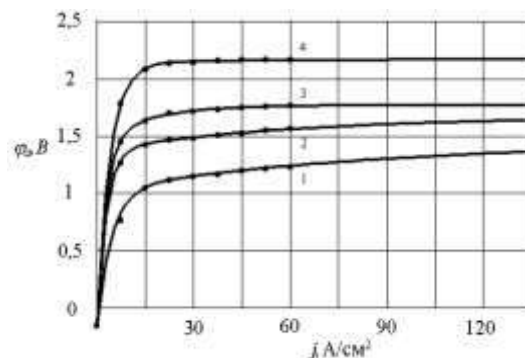
На локализацию влияют также нагрев электролита и газовыделение на электродах. На рис. 3 приведены зависимости коэффициента локализации от длины импульса. Результаты численных исследований [4] показывают, что нагрев электролита увеличивает, а выделение газа снижает коэффициент локализации. При этом в начале импульса обычно преобладает влияние нагрева, и величина коэффициента локализации  $k_{loc}$  увеличивается. При увеличении времени импульса начинает преобладать влияние газонаполнения. Тогда величина  $k_{loc}$  начинает уменьшаться и при некоторых условиях может стать меньше единицы.



**Рис. 3. Зависимость коэффициента локализации от длины импульса при разных зазорах и напряжениях  $U$ : а –  $U=10V$ ; б –  $U=20V$  (зазоры  $s$  даны в мкм)**

Для увеличения влияния нагрева электролита на повышение локализации и уменьшения отрицательного влияния газонаполнения можно использовать короткие (до 100 мкс) импульсы сверхвысокой (порядка  $1000 \text{ а/см}^2$ ) плотности тока. При соизмеримости длительности импульсов с характерными временами заряда емкостей двойных электрических слоев поверхностей электродов и периода активации возникают физико-химические

эффекты, имеющие важные предпосылки для повышения точности копирования. На рис. 1.1.3 показаны зависимости анодных потенциалов от плотности тока при различных длинах импульса [4].



**Рис. 4. Экспериментальные зависимости в 8%-м водном растворе нитрата натрия при нормальных условиях анодного потенциала хромистой стали от плотности тока (при длительности импульса  $t$ : 1 – 1 мкс; 2 – 5 мкс; 3 – 10 мкс; 4 – 50 мкс)**

Выход по току определяется при этом следующим образом

$$\eta(j, \varphi_a) = \begin{cases} 0, & \varphi_a < \varphi_{cr} \\ \eta(j), & \varphi_a \geq \varphi_{cr} \end{cases}$$

При этом растворение начинается при достижении некоторого порогового значения  $\varphi_{cr}$  потенциала, время необходимое для этого зависит от локальной плотности тока. То есть, при малых плотностях тока растворение начинается позже, что приводит к увеличению локализации процесса.

Для реализации такого процесса обработки импульсы подаются группой (по 5-50) импульсов в момент наибольшего сближения ЭИ с заготовкой.

## 4. Заключение

Существует набор факторов, влияющих на точность копирования при электрохимической обработке. Здесь исследовано влияние непостоянства зависимости выхода по току от плотности тока и нагрева электролита, повышающее точность. С другой стороны, переменность электродных потенциалов и газовыделение ухудшают точность.

В качестве характеристики локализации процесса электрохимического формообразования использован коэффициент локализации, с помощью которого определяется разность скоростей растворения при различных зазорах.

Следует отметить, что для исследования использовалась одномерная модель, двумерные модели требуют дополнительного исследования.

## **Благодарности**

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 17-07-00356).

## **Список используемых источников**

1. Idrisov T.R., Zaitsev A.N., Zhitnikov V.P. Estimation of the Process Localization at the Electrochemical Machining by Microsecond Pulses of Bipolar Current. *Journal of Materials Processing Technology*, 2004, Vol. 149, pp. 479–485.
2. Клоков В. В. “Электрохимическое формообразование”. Изд-во Казан. ун-та, Казань, 1984.
3. Каримов А. Х., Клоков В. В., Филатов Е. И. “Методы расчета электрохимического формообразования”. Изд-во Казан. ун-та, Казань, 1990.
4. Импульсная электрохимическая размерная обработка / В. П. Житников, А. Н. Зайцев. М.: Машиностроение, 2008.
5. Crawford P.J., Barrett T. P. The reference librarian and the business professor: a strategic alliance that works // *Ref. Libr.* 1997. Vol. 3. № 58. P. 75-85.

# Разработка адаптивных интерфейсов с применением статистических критериев и агентного подхода

И.М. Исмагилова  
Факультет информатики и робототехники  
Уфимский государственный авиационный  
технический университет  
Уфа, Россия  
e-mail: im104@mail.ru

С.С. Валеев  
Факультет информатики и робототехники  
Уфимский государственный авиационный  
технический университет  
Уфа, Россия  
e-mail: vss2000@mail.ru

## Аннотация<sup>1</sup>

Рассматривается задача обеспечения эффективного взаимодействия человека-оператора и информационной системы в сложных распределенных технических системах управления. Предлагаются технологии агентного моделирования при проектировании взаимодействия элементов системы для интеллектуализации человеко-машинного интерфейса. Обсуждается целесообразность учета индивидуальных характеристик человека-оператора для адаптации интерфейсов. Описывается применение статистических критериев для оценки квалификации операторов

## 1. Введение

При управлении производственными процессами в условиях современного уровня развития технологий и масштабы решаемых задач появляется необходимость в обеспечении эффективного взаимодействия человека-оператора (ЧО) и информационной системы (ИС). Под влиянием различных внешних и внутренних факторов неопределенности возникает задача, связанная с необходимостью перестройки взаимодействия оператора и управляемой им системы. Выделим три основных элемента: пользовательский интерфейс (ПИ), ЧО и ИС. ПИ рассматривается как посредническая информационная подсистема, обеспечивающая динамическое взаимодействие между оператором и ИС в реальном масштабе времени. При взаимодействии оператора с ИС его действия определяются целями и задачами, которые должна выполнять ИС. В зависимости от принадлежности оператора конкретному уровню управления в иерархической системе управления и его профессиональных качеств меняются алгоритмы взаимодействия с ИС. В стандартных программных комплексах, имеющих большой тираж, интерфейс,

как правило, является стандартизованным и не учитывает характеристики ЧО. В данном случае специалисты вынуждены приспосабливаться к существующему интерфейсу. Безусловно, эффективность работы оператора в такой системе существенно снижается. Проблему эффективного взаимодействия пользователей с различным набором характеристик решает разработка адаптивного динамического интерфейса, при использовании которого происходит «подстройка» интерфейса ИС под цели и задачи оператора в режиме реального времени [1-2].

## 2. Агентная модель адаптивного интерфейса системы

Широкое применение при разработке и проектировании автоматизированных систем, использующих интеллектуальные компьютерные технологии, находят мультиагентные технологии. Предлагается применение мультиагентных технологий для проектирования адаптивного ПИ. При этом выделяются три основных активных агента: человек, интерфейс, информационная система.

В системах с агентной архитектурой задачи разбиваются на типовые подзадачи, выполняемые командой программных агентов. Каждая из них инициируется либо периодически, либо при возникновении определенных ситуаций. В системах с агентно-ориентированным программным обеспечением осуществляется гибкое распределение ролей в процессе управления между оператором и агентами [3].

На современном этапе развития механизации и автоматизации производственных процессов широкое применение получили сложные информационно-управляющие системы, в которых используется совместная деятельность группы специалистов, образующих один коллектив, который работает над решением общей задачи, в том случае, если одному человеку-оператору такая работа не под силу. Таким образом, управление техническими комплексами осуществляется группой операторов совместно (диспетчеры железнодорожных и авиа вокзалов,

---

Труды пятой всероссийской конференции  
"Информационные технологии интеллектуальной  
поддержки принятия решений", 16 - 19 мая, Уфа,  
Россия, 2017

сотрудники информационных служб, исследователи, занятые изучением одной научной проблемы, группы военных специалистов и др.). Такие системы, как правило, распределены на большом количестве рабочих станций, управляемых центральным блоком, то есть, по сути являются сложными распределенными техническими системами управления (СРТСУ) [4].

В данной работе предлагается использовать многоагентный подход для реализации интерфейсов в распределенной системе.

СРТСУ включает в себя агентов: ИС, ПИ, ЧО, каждый из которых содержит отдельные элементы, реализующие индивидуальные функции. Агент-интерфейс является посреднической структурой, взаимодействующей как с ИС, так и с ЧО. Модели информационной системы и пользователей хранятся в базе данных, к которой при необходимости могут получить доступ агенты ИС и ПИ.

Если рассматривать СРТСУ как сложную многосвязную систему, включающую в себя агентов  $\{IS_1, IS_2, \dots, IS_n\} \in IS$ ,  $\{UI_1, UI_2, \dots, UI_m\} \in UI$ ,  $\{HO_1, HO_2, \dots, HO_l\} \in HO$ , где  $IS$  – множество агентов ИС,  $UI$  – множество агентов ПИ,  $HO$  – множество агентов ЧО, то существуют множество зависимостей между элементами:  $D_s = \langle D_i, G_{ij} \rangle$

такие, что  $D_i \in D$ ,  $G_{ij} \in G$ ,  $i = \overline{1, u}$ ,  $j = \overline{1, v}$ , где  $D \in IS$ ,  $UI$ ,  $HO$ . Кроме того, в силу ограничений взаимодействия ( $D_i \in IS$ )  $\wedge$  ( $D_i \notin HO$ ).

Тогда для каждого из множеств агентов зададим бинарные матрицы связей **IS**, **UI** и **HO** размерностями  $n \times n$ ,  $m \times m$  и  $l \times l$  соответственно:

$$\mathbf{IS} = \begin{bmatrix} is_{11} & \dots & is_{1n} \\ \dots & & \dots \\ is_{n1} & \dots & is_{nn} \end{bmatrix}, \quad \mathbf{UI} = \begin{bmatrix} ui_{11} & \dots & ui_{1m} \\ \dots & & \dots \\ ui_{m1} & \dots & ui_{mm} \end{bmatrix},$$

$$\mathbf{HO} = \begin{bmatrix} ho_{11} & \dots & ho_{1l} \\ \dots & & \dots \\ ho_{l1} & \dots & ho_{ll} \end{bmatrix}.$$

Поскольку в распределенной системе предполагается взаимодействие элементов агентной системы и за пределами группы, тогда бинарная матрица взаимодействия агентов системы размерностью  $(n + m + l) \times (n + m + l)$ , имеет вид:

$$\mathbf{M} = \begin{bmatrix} \mathbf{IS} & \mathbf{M}(is, ui) & 0 \\ \mathbf{M}(ui, is) & \mathbf{UI} & \mathbf{M}(ui, ho) \\ 0 & \mathbf{M}(ho, ui) & \mathbf{HO} \end{bmatrix}, \quad (1)$$

где  $\mathbf{M}(is, ui)$ ,  $\mathbf{M}(ui, is)$ ,  $\mathbf{M}(ui, ho)$ ,  $\mathbf{M}(ho, ui)$  – матрицы взаимодействия соответствующих агентов.

Распределение связей в матрице (1) влияет на достижение системой оптимума:

$$J(IS, UI, HO) \rightarrow \max \quad (2)$$

Матрица **IS** не может быть изменена. При построении интерфейсов могут меняться элементы матриц **UI** и **HO**, а также связи между ними. Влиять на это можно, расставляя приоритеты выполнения задач операторами.

### 3. Построение адаптивных интерфейсов с применением статистических методов

Надежность и эффективность СРТСУ существенно зависят от групповой деятельности операторов, при которой все члены группы связаны между собой одной целью, проблемной ситуацией или ситуацией задачи и определенными средствами деятельности. При этом множество подзадач отдельного оператора должно принадлежать общему множеству задач системы. Необходимо добиться такого распределения подзадач, чтобы множества задач любых двух операторов не пересекались для достижения наиболее эффективного управления ИС, то есть каждой подзадаче был назначен только один оператор. Особенно актуально рассмотрение данной задачи в условиях критических ситуаций, в которых необходимо быстрое и слаженное реагирование коллектива операторов, без противоречий, при этом должна учитываться информационная пропускная способность отдельного оператора, который может выполнять ограниченный набор функций за заданный промежуток времени.

Для назначения подзадач операторам может быть использован генетический алгоритм назначения исполнителей [5]. Но предварительно необходимо произвести оценку операторов по их индивидуальным характеристикам. Возникает задача использования результатов статистического анализа для проведения дифференциации работников по уровню квалификации при построении адаптивного интерфейса. Решение этой задачи также позволяет выполнить динамическую подстройку интерфейса не только по заранее заданной в системе модели пользователя, но и по его индивидуальным квалификационным данным. То есть, применяется более точная модификация данной модели, предоставляющая более полноценную и достоверную информацию касательно каждого пользователя.

Как правило, на крупном предприятии существует развитая система повышения квалификации и оценивания персонала. После прохождения обучения сотрудник оценивается с применением различных методик. Одним из самых легких в применении и эффективных, и соответственно, широко распространенных методов, является тестирование. Однако за долгие годы работы в организации сотрудник «накапливает» довольно большой набор результатов, соответствующих итогам каждого пройденного тестирования. И у аналитика могут возникнуть трудности при сравнении двух сотрудников по такому критерию стандартными методами. Если рассматривать результаты

квалификационного тестирования будем рассматривать как случайную величину, все её теоретически возможные значения – как генеральную совокупность, а реально полученные данные – как выборку, то при выполнении анализа результатов тестирования можно использовать различные статистические критерии для сравнения двух выборок, каждая из которых содержит результаты прохождений ряда тестирований одним сотрудником. Наиболее эффективным критерием для такого рода сверки является t-критерий Стьюдента [6]. В том случае, если нет уверенности в том, что генеральная совокупность распределена нормально, то этот критерий использовать нельзя. Тогда можно использовать менее точные непараметрические критерии.

Анализ результатов тестирования статистическими методами компенсирует влияние случайных факторов, а также способствует повышению объективности действий и решений, принимаемых на основе такого анализа [6].

С учетом вышесказанного, в структуру системы добавляется новый блок – система тестирования и анализа результатов (СТАР), в котором работают два агента – агент проведения тестирования (АТ) и агент анализа результатов (ААР).

Полученная схема общей системы приведена на рисунке (рис. 1).

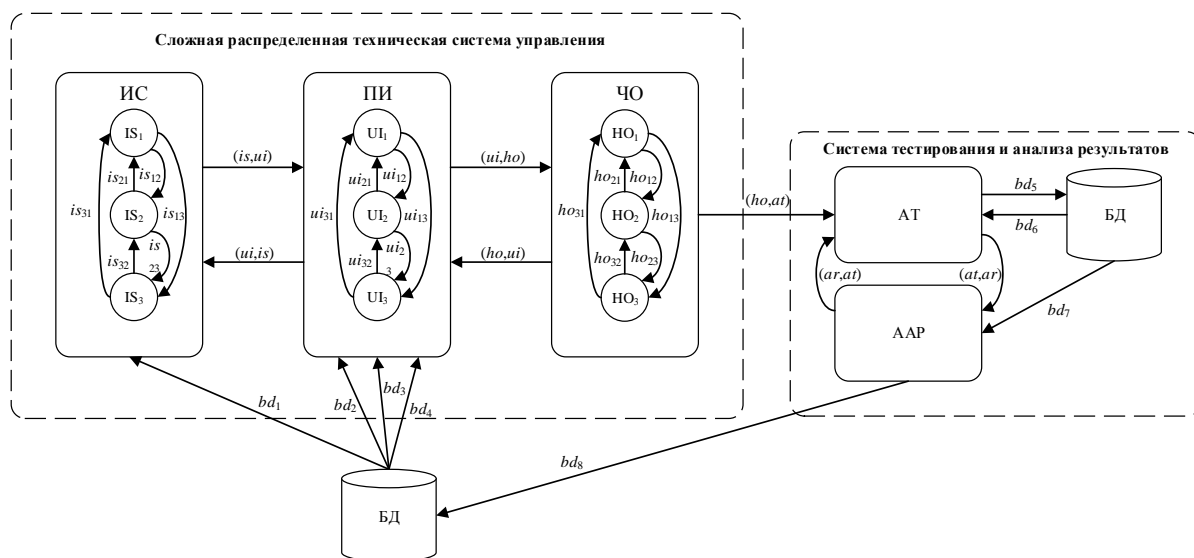


Рис. 1. Схема системы при добавлении блока СТАР

В соответствии с этим изменяется схема взаимодействия агентов. Так, в связи с добавлением новых агентов блока СТАР  $\{TA_1, TA_2, \dots, TA_n\} \in TA$  и  $\{RA_1, RA_2, \dots, RA_n\} \in RA$ , где  $TA$  – множество агентов АТ,  $RA$  – множество агентов ААР, множество

зависимостей  $D_s = \langle D_i, G_{ij} \rangle$ ,  $D_i \in D$ ,  $G_{ij} \in G$ ,  $i = \overline{1, p}$ ,

$j = \overline{1, k}$  приобретает новые элементы,  $D \in IS, UI, HO, TA, RA$ . Добавляются новые ограничения взаимодействия агентов системы  $(D_i \in IS) \wedge (D_i \notin TA)$ ,  $(D_i \in IS) \wedge (D_i \notin RA)$ ,  $(D_i \in UI) \wedge (D_i \notin TA)$ ,  $(D_i \in UI) \wedge (D_i \notin RA)$ ,  $(D_i \in HO) \wedge (D_i \notin RA)$  и матрицы взаимодействия  $TA$  и  $RA$  размерностями  $p \times p$  и  $k \times k$ :

$$TA = \begin{bmatrix} ta_{11} & \dots & ta_{1p} \\ \dots & \dots & \dots \\ ta_{p1} & \dots & ta_{pp} \end{bmatrix}, \quad RA = \begin{bmatrix} ra_{11} & \dots & ra_{1k} \\ \dots & \dots & \dots \\ ra_{k1} & \dots & ra_{kk} \end{bmatrix}.$$

Результаты статистического анализа записываются в базу данных, в таблицу характеристик пользователя, доступ к которой имеет агент ПИ.

Экранная форма разработанной программы, осуществляющей анализ результатов тестирования с помощью статистических критериев, приведена на рисунке (рис. 2).

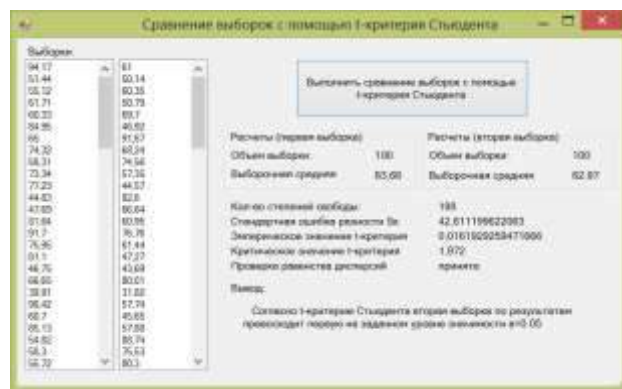


Рис. 2. Экранная форма работы программы анализа результатов тестирования

В дальнейшем построение интерфейса может производиться с учетом индивидуальных квалификационных данных отдельного оператора.

В зависимости от квалификационных различий операторов меняется матрица назначений подзадач. Тогда меняются и матрицы взаимодействия агентов НО и, как следствие, общая матрица взаимодействий многоагентной СРТСУ (1), это приводит к новому оптимуму системы (2).

#### 4. Заключение

В ходе проведенного анализа была выявлена актуальность разработки адаптивных пользовательских интерфейсов для обеспечения более эффективного взаимодействия оператора и информационной системы, что позволит использовать все возможности системы при решении поставленных задач. Предлагается применение технологий агентного моделирования при проектировании адаптивного пользовательского интерфейса, что позволит разбивать крупные задачи на подзадачи, выполняемых отдельным агентом или группой агентов. Важно для создания качественного интерфейса учитывать индивидуальные характеристики человека-оператора. Таким образом, использование статистических методов при оценке квалификационных характеристик операторов обеспечивает повышение качества и результативности взаимодействия пользователей различных уровней управления и информационной системы в рамках рассматриваемой концепции. В статье представлены результаты работы разработанного программного обеспечения, производящего статистический анализ итогов тестирования с помощью t-критерия Стьюдента. Таким образом, эффективность адаптации пользовательского интерфейса и его дальнейшее использование оператором значительно повышаются благодаря учету в процессе адаптации к изменениям,

которые могут возникнуть в процессе управления распределенной сложной технической системы, профессиональных характеристик отдельного сотрудника, на основании которых происходит распределение интерфейсов СРТСУ.

#### Список используемых источников

1. Коутс Р., Влейминк И. Интерфейс «человек компьютер». М.: Мир, 1990. – 501 с.
  2. Раскин Дж. Интерфейс: новые направления в проектировании компьютерных систем. – М.: Символ Плюс, 2007. – 272 с.
  3. Петрин К.В., Теряев Е.Д., Филимонов А.Б., Филимонов Н.Б. Мультиагентные технологии в эргатических системах управления // Известия ЮФУ. Технические науки. 2010. № 3(104). С. 7-13.
  4. Исмагилова И.М. Применение статистических методов при построении адаптивных интерфейсов в сложных информационно-управляющих системах // Мавлютовские чтения: материалы X ВМНК, УГАТУ [Электронный ресурс]. Уфа: РИК УГАТУ, 2016. 1 электрон. опт. диск. С.1778-1780.
  5. Валеев С.С., Шехтман Л.И., Кузьмина Е.А., Садыков Т.Р., Исмагилова И.М. Решение задачи назначения исполнителей на основе генетического алгоритма // Естественные и технические науки. 2014. № 11-12 (78). С. 316-319.
- Valeev S.S., Shehtman L.I., Ismagilova I.M. Information support system of personnel certification based on statistical methods. // Proceedings of the 3rd International Conference “Information Technologies for Intelligent Decision Making Support”. V.1, Ufa, 2015. P. 131-135.

# Устойчивое оценивание параметров авторегрессионных моделей с экзогенными переменными на основе обобщенного метода наименьших модулей

Я.А. Мезал

Институт естественных и точных наук  
Южно-Уральский государственный  
университет  
Челябинск, Россия  
e-mail: [yaser.ali\\_84@yahoo.com](mailto:yaser.ali_84@yahoo.com)

А.В. Панюков

Институт естественных и точных наук  
Южно-Уральский государственный  
университет  
Челябинск, Россия  
e-mail: [paniukovav@susu.ru](mailto:paniukovav@susu.ru)

## Аннотация<sup>1</sup>

Обобщенный метод наименьших модулей является альтернативой метода наименьших квадратов. При соответствующем выборе функции потерь он обеспечивает устойчивость и эффективность оценок коэффициентов моделей авторегрессии.

В работе рассмотрены ранее методы нахождения параметров линейных моделей регрессии и авторегрессии без экзогенных переменных распространяются на задачу оценивания параметров моделей авторегрессии с экзогенными переменными.

## 1. Введение

Рассмотрим проблему оценки коэффициентов линейного уравнения авторегрессии с экзогенными переменными

$$y_t = \sum_{j=1}^m a_j y_{t-j} + \sum_{j=1}^n b_j x_{tj} + \varepsilon_t, \quad t = 1, 2, \dots, T, \quad (1)$$

здесь  $y_1, y_2, \dots, y_T$  – значения переменной состояния;  $x_{1t}, x_{2t}, \dots, x_{nt}$  – значения управлений в моменты времени  $t = 1, 2, \dots, T$ ;  $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_T$  – случайные ошибки,  $a_1, a_2, a_3, \dots, a_m, b_1, b_2, b_3, \dots, b_n$  – неизвестные коэффициенты.

Наиболее распространенным методом определения коэффициентов уравнения регрессии является метод наименьших квадратов (МНК), который является параметрическим методом, требующим выполнения ряда жестких ограничений: детерминированности экзогенных переменных, независимости и нормальности распределения ошибок измерения [1, 2]. Даже незначительные нарушения указанных

предпосылок резко снижают эффективность МНК-оценок.

Нахождение оценок коэффициентов уравнения авторегрессии существенно усложняется плохой обусловленностью системы уравнений, представляющей необходимые условия минимума суммы квадратов отклонений, при этом оценки становятся несостоятельными.

Альтернативой МНК является метод наименьших модулей (МНМ) [3] и различные его реализации: взвешенный МНМ (ВМНМ) [3] и обобщенный МНМ (ОМНМ) [4]. Установленная в работе [5] взаимосвязь методов позволила свести задачу определения ОМНМ-оценок к итерационной процедуре с ВМНМ-оценками. Последние вычисляются путем решения соответствующей задачи линейного программирования. Найденное достаточное условие [6], накладываемое на функцию потерь, обеспечивает устойчивость ОМНМ-оценок коэффициентов авторегрессионных моделей в условиях выбросов.

В работе [5] рассмотрены особенности применения ОМНМ для построения уравнения регрессии. В работах [6, 7, 8] рассмотрены особенности применения ОМНМ для построения уравнения авторегрессии без экзогенных переменных. В данной работе рассмотрены ранее методы распространяются на задачу оценивания параметров авторегрессионных моделей с экзогенными переменными.

## 2. Взаимосвязь между ВМНМ- и ОМНМ-оценками

ВМНМ-оценки задачи (1) можно получить из решения задачи

$$(a_1^*, a_2^*, \dots, a_m^*, b_1^*, b_2^*, \dots, b_n^*) = \arg \min_{(a_1, a_2, a_3, \dots, a_m) \in \mathbb{R}^m} \sum_{t=1}^T p_t \left| y_t - \sum_{j=1}^m a_j y_{t-j} - \sum_{j=1}^n b_j x_{tj} \right|, \quad (2)$$

где  $p_t \geq 0, t = 1, 2, \dots, n$  – некоторые предварительно определенные коэффициенты. Данная задача

---

Труды пятой всероссийской конференции "Информационные технологии интеллектуальной поддержки принятия решений", 16 - 19 мая, Уфа, Россия, 2017



представляет задачу выпуклой кусочно-линейной оптимизации, и введением дополнительных переменных сводится к задаче линейного программирования

$$\min_{\substack{(a_1, a_2, \dots, a_m) \in \square^m \\ (b_1, b_2, \dots, b_n) \in \square^n \\ (u_1, u_2, \dots, u_n) \in \square^T}} \left\{ \begin{array}{l} \sum_{t=1}^T p_t u_t : -u_t \leq y_t - \sum_{j=1}^m a_j y_{t-j} - \sum_{j=1}^n b_j x_{tj} \leq u_t, \\ u_t \geq 0, t = 1, 2, \dots, T \end{array} \right\} \quad (3)$$

Данная задача имеет каноническую форму,  $n + m + T + 1$  переменных и  $3T$  ограничений неравенств, включая условия неотрицательности переменных  $u_t, t = 1, 2, \dots, T$ .

Основной проблемой при применении ВМНМ является отсутствие общих формальных правил выбора весовых коэффициентов. Следовательно, данный подход требует дополнительных исследований.

ОМНМ-оценки задачи (1) можно получить из решения задачи

$$\begin{aligned} & (a_1^*, a_2^*, \dots, a_m^*, b_1^*, b_2^*, \dots, b_n^*) = \\ & \arg \min_{\substack{(a_1, a_2, \dots, a_m) \in \square^m \\ (b_1, b_2, \dots, b_n) \in \square^n}} \sum_{t=1}^T \rho \left( y_t - \sum_{j=1}^m a_j y_{t-j} - \sum_{j=1}^n b_j x_{tj} \right), \end{aligned} \quad (4)$$

Где  $\rho(\cdot)$  – выпуклая вверх монотонно возрастающая дважды непрерывно дифференцируемая функция, такая что  $\rho(0) = 0$ .

**Теорема 1.** Все локальные минимумы задачи ОМНМ-оценки коэффициентов уравнения авторегрессии принадлежат множеству

$$U = \left\{ \begin{array}{l} (a_1^{(k)}, a_2^{(k)}, \dots, a_m^{(k)}, b_1^{(k)}, b_2^{(k)}, \dots, b_n^{(k)}): \\ y_t = \sum_{j=1}^m a_j y_{t-j} + \sum_{j=1}^n b_j x_{tj}, \\ t \in \mathbf{k} = \{k_1, k_2, \dots, k_{m+n} : 1 \leq k_1 < k_2 < \dots < k_{m+n} \leq T\} \end{array} \right\}.$$

**Доказательство.** Множество  $U$  содержит решения всех возможных совместных систем  $m+n$  линейно независимых уравнений

$$y_t = \sum_{j=1}^m a_j y_{t-j} + \sum_{j=1}^n b_j x_{tj}, \quad t \in \mathbf{k}$$

с  $m+n$  неизвестными  $a_1, a_2, a_3, \dots, a_m, b_1, b_2, b_3, \dots, b_n$ . Если решение  $(a_1, a_2, a_3, \dots, a_m, b_1, b_2, b_3, \dots, b_n) \notin U$ , то для него существует  $\varepsilon$ -окрестность, в которой функция потерь непрерывна и выпукла вверх. Следовательно, такое решение не может быть локальным минимумом.

Теорема доказана.

Очевидно, что количество систем равно  $C_T^{m+n}$ . Таким образом, решение задачи (3) можно свести к выбору наилучшего из  $C_T^{m+n}$  решений систем линейных алгебраических уравнений.

С целью сокращения перебора в работах [5, 7, 8] установлена взаимосвязь между ОМНМ- и ВМНМ-оценками для задач регрессионного анализа и авторегрессионного анализа без экзогенных переменных. Это позволило свести задачу определения ОМНМ-оценок к итерационной процедуре с ВМНМ-оценками. Последние вычисляются путем решения соответствующей задачи линейного программирования. Аналогичный подход применим и в рассматриваемом здесь случае.

Связь между ВМНМ- и ОМНМ-оценками отражает следующая теорема.

**Теорема 2.** Пусть  $U$  – множество локальных экстремумов задачи [4], тогда:

(1) для любого набора весов  $\{p_t \geq 0\}_{t=1}^n$

$$\arg \min_{\substack{(a_1, a_2, \dots, a_m) \in \square^m \\ (b_1, b_2, \dots, b_n) \in \square^n}} \sum_{t=1}^n p_t \left| y_t - \sum_{j=1}^m a_j y_{t-j} - \sum_{j=1}^n b_j x_{tj} \right| \in U; \quad (5)$$

(2) для любого

$$(a_1^{(k)}, a_2^{(k)}, \dots, a_m^{(k)}, b_1^{(k)}, b_2^{(k)}, \dots, b_n^{(k)}) \in U$$

найдется набор весов  $\{p_t \geq 0\}_{t=1}^n$  такой, что

$$(a_1^*, a_2^*, a_3^*, \dots, a_m^*, b_1^*, b_2^*, \dots, b_n^*) \in$$

$$\arg \min_{\substack{(a_1, a_2, \dots, a_m) \in \square^m \\ (b_1, b_2, \dots, b_n) \in \square^n}} \sum_{t=1}^n p_t \left| y_t - \sum_{j=1}^m a_j y_{t-j} - \sum_{j=1}^n b_j x_{tj} \right|. \quad (6)$$

**Доказательство** первой части теоремы в сущности повторяет доказательство теоремы 1.

Справедливость второй части теоремы следует из того, что веса активной части ограничений можно считать ненулевыми, а веса неактивной части – нулевыми. В этом случае минимальное значение функции потерь равно нулю и достигается на решении выбранной системы уравнений. Теорема доказана.

Теоремы 1 и 2 дают способ определения весовых коэффициентов для задачи [4] линейного программирования и таким образом позволяют свести задачу [3] к решению последовательности задач линейного программирования (2).

### 3. Алгоритм нахождения ОМНМ-оценок

Непосредственное решение задачи [1], основанное на использовании теоремы 1, заключается в нахождении всех узловых точек и выбора из них в качестве решения той, которая обеспечит минимум целевой функции.

Такой переборный алгоритм требует решения  $C_T^{m+n}$  систем линейных уравнений порядка  $m+n$ , что при больших значениях  $T$  приводит к значительным вычислительным затратам.

Альтернативным является подход, основанный на сведении решения задачи [1] к решению последовательности задач [2] линейного программирования.

Рассмотрим возможный алгоритм, основанный на данном подходе.

### Алгоритм ОМНМ-оценка.

**Вход:** число измерений  $T$ ;

значения  $\{y_t\}_{t=0}^T$  зависимой переменной;

значения  $\left\{\{x_{ij}\}_{i=0}^T\right\}_{j=1}^n$  экзогенных переменных;

функция  $\rho(\cdot)$ .

**Выход:** оценка коэффициентов

$a_1, a_2, a_3, \dots, a_m, b_1, b_2, b_3, \dots, b_n$   
уравнения авторегрессии (1).

**Шаг 1.** Для всех  $t = 1, 2, \dots, n$  положить  $p_t := 1$ ;

$k := 0$ ;

$$\arg \min_{\substack{(a_1, a_2, \dots, a_m) \in \square^m \\ (b_1, b_2, \dots, b_n) \in \square^n \\ (u_1, u_2, \dots, u_t) \in \square^T}} \left\{ \begin{array}{l} \left( \begin{array}{l} (a_1^{(k)}, a_2^{(k)}, a_3^{(k)}, \dots, a_m^{(k)}) \\ (b_1^{(k)}, b_2^{(k)}, b_3^{(k)}, \dots, b_n^{(k)}) \\ (u_1^{(k)}, u_2^{(k)}, u_3^{(k)}, \dots, u_t^{(k)}) \end{array} \right) := \\ \left. \begin{array}{l} \sum_{t=1}^T p_t u_t : \\ -u_t \leq y_t - \sum_{j=1}^m a_j y_{t-j} - \sum_{j=1}^n b_j x_{tj} \leq u_t, \\ u_t \geq 0, t = 1, 2, \dots, T \end{array} \right\}.$$

**Шаг 2.** Для всех  $t = 1, 2, \dots, T$  положить  $p_t := \rho'(u_t^{(k)})$ ;

$k := k + 1$ ;

$$\arg \min_{\substack{(a_1, a_2, \dots, a_m) \in \square^m \\ (b_1, b_2, \dots, b_n) \in \square^n \\ (u_1, u_2, \dots, u_t) \in \square^T}} \left\{ \begin{array}{l} \left( \begin{array}{l} (a_1^{(k)}, a_2^{(k)}, a_3^{(k)}, \dots, a_m^{(k)}) \\ (b_1^{(k)}, b_2^{(k)}, b_3^{(k)}, \dots, b_n^{(k)}) \\ (u_1^{(k)}, u_2^{(k)}, u_3^{(k)}, \dots, u_t^{(k)}) \end{array} \right) := \\ \left. \begin{array}{l} \sum_{t=1}^T p_t u_t : \\ -u_t \leq y_t - \sum_{j=1}^m a_j y_{t-j} - \sum_{j=1}^n b_j x_{tj} \leq u_t, \\ u_t \geq 0, t = 1, 2, \dots, T \end{array} \right\}.$$

### Шаг 3.

Если

$$\left( \begin{array}{l} a_1^{(k)}, a_2^{(k)}, a_3^{(k)}, \dots, a_m^{(k)} \\ b_1^{(k)}, b_2^{(k)}, b_3^{(k)}, \dots, b_n^{(k)} \end{array} \right) \neq \left( \begin{array}{l} a_1^{(k-1)}, a_2^{(k-1)}, a_3^{(k-1)}, \dots, a_m^{(k-1)} \\ b_1^{(k-1)}, b_2^{(k-1)}, b_3^{(k-1)}, \dots, b_n^{(k-1)} \end{array} \right),$$

перейти на **Шаг 2**.

**Шаг 4.** Останов. Искомые значения равны

$$\left( \begin{array}{l} a_1^{(k)}, a_2^{(k)}, a_3^{(k)}, \dots, a_m^{(k)} \\ b_1^{(k)}, b_2^{(k)}, b_3^{(k)}, \dots, b_n^{(k)} \end{array} \right).$$

Обоснование результативности алгоритма дает следующая теорема.

**Теорема 3.** Если функция потерь  $\rho(\cdot)$  выпукла вверх, монотонно возрастает, непрерывно-дифференцируема на положительной полуоси, и удовлетворяет условию  $\rho'(0) = M < \infty$ , то последовательность

$$\left( \begin{array}{l} a_1^{(k)}, a_2^{(k)}, a_3^{(k)}, \dots, a_m^{(k)} \\ b_1^{(k)}, b_2^{(k)}, b_3^{(k)}, \dots, b_n^{(k)} \end{array} \right)$$

построенная алгоритмом **ОМНМ-оценка**, сходится к глобальному экстремуму задачи [1].

**Доказательство.** Из требований, наложенных на функцию  $\rho(\cdot)$  следует, что в любой точке  $u^{(k)}$  определена аппроксимация для

$$\rho(u) : v^{(u^{(k)})}(u) = \rho(u^{(k)}) - \rho'(u^{(k)}) \cdot u^{(k)} + \rho'(u^{(k)}) \cdot u, \quad (7)$$

являющаяся мажорантой, т.е.

$$\rho(u_k) = v(u_k), \quad (\forall u \neq u_k) (\rho(u) < v_{u^{(k)}}(u)). \quad (8)$$

Поэтому в соответствии с алгоритмом

$$\begin{aligned} & \sum_{t=1}^n \rho \left( \left| y_t - \sum_{j=1}^m a_j^{(k)} y_{t-j} - \sum_{j=1}^n b_j^{(k)} x_{tj} \right| \right) = \\ & \sum_{t=1}^n \left( \begin{array}{l} \rho \left( \left| y_t - \sum_{j=1}^m a_j^{(k)} y_{t-j} - \sum_{j=1}^n b_j^{(k)} x_{tj} \right| \right) - \\ p_t \cdot \left| y_t - \sum_{j=1}^m a_j^{(k)} y_{t-j} - \sum_{j=1}^n b_j^{(k)} x_{tj} \right| + \\ p_t \cdot \left| y_t - \sum_{j=1}^m a_j^{(k)} y_{t-j} - \sum_{j=1}^n b_j^{(k)} x_{tj} \right| \end{array} \right) \geq \\ & \sum_{t=1}^n \left( \begin{array}{l} \rho \left( \left| y_t - \sum_{j=1}^m a_j^{(k)} y_{t-j} - \sum_{j=1}^n b_j^{(k)} x_{tj} \right| \right) - \\ p_t \cdot \left| y_t - \sum_{j=1}^m a_j^{(k)} y_{t-j} - \sum_{j=1}^n b_j^{(k)} x_{tj} \right| \end{array} \right) + \\ & \min_{(a_1, a_2, a_3, \dots, a_m) \in \square^m} \sum_{t=1}^n \left( \begin{array}{l} p_t \cdot \left| y_t - \sum_{j=1}^m a_j y_{t-j} - \sum_{j=1}^n b_j x_{tj} \right| \right) = \\ \sum_{t=1}^n \left( \begin{array}{l} \rho \left( \left| y_t - \sum_{j=1}^m a_j^{(k)} y_{t-j} - \sum_{j=1}^n b_j^{(k)} x_{tj} \right| \right) - \\ p_t \cdot \left| y_t - \sum_{j=1}^m a_j^{(k)} y_{t-j} - \sum_{j=1}^n b_j^{(k)} x_{tj} \right| \end{array} \right) + \\ \sum_{t=1}^n \left( \begin{array}{l} p_t \cdot \left| y_t - \sum_{j=1}^m a_j^{(k+1)} y_{t-j} - \sum_{j=1}^n b_j^{(k+1)} x_{tj} \right| \right) = \\ \sum_{t=1}^n v^{(u^{(k)})} \left( \left| y_t - \sum_{j=1}^m a_j^{(k+1)} y_{t-j} - \sum_{j=1}^n b_j^{(k+1)} x_{tj} \right| \right) \geq \\ \sum_{t=1}^n \rho \left( \left| y_t - \sum_{j=1}^m a_j^{(k)} y_{t-j} - \sum_{j=1}^n b_j^{(k)} x_{tj} \right| \right). \end{aligned}$$

Первое равенство и следующее за ним неравенство очевидны.

Второе равенство – следствие изменения обозначения переменных на шаге 1.

Третье равенство – результат выбора весовых коэффициентов на шаге 2 и равенства (7).

Последнее неравенство – следствие соотношений (8).

Следовательно,

$$\begin{aligned} & \sum_{t=1}^n \rho \left( \left| y_t - \sum_{j=1}^m a_j^{(k)} y_{t-j} - \sum_{j=1}^n b_j^{(k)} x_{tj} \right| \right) = \\ & \sum_{t=1}^n v^{(u^{(k)})} \left( \left| y_t - \sum_{j=1}^m a_j^{(k+1)} y_{t-j} - \sum_{j=1}^n b_j^{(k+1)} x_{tj} \right| \right) \geq \\ & \sum_{t=1}^n \rho \left( \left| y_t - \sum_{j=1}^m a_j^{(k+1)} y_{t-j} - \sum_{j=1}^n b_j^{(k+1)} x_{tj} \right| \right), \end{aligned}$$

причем равенство достигается только при  $\rho(u_t^{(k)}) = \rho(u_t^{(k+1)})$  для всех  $t = 1, 2, \dots, T$  и для всех  $k = 1, 2, \dots$ .

Таким образом, последовательность

$$\left\{ \sum_{t=1}^n \rho \left( \left| y_t - \sum_{j=1}^m a_j^{(k)} y_{t-j} - \sum_{j=1}^n b_j^{(k)} x_{tj} \right| \right) \right\}_{k=0,1,\dots}$$

является монотонно убывающей и ограниченной снизу значением ноль, следовательно, она имеет единственную предельную точку.

Существование предельной точки последовательности

$$\left( \begin{array}{c} a_1^{(k)}, a_2^{(k)}, a_3^{(k)}, \dots, a_m^{(k)} \\ b_1^{(k)}, b_2^{(k)}, b_3^{(k)}, \dots, b_n^{(k)} \end{array} \right), r = 1, 2, \dots$$

следует из непрерывности и монотонности функции  $\rho(*)$ .

Предельная точка

$$\left( \begin{array}{c} a_1^*, a_2^*, a_3^*, \dots, a_m^* \\ b_1^*, b_2^*, b_3^*, \dots, b_n^* \end{array} \right)$$

построенная алгоритмом является точкой глобального минимума, т.к. для любого набора

$$\left( \begin{array}{c} a_1, a_2, a_3, \dots, a_m \\ b_1, b_2, b_3, \dots, b_n \end{array} \right)$$

и любого  $t = 1, 2, \dots, T$  имеет место следующая последовательность утверждений

$$\begin{aligned} & \sum_{t=1}^T \rho \left( \left| y_t - \sum_{j=1}^m a_j^* y_{t-j} - \sum_{j=1}^n b_j^* x_{tj} \right| \right) = \\ & \left( \sum_{t=1}^T v^{(u^*)} \left( \left| y_t - \sum_{j=1}^m a_j^* y_{t-j} - \sum_{j=1}^n b_j^* x_{tj} \right| \right) \leq \right) \\ & \left( \sum_{t=1}^T v^{(u^*)} \left( \left| y_t - \sum_{j=1}^m a_j y_{t-j} - \sum_{j=1}^n b_j x_{tj} \right| \right) \right) \Leftrightarrow \\ & \left( \sum_{t=1}^T \left( \rho' \left( \left| y_t - \sum_{j=1}^m a_j^* y_{t-j} - \sum_{j=1}^n b_j^* x_{tj} \right| \right) \times \right. \right. \\ & \left. \left. \left( \left| y_t - \sum_{j=1}^m a_j^* y_{t-j} - \sum_{j=1}^n b_j^* x_{tj} \right| \right) \right) \leq \right) \Leftrightarrow \\ & \left( \sum_{t=1}^T \left( \rho' \left( \left| y_t - \sum_{j=1}^m a_j^* y_{t-j} - \sum_{j=1}^n b_j^* x_{tj} \right| \right) \times \right. \right. \\ & \left. \left. \left( \left| y_t - \sum_{j=1}^m a_j y_{t-j} - \sum_{j=1}^n b_j x_{tj} \right| \right) \right) \right) \Leftrightarrow \\ & \left( \sum_{t=1}^T \left( \left| y_t - \sum_{j=1}^m a_j^* y_{t-j} - \sum_{j=1}^n b_j^* x_{tj} \right| \right) \leq \right) \\ & \left( \sum_{t=1}^T \left| y_t - \sum_{j=1}^m a_j y_{t-j} - \sum_{j=1}^n b_j x_{tj} \right| \right) \Rightarrow \\ & \left( \sum_{t=1}^T \rho \left( \left| y_t - \sum_{j=1}^m a_j^* y_{t-j} - \sum_{j=1}^n b_j^* x_{tj} \right| \right) \leq \right) \\ & \left( \sum_{t=1}^T \rho \left( \left| y_t - \sum_{j=1}^m a_j y_{t-j} - \sum_{j=1}^n b_j x_{tj} \right| \right) \right). \end{aligned}$$

Теорема 3 доказана.

Преимуществом предложенного алгоритма перед переборным является достаточно высокая скорость сходимости при эффективном использовании методов линейного программирования. Действительно, задача линейного программирования на шаге 2 для итерации  $k$  отличается от соответствующей задачи на шаге  $k-1$  только коэффициентами целевой функции, что позволяет в качестве начального базисного решения на текущей итерации использовать оптимальное базисное решение предыдущей итерации.

Особенностью нахождения уравнения авторегрессии высокого порядка является высокая чувствительность работы алгоритма к ошибкам округления. Устранить данную проблему можно используя безошибочное выполнение основных арифметических операций над полем рациональных чисел [9-10] и применение распараллеливания [11].

#### 4. Заключение

Для задач авторегрессионного анализа с экзогенными переменными установлена взаимосвязь обобщенного и взвешенного метода наименьших модулей, позволившая свести задачу определения ОМНМ-оценок к итерационной процедуре с ВМНМ-оценками.

#### Благодарности

Статья выполнена при поддержке Правительства РФ (Постановление №211 от 16.03.2013 г.), соглашение № 02.А03.21.0011.

#### Список используемых источников

1. Хьюбер П. Робастность в статистике. М.: Мир, 1984. 304 с.
2. Магнус Я.Р., Катышев П.К., Пересецкий А.А. Эконометрика. М.: Дело, 2004. 576 с.
3. Мудров В.И., Кушко В.Л. Методы обработки измерений. Квазиправдоподобные оценки. М.: Радио и связь, 1983. 304 с.
4. Тырсин А.Н. Робастное построение регрессионных зависимостей на основе обобщенного метода наименьших модулей // Записки научных семинаров ПОМИ, 2005. Т.328. С.236-250. <ftp://ftp.pdmi.ras.ru/pub/publicat/zns/v328/p236.ps.gz>
5. Панюков А.В., Тырсин А.Н. Взаимосвязь взвешенного и обобщенного методов наименьших модулей. // Известия Челябинского научного центра УрО РАН. 2007. № 1. С. 6-11. <http://elibrary.ru/item.asp?id=9572542&>
6. Panyukov A.V., Tyrsin A.N. Stable Parametric Identification of Vibratory Diagnostics Objects // Journal of Vibroengineering. 2008. Т. 10. № 2. С. 142-146.
7. Панюков А. В. Об устойчивом оценивании параметров авторегрессионных моделей на основе обобщенного метода наименьших модулей. // Вестник Новосибирского государственного университета экономики и управления. 2015. № 4. С. 339-346
8. Panyukov A. V., Tetin I. A., Mezal Ya., A. Linkage Between WLAD and GLAD and its Applications for Autoregressive Analysis // Information Technologies for Intelligent Decision Making Support (ITIDS'2016) Proceedings of the 4th International Conference. 2016. P. 224-227.
9. Panyukov A.V., Gorbik V.V. Using Massively Parallel Computations For Absolutely Precise Solution of the Linear Programming Problems // Automation and Remote Control. 2012. Т. 73. № 2. С. 276-290 . DOI: 10.1134/S0005117912020063
10. Panyukov A.V., Golodov V.A. Parallel Algorithms of Integer Arithmetic in Radix Notations for Heterogeneous Computation Systems With Massive Parallelism // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Математическое моделирование и программирование. 2015. Т. 8. № 2. С. 117-126.
11. Panyukov A.V., Golodov V. A. Software for exact computations in heterogeneous computing environment and its applications. // Information Technologies for Intelligent Decision Making Support (ITIDS'2016). Proceedings of the 4th International Conference. 2016. P. 89-93.

# Расчет параметров микромоделей транспортных потоков города Самара

Е.Р. Майоров  
Институт авиационной техники  
Самарский национальный  
исследовательский университет имени  
академика С.П. Королева Самара, Россия  
e-mail: benjamin1437@mail.ru

Л.А. Уварова  
Институт авиационной техники  
Самарский национальный исследовательский  
университет имени академика С.П. Королева  
Самара, Россия  
e-mail: ladauvarova08@gmail.com

О.Н. Сапрыкин  
Институт авиационной техники  
Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева  
Самара, Россия  
e-mail: saprykinon@gmail.com

## Аннотация<sup>1</sup>

Неэффективные транспортные системы — проблема, которая негативно отражается на социально-экономическом состоянии города. Для нахождения оптимального решения используют прикладные микроскопические системы моделирования, позволяющие визуализировать транспортные потоки в городе. Процесс построения микромоделей происходит путем разделения города на транспортные районы, составления матрицы корреспонденций и построения цепей корреспонденций. Затем полученные данные вносятся в систему моделирования, где можно получить модель, и сравнить ее с реальной обстановкой в городе.

## 1. Введение

С момента, когда человечество перешло из доиндустриального в индустриальное общество, начался процесс урбанизации. Большая часть населения начала концентрироваться в городах, что привело к увеличению их размеров. Из-за огромных размеров городов, в них существует множество проблем, одной из которых является проблема транспортной обстановки в городе. Происходит это из-за того, что увеличивается количество личных транспортных средств. Во многих городах Европы данную проблему решают улучшением общественного транспорта и льготами для людей, отказавшихся от личного транспорта. К сожалению, в

достаточно больших городах и мегаполисах применить это решение не всегда представляется возможным. Приемлемым способом является улучшение улично-дорожной сети города. В современных условиях высокой плотности транспортных потоков необходимо учитывать множество факторов при анализе транспортных потоков, что невозможно выполнить вручную. Данная проблема обычно решается при помощи такого автоматизированного метода поддержки принятия решений, как имитационное моделирование.

Подобными задачами занимались такие ученые как: М.Р. Якимов, Т.И. Михеева, Ю.Р. Михайлов. Якимов в своей работе [1] делает уклон на методы получения информации, необходимой для транспортного моделирования. Также он проводит анализ отдельных видов транспорта и моделирование транспортных спроса и предложений. Работы Михеевой [2] по моделированию транспортных процессов основаны на транспортной геоинформационной системе ITSGIS. Михайлов в своей работе [3] создал систему показателей уровня обслуживания, а так же методы оценки матриц корреспонденций. В этих исследованиях главным образом проводится усовершенствование моделей городов путем постоянного анализа их транспортных систем.

Главными задачами данной работы являются: создание модели транспортных процессов в городе Самара, максимально приближенную к реальности; создание универсального метода построения цепей корреспонденций для использования в программе транспортного моделирования SUMO.

---

Труды пятой всероссийской конференции  
"Информационные технологии интеллектуальной  
поддержки принятия решений", 16 - 19 мая, Уфа,  
Россия, 2017

## 2. Методы

Моделирование – это создание модели, характеристики которой максимально приближены к характеристикам объекта реального мира. В данном случае используется моделирование транспортных процессов. Данный способ позволяет без больших экономических затрат и физических усилий проверить целесообразность любых изменений на улично-дорожной сети.

На данный момент существует большое количество прикладных программ, позволяющих осуществить транспортное моделирование от макроскопического до микроскопического уровня детализации: VISSIM, MATSim, SUMO, T7F/TSIS, TRANSYT. Особенностью микроскопического моделирования является возможность моделирования поведения отдельных транспортных средств. В данной работе используется система микроскопического моделирования транспортных потоков SUMO.

Для наиболее точного моделирования необходимо решить 3 задачи: разбиение города на транспортные районы, построение матрицы корреспонденции [4] и построение цепей корреспонденции. В идеальной модели транспортных процессов транспортные районы являются такими районами, в пределах которых агент не использует транспорт для передвижения. В данной работе за транспортные районы были приняты административные районы города.

Одной из важнейших задач в транспортном моделировании является построение матрицы корреспонденций. Существует несколько классов построения матрицы корреспонденций. К первому классу относятся линейные модели, такие как модель грузовых железнодорожных перевозок. Ко второму классу относятся статистические модели, которые используются в пассажирских перевозках на разных видах транспорта. К третьему классу – гравитационные модели, а к четвертому – энтропийные.

Для построения матрицы корреспонденций была использована гравитационная модель, так как она хорошо описывает передвижение городского транспорта. Она была предложена В. Рейли [5]. Применительно к транспортной системе, в качестве тел выступают пункты, порождающие и поглощающие транспортные потоки, за массу тела принимается суммарный объем выезжающего и въезжающего транспортного потока. Физическое расстояние можно заменить любыми затратами, связанными с передвижением из одного транспортного района в другой. Транспортная гравитационная модель связывает интенсивность потока  $T_{ij}$  между полным числом отправок из  $i$ -ого района  $Q_i$  и прибытий в  $j$ -ый район  $D_j$  и затратами на передвижение между зонами  $i$  и  $j$  –  $c_{ij}$

$$T_{ij} = \frac{Q_i D_j}{c_{ij}^2} \quad i = 1, \dots, N, \quad j = 1, \dots, M,$$

где  $N$  – общее количество районов отправления,  $M$  – общее количество районов прибытия. В данной модели расстояние между районами считается как расстояние между центрами этих районов.

Построение цепей корреспонденций является сложной задачей, поскольку построение маршрутов для каждого агента в соответствии с матрицей корреспонденций нетривиально. Главной целью являлось создать универсальный метод, который подойдет к моделированию транспортных процессов любого города в программе SUMO.

Первым шагом является получение карты города. Её можно получить из картографических online-источников: Яндекс.Карты, GoogleMaps или OpenStreetMap [6]. Во многих случаях имеется возможность использовать формат данных xml. Его использование предпочтительно, поскольку позволяет применять стандартные средства чтения структурированных текстовых файлов с данными.

Следующим шагом является разбиение города на транспортные районы. Для этого был использован язык программирования Python [7] и библиотека GeoPandas. Данная библиотека позволяет работать и производить различные манипуляции с географической базой данных, в которой содержатся различные таблицы с исходными данными: названиями улиц, районов, дорог и т.д.

После получения базы данных с координатами дорог и районов, необходимо определить принадлежность дорог к определенному району. С помощью операции «overlay» из библиотеки GeoPandas можно выполнять различные наложения двух пространственных таблиц и визуализировать их. После этого создается общий файл, содержащий данные о принадлежности всех дорог в городе определенному району.

Следующим шагом является занесение полученных данных в программы OD2TRIPS и DUAROUTER. Данные программы содержат алгоритмы построения маршрутов для агентов. OD2TRIPS позволяет определить начальную и конечную точки пути, однако она не имеет возможности составлять маршрут по реально существующим дорогам. А программа DUAROUTER составляет путь, исходя из данных, полученных в OD2TRIPS и улично-дорожной сети. Данные программы дополняют друг друга для создания цепей корреспонденций.

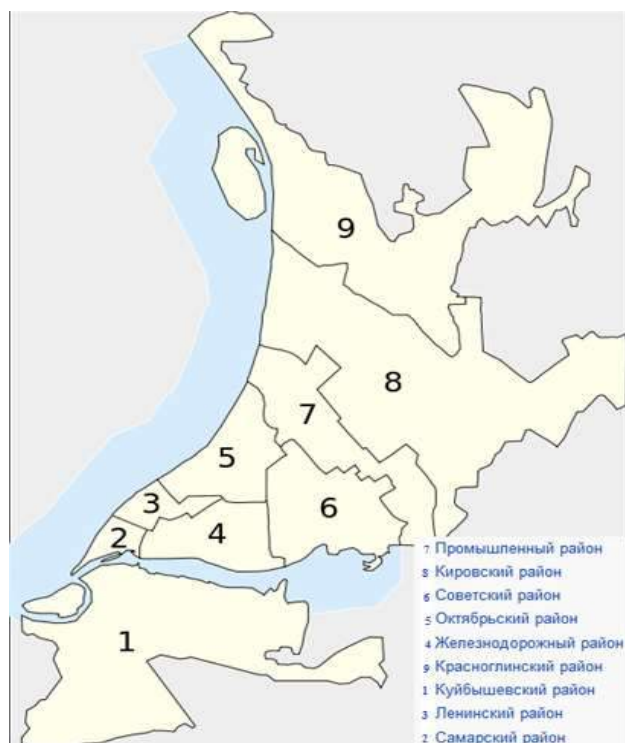
Заключительным шагом является занесение всех полученных данных в программу SUMO для визуализации процесса моделирования.

## 3. Результаты

Самара — достаточно большой город с обширной инфраструктурой. Население, по данным на 2012 год, составляет 1,17 миллиона человек [8].

Соответственно, как и у многих городов с количеством жителей более миллиона человек, имеется такая проблема, как многочисленные транспортные заторы, которые доставляют жителям неудобства и оказывают негативное влияние на социально-экономическое положение города в целом.

Для поиска оптимального решения предложена имитационная модель транспортных потоков города. В первоначальном варианте деление города на транспортные районы проведено по административным районам [9]. В итоге город разделен на 9 транспортных районов (Рис. 1).



**Рис.1. Разделение г. Самара на транспортные районы**

Построенная матрица корреспонденций (Рис. 2) показывает интенсивность транспортных потоков между полученными транспортными районами. Проанализировав полученную матрицу можно выявить несколько закономерностей:

1. Интенсивность между двумя районами напрямую зависит от количества жителей в этих транспортных районах. То есть чем больше жителей в районах, тем больше интенсивность между ними.
2. Интенсивность зависит от расстояния между двумя транспортными районами. Например, интенсивность между Куйбышевским районом и Красноглинским районом очень мала, так как они находятся на большом расстоянии друг от друга.
3. В данной матрице интенсивность внутри района равна 0, так как изначально была выдвинута гипотеза о том, что жители одного транспортного

района не используют общественный и личный транспорт при передвижении.

Для наглядности в таблице введено цветовое обозначение. Если интенсивность между районами низкая, то оттенок ближе к красному цвету. Если интенсивность между районами высокая, то оттенок ближе к зеленому.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0,00	124,40	142,96	117,09	203,55	98,79	58,88	135,55	17,03
2	124,40	0,00	319,98	81,56	122,94	41,30	36,60	78,33	8,27
3	142,96	319,98	0,00	388,54	494,69	112,89	116,45	264,51	24,93
4	117,09	81,56	388,54	0,00	930,95	669,62	571,22	2237,89	90,71
5	203,55	122,94	494,69	930,95	0,00	477,22	214,82	533,88	39,79
6	98,79	41,30	112,89	669,62	477,22	0,00	930,27	1523,08	126,35
7	58,88	36,60	116,45	571,22	214,82	930,27	0,00	3314,59	654,36
8	135,55	78,33	264,51	2237,89	533,88	1523,08	3314,59	0,00	407,83
9	17,03	8,27	24,93	90,71	39,79	126,35	654,36	407,83	0,00

**Рис.2. Матрица корреспонденций**

Далее необходимо определить дороги, принадлежащие каждому району. Применение разработанных программных сценариев на языке программирования Python позволило выделить дороги, входящие в каждый район. После использования созданного метода построения цепей корреспонденций и занесения всех полученных, данных в программу SUMO было запущено моделирование транспортных потоков [10] в городе (Рис. 3).

На рисунке 3 представлен скриншот из программы SUMO. Желтыми треугольниками обозначены агенты– транспортные средства. В данной программе можно изменять их цвет в зависимости от их характеристик (скорость, время ожидания, уровень выброса вредных веществ). Агенты могут обмениваться информацией друг с другом посредством габаритных огней, обозначающих торможение или поворот. На каждом участке дороги указаны возможные движения для агентов (например, может ли он ехать вперед или сделать разворот). На карте так же указывается пути движения рельсовых видов транспорта. На регулируемых перекрестках отображаются сигналы светофоров.

#### 4. Обсуждение результатов

Созданный метод построения цепи корреспонденции является полностью рабочим. Уже в данный момент его можно использовать для создания модели транспортных процессов в других городах. Главным достоинством данной модели является то, что для создания цепей корреспонденций необходим минимальный набор данных: транспортные районы, количество жителей и организаций в каждом транспортном районе.

На данный момент полученная модель имеет ряд недостатков. Многие участки дорог не используются агентами. Подавляющее большинство перемещаются

по Московскому шоссе и Заводскому шоссе, и лишь некоторые агенты перемещаются по маленьким улицам. Агенты исчезают и появляются на границе Куйбышевского района. Дальнейшее развитие

проекта лежит в решении задач верификации имитационной модели на реальных данных и повышения точности модели.



Рис.3. Модель транспортных потоков в программе SUMO

## 5. Заключение

В процессе работы был получен универсальный метод создания цепей корреспонденций, были изучены различные модели матриц корреспонденций, разработан код на языке программирования Python для разбиения города на транспортные районы и определения принадлежности участков дорог к районам. В дальнейшем будет проведено сравнение реальной интенсивности потока и смоделированной, для анализа правильности построения модели. Данная модель будет усовершенствоваться путем уменьшения транспортных районов к минимальным размерам. Так же будет улучшаться матрица корреспонденции путем получения более точных данных о жителях города: количество организаций и количество людей работающих в них; количество учащихся в школах и институтах и т.д. В улучшенной модели будет применен более точный метод построения матрицы корреспонденций – энтропийный метод. Так же рассматривается применение кластерного анализа при разбиении города на транспортные районы.

### Список используемых источников

1. Якимов М.Р. Транспортное планирование: создание транспортных моделей городов: монография / М.Р. Якимов. – М.: Логос, 2013. – 188 с

2. Михеева Т.И., Михеев С.В., Рудаков И.А. Моделирование дорожного движения в интеллектуальной транспортной системе // Актуальные проблемы автотранспортного комплекса: межвузовский сборник научных статей. 2010. С. 141-151
3. Михайлов А.Ю. Научные основы проектирования улично-дорожных сетей URL: [http://transport.istu.edu/downloads/auto\\_mikhailov.pdf](http://transport.istu.edu/downloads/auto_mikhailov.pdf) (19.03.2017)
4. Сапрыкин О.Н., Майоров Е.Р., Уварова Л.А. Выделение транспортных районов на улично-дорожной сети города для построения микроскопической модели транспортных потоков //Перспективные информационные технологии: сборник научных статей. 2017. С. 704-707
5. Reilly W.J. The law of retail gravitation // New York. — 1931.
6. Карта города Самара [электронный ресурс]/openstreetmaps.org. — URL: <https://www.openstreetmap.org/#map=5/51.500/-0.100> (19.03.2017)
7. Уэс Маккинли. Python и анализ данных/ Пер. с англ. Слинкин А. А. - М.: ДМК Пресс, 2015. - 482 с.
8. Wilson A. G. A statistical theory of spatial distribution models // Transportation Research. 1967. Vol. 1. P. 253-270.



9. Районы Самары [электронный ресурс] /  
www.samru.ru - URL:  
http://www.samru.ru/society/putevod/43899.html  
(19.03.2017)
10. Saprykin, O. Multilevel Modelling of Urban  
Transport Infrastructure / O. Saprykin, O. Saprykina //

In Proceedings of the 1st International Conference on  
Vehicle Technology and Intelligent Transport  
Systems (VEHITS-2015). Portugal, Lisbon:  
SCITEPRESS, 2015. – pp. 78-82. DOI:  
10.5220/0005458300780082

# Критерии подобия составляющих элементов модельного эксперимента для изучения процесса загрузки шихтовых материалов в дуговой сталеплавильной печи

В.А. Ошурков  
Кафедра вычислительной техники и  
программирования  
Магнитогорский государственный  
технический университет им Г.И. Носова  
Магнитогорск, Россия  
e-mail: [oshurkov92@mail.ru](mailto:oshurkov92@mail.ru)

О.С. Логунова  
Кафедра вычислительной техники и  
программирования  
Магнитогорский государственный  
технический университет им Г.И. Носова  
Магнитогорск, Россия  
e-mail: [logunova66@mail.ru](mailto:logunova66@mail.ru)

Д.В. Чистяков  
Консом Групп  
Магнитогорск, Россия  
e-mail: [info@konsom.ru](mailto:info@konsom.ru)

## Аннотация<sup>1</sup>

Целью исследования является выбор критериев подобия для изучения процесса загрузки шихтовых материалов в дуговой сталеплавильной печи на физической модели. В качестве объекта исследования выбрана крупнотоннажная дуговая сталеплавильная печь (180 т). Предмет исследования: имитационная модель процесса загрузки шихтовых материалов в дуговой сталеплавильной печи. В работе приводится описание составляющих элементов процесса загрузки шихтовых материалов в дуговой сталеплавильной печи с указанием свойств; обоснование выбора критериев подобия для составляющих элементов модельного эксперимента по изучению процесса загрузки шихтовых материалов в дуговой сталеплавильной печи; ранжирование критериев подобия по важности в условиях поставленной задачи. Место проведения исследований: ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова». Методы научного исследования: методы системного анализа, метод конкретизации. Результаты исследования предполагаются для определения составляющих элементов (прототипов), участвующих в модельном эксперименте по изучению процесса загрузки шихтовых материалов в дуговой

сталеплавильной печи по критериям физического подобия. В качестве основных критериев (в рамках поставленной задачи) были выделены следующие критерии физического подобия: совка, загрузочной бады и рабочего пространства, дуговой сталеплавильной печи, металлического лома.

## 1. Введение

Модельный эксперимент представляет собой процесс получения новых знаний об исследуемом объекте, а в качестве специальных средств экспериментального исследования выступает физическая (материальная) модель реального объекта, т.е. изучение аналогичного явления производится на модели меньшего масштаба [1,2].

Свойства модели (размеры, физическая природа моделирующих элементов, выбор материалов, способы и цели ее последующего исследования) должны быть максимально приближенными к свойствам (размеры, упругость и так далее) реального объекта. Для этого применяются теоретические средства, среди которых наиболее популярными являются критерии теории подобия. Теория подобия позволяет всестороннее рассмотреть реальный объект и выделить наиболее важные критерии подобия, в рамках поставленной задачи, и необходимость их повторения на физической модели. Дальнейшее изучение показало, что не существует единого списка критериев подобия для составляющих элементов процесса загрузки шихтовых материалов в дуговой сталеплавильной печи, но имеются работы [3,4,5], в которых приводится описание критериев теории подобия в конкретных предметных областях.

---

Труды пятой всероссийской конференции "Информационные технологии интеллектуальной поддержки принятия решений", 16 - 19 мая, Уфа, Россия, 2017

Процесс загрузки шихтовых материалов в дуговой сталеплавильной печи является трудоемким и дорогостоящим процессом. В большинстве случаев проведение натурального эксперимента не является возможным по причине высоких температур для используемых материалов и окружающей среды. Сложность проведения натурального эксперимента определяют необходимость в синтезе критериев подобия для построения модели по изучению натурального процесса. Это определяет цель исследования – выбор критериев подобия для исследования процесса загрузки шихтовых материалов в дуговой сталеплавильной печи на физической модели. В качестве объекта исследования выбрана крупнотоннажная дуговая сталеплавильная печь (180 т). Предмет исследования: имитационная модель процесса загрузки шихтовых материалов в дуговой сталеплавильной печи.

## 2. Составляющие элементы модельного эксперимента для изучению процесса загрузки шихтовых материалов в дуговой сталеплавильной печи

Процесс загрузки шихтовых материалов в дуговой сталеплавильной печи состоит из следующих этапов [6,7,8]:

- загрузка металлического лома (шихта) в дуговую сталеплавильную печь;
- расплавление шихты;
- заливка чугуна в дуговую сталеплавильную печь;
- проведение окислительного и восстановительного процессов;
- выпуск стали.

В процессе загрузки шихтовых материалов в дуговой сталеплавильной печи участвуют следующие реальные объекты [6,9,10]:

1. Совок. Первый емкостный объект, в который загружается материал (металлический лом). Сок имеет следующие параметры:
  - длина – 11,2 м;
  - высота – 3,31 м;
  - ширина верхней части – 2,62 м;
  - ширина нижней части 1,75 м;
  - радиус открытого конца – 1,67 м.
2. Загрузочная бадья. Представляет собой емкость, в которую выгружаются материалы из совка. После чего производится открытие нижних створок и загрузка шихты в корпус сталеплавильной печи. Загрузочная бадья имеет следующие параметры:
  - диаметр – 6,1 м;

- высота – 6,425 м.
3. Рабочее пространство дуговой сталеплавильной печи. Представляет собой емкость, в которой производится расплавление шихты. Рабочее пространство дуговой сталеплавильной печи имеет следующие параметры:
    - диаметр – 7,1 м;
    - высота – 4,64 м.
  4. Металлический лом. Отходы металлургического производства, предназначенные для плавки и, как следствие, получения жидкой стали. Металлический лом условно делится на следующие виды:
    - мелкий лом (стружка), длина которого доходит до 0,5 м.
    - лом средних размеров, длина которого варьируется от 0,5 до 1,5 м.
    - габаритный лом, длина которого составляет от 1,5 м.

Необходимо определить критерии теории подобия выделенных реальных объектов натурального процесса для последующего формирования подобных им физических (материальных) моделей.

## 2. Критерии подобия составляющих элементов модельного эксперимента для изучения процесса загрузки шихтовых материалов в дуговой сталеплавильной печи

Анализ литературы [3,4,5] позволил определить параметры для построения критериев теории подобия и провести их классификацию в соответствии со схожими признаками. Классификатор параметров для построения критериев представлен в таблице 1.

**Таблица 1. Классификатор параметров для построения критериев**

Классификатор	Наименование параметра
Геометрические свойства	Длина сторон
	Высота сторон
	Площадь
	Ширина
	Диаметр
	Координаты реального объекта
	Координаты физической модели
Теплофизические свойства	Линейный размер
	Деформация объектов
	Масса объекта
	Электромагнитная инерция
	Индуктивность
	Тепловая энергия
	Сила (тяжести, трения, инерции)

Критерии подобия составляющих элементов модельного эксперимента для изучения процесса загрузки шихтовых материалов в дуговой сталеплавильной печи

Классификатор	Наименование параметра
	Активное сопротивление
	Инертность объекта
	Упругость
	Скорость движения объекта
	Время
	Жесткость объекта
	Ёмкость объекта
	Удалённость от состояния равновесия
	Движение объекта
	Гравитационная связь объектов
	Импульс объекта
	Давление внутри объекта
	Плотность жидкости
	Скорость течения жидкости
	Теплопроводность
	Сопротивление

Представленные в таблице 1 параметры для построения критериев являются общими. Для дальнейшего исследования была выделена группа «Геометрические свойства», в которой были определены наиболее важные критерии. Исходные данные для ранжирования: количество экспертов – 5; количество критериев – 10. Результаты приведены в таблице 2.

**Таблица 2. Ранжирование параметров для построения критериев**

Наименование параметра	Весовой коэффициент
Длина сторон	0,65
Высота сторон	0,61
Площадь	0,08
Ширина	0,55
Диаметр	0,49
Радиус	0,49
Координаты реального объекта	0,07
Координаты физической модели	0,09
Линейный размер	0,08

Наиболее важными, с точки зрения процесса загрузки шихтовых материалов в дуговой сталеплавильной печи, оказались следующие параметры для построения критериев:

- длина сторон;
- высота сторон;
- ширина;
- диаметр;
- радиус.

На основании параметров были построены критерии подобия составляющих элементов модельного эксперимента.

Критерий физического подобия совка можно представить в виде отношения между высотой и длиной совка (1):

$$K_c = \frac{H_c}{L_c} \quad (1)$$

где  $K_c$  – критерий подобия совка;  $H_c$  – высота совка, м;  $L_c$  – длина совка, м.

Критерий физического подобия загрузочной бадьи и рабочего пространства дуговой сталеплавильной печи можно представить в виде отношения между высотой и диаметрами объектов (2,3):

$$K_{зб} = \frac{H_з}{D_з} \quad (2)$$

где  $K_{зб}$  – критерий подобия загрузочной бадьи;  $H_з$  – высота загрузочной бадьи, м;  $D_з$  – диаметр загрузочной бадьи, м.

$$K_{рп} = \frac{H_п}{D_п} \quad (3)$$

где  $K_{рп}$  – критерий подобия загрузочной бадьи;  $H_п$  – высота загрузочной бадьи, м;  $D_п$  – диаметр загрузочной бадьи, м.

Критерий физического подобия металлического лома можно представить в виде отношения между высотой рабочего пространства печи и длиной металлического лома (4):

$$K_{мл} = \frac{H_п}{L_л} \quad (4)$$

где  $K_{мл}$  – критерий подобия металлического лома;  $H_п$  – высота загрузочной бадьи, м;  $L_л$  – длина металлического лома, м.

Значения критериев представлены в таблице 3.

**Таблица 3. Значения критериев подобия составляющих элементов**

Критерий подобия	Значение
$K_c$	0,3
$K_{зб}$	1,05
$K_{рп}$	0,65
$K_{мл}$ (мелкий лом)	от 45 до 10
$K_{мл}$ (средних размеров)	от 9,5 до 3,5
$K_{мл}$ (габаритный)	от 3 до 1,5

#### 4. Заключение

Результаты исследования предполагаются для определения составляющих элементов (прототипов), участвующих в модельном эксперименте по изучению процесса загрузки шихтовых материалов в дуговой сталеплавильной печи по критериям физического подобия.

## Благодарности

Авторы доклада благодарят экспертов ОАО «ММК» и Консом Групп за содействие в проведении исследования.

## Список используемых источников

1. Технический словарь Том III. — 2014 [Электронный ресурс]. URL: <http://www.tnspb.ru/v-pomoshh-ehkspeditoru/raschet-zagruzki-transportnogo-sredstva.html> (дата обращения: 17.03.2017).
2. Место моделей в структуре эксперимента. Модельный эксперимент. — 2016 [Электронный ресурс]. URL: <http://texts.news/filosofiya-nauki-knigi/mesto-modeley-strukture-eksperimenta-modelnyiy-32845.html> (дата обращения: 17.03.2017).
3. Тихонов А.И. Основы теории подобия и моделирования: (электрические машины): учебное пособие / А.И. Тихонов // Иваново: ИГЭУ, 2011. 132 с.
4. Воронцов К.В. Лекции по методам оценивания и выбора моделей // *Forecsys*. 2007. URL: <http://www.ccas.ru/frc/papers/vo-ron04twim.pdf> (дата обращения: 17.03.2017).
5. Дульнев Г.Н. Электронный учебник по дисциплине: Механика жидкостей и газов // Образование, технологии, университет. 2012. URL: [http://de.ifmo.ru/bk\\_netra/page.php?tutindex=6&index=16&layer=2](http://de.ifmo.ru/bk_netra/page.php?tutindex=6&index=16&layer=2) (дата обращения: 17.03.2017).
6. Логунова О.С. Планирование модельных экспериментов для изучения процессов загрузки дуговой сталеплавильной печи / О.С. Логунова, В.А. Ошурков, А.Н. Панов, В.В. Павлов // *Современные тенденции развития науки и технологий*. 2016. № 12-4. С. 60-68.
7. Logunova O.S. Integrated system structure of intelligent management support of multistage metallurgical processes / O.S. Logunova, I.I. Matsko, I.A. Posochov // *Vestnik of Nosov Magnitogorsk state technical university*. 2013. – № 5. – Pp. 50 – 55.
8. Pavlov V.V. Charge melting materials selection procedure for EAF to work in power saving mode / V.V. Pavlov, O.S Logunova // *World Applied Sciences Journal*. 2014. – Т. 31. – № 8. – Pp. 1502-1507.
9. Логунова О.С. Моделирование риска обвалов шихты при загрузке крупногабаритного лома в электродуговую сталеплавильную печь / О.С. Логунова, В.В. Павлов, Ю.А. Ивин, С.В. Пехтерев, И.В. Павлов // *Сталь*. 2012. № 9. С. 76-79.
10. Павлов В.В. Влияние фракционного состава металлолома на показатели работы дуговой сталеплавильной печи / В.В. Павлов, Ю.А. Ивин, С.В. Пехтерев, И.И. Мацко, О.С. Логунова // *Электрометаллургия*. 2011. № 11. С. 2-6.
11. Logunova O.S. Empirical model of residual element content in steel when three component burden is used in the process of steel production in electric arc furnace / O.S Logunova, V.V. Pavlov, I.I. Matsko., I.V. Pavlov // *Journal of Mining World Express*. – 2012. – Т. 1. – № 1. Pp. 21-26.
12. Logunova O.S. Stabilizing the residual contents of elements in steel by using alternative materials in the metallic charge of an arc steelmaking furnace / O.S Logunova, V.V. Pavlov // *Metallurgist*. 2014. – Т. 58. – № 3-4. – Pp. 299-305.

# Закономерности накопления погрешности округления при решении некоторых вычислительных задач

В.П. Житников  
Факультет информатики робототехники  
Уфимский государственный авиационный  
технический университет  
Уфа, Россия  
e-mail: zhitnik@mail.ru

А.А Соколова  
Факультет информатики робототехники  
Уфимский государственный авиационный  
технический университет  
Уфа, Россия  
e-mail: alexandrakrasich@gmail.com

К.О. Шерыхалин  
Факультет информатики робототехники  
Уфимский государственный авиационный технический университет  
Уфа, Россия  
e-mail: konstantin-sherykhalin@yandex.ru

## Аннотация<sup>1</sup>

Для анализа результатов вычислительного процесса применяется численная фильтрация конечной последовательности вычисленных данных, полученной для различных сеток с возрастающим числом узловых точек. Исследовано явление формирования детерминированных закономерностей погрешности округления, имеющей изначально квазислучайную природу.

## 1. Введение

Ранее было проведено исследование составляющих погрешностей различных численных методов с помощью фильтрации [1 – 4], в том числе при решении смешанной задачи для уравнения теплопроводности [5]. Поведение погрешности округления в данной задаче намного сложнее, чем в задачах численного дифференцирования, интегрирования функций и решения задачи Коши для обыкновенных дифференциальных уравнений, в которых эта погрешность представлялась случайной величиной. В численном решении задачи для уравнения теплопроводности на фоне случайной природы погрешности округления возникали закономерные ее зависимости от пространственной координаты, времени и числа узлов сетки  $n$ .

В данной работе получены результаты исследования при раздельном изменении чисел узлов и временных слоев, не рассматривавшиеся ранее. Это позволяет более подробно изучить особенности возникающих закономерностей.

Труды пятой всероссийской конференции "Информационные технологии интеллектуальной поддержки принятия решений", 16 - 19 мая, Уфа, Россия, 2017

## 2. Постановка задачи

Рассмотрим одномерное уравнение теплопроводности

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} = \frac{\partial u}{\partial t}, \quad (0 < x < 1, 0 < t \leq T). \quad (1)$$

Начальное условие

$$u(x, 0) = f(x), \quad (0 < x < 1), \quad (2)$$

краевые условия

$$u(0, t) = \varphi_1(t), \quad u(1, t) = \varphi_2(t), \quad (t \geq 0). \quad (3)$$

Задача решается методом конечных разностей. На плоскости  $(x, t)$  строится сетка с шагом  $h$  по переменной  $x$  ( $x_i = ih$ ,  $i = 0, \dots, n$ ,  $h = 1/n$ ) и с шагом  $\tau$  по переменной  $t$  ( $t_j = j\tau$ ,  $j = 0, \dots, m$ ,  $\tau = T/m$ ). Применяются явная и неявная схемы.

Обозначим  $\lambda = \tau/h^2$  (число Куранта).

Рассматривается 3 варианта краевых и начальных условий

$$I) \quad f(x) = \sin(\pi x), \quad \varphi_1(t) = \varphi_2(t) = 0, \quad (4)$$

$$II) \quad f(x) = 0, \quad \varphi_1(t) = 1, \quad \varphi_2(t) = 0, \quad (5)$$

$$III) \quad f(x) = 1 - x, \quad \frac{\partial u}{\partial x}(0, t) = \frac{\partial u}{\partial x}(1, t) = 0. \quad (6)$$

При исследовании величина  $n$  изменялась от значения  $n=5$  до  $n=5120$  последовательным удвоением текущего значения. При сохранении значения числа Куранта  $\lambda$  величина  $m$  выбиралась согласно формуле  $m = Tn^2/\lambda$ .

### 3. Исследование зависимостей погрешности округления при раздельном изменении параметров $m$ и $n$

Результаты, описанные в [5], получались при синхронном изменении  $m$  и  $n$  (при сохранении значения числа куранта  $\lambda$ ). Для выяснения вопроса, с каким параметром  $m$  и  $n$  непосредственно связано увеличение погрешности округления, необходимо провести дополнительные исследования.

Теоретическая оценка погрешности, приведенная в [6], имеет вид

$$\|v_{i,j}\|_{h,\tau} \leq T \|\xi\|_{h,\tau}, \quad (7)$$

где  $\xi$  – возмущение правой части;  $v$  – отклик на возмущение;  $\|z\|_{h,\tau} = \max_{0 \leq j \leq m} \max_{0 \leq i \leq n} |z_{i,j}|$  – норма.

Для явной схемы эта оценка справедлива при  $\lambda \leq 1/2$ , для неявной – без ограничения на значение  $\lambda$ .

Заметим, что теоретическая оценка сверху не зависит от  $m$  и  $n$ . Поэтому эта оценка справедлива только для погрешности численного метода с учетом того, что погрешность метода уменьшается с уменьшением  $h$  и  $\tau$  как  $\xi = O(\tau) + O(h^2)$ . Конкретно погрешность метода определяется второй производной (1) по  $x$  и первой по  $t$ . В любом случае, для условий I и II эта погрешность приблизительно пропорциональна  $\sin(\pi x)$ , для условий III –  $\cos(\pi x)$ . Кроме того, оценка (7) показывает монотонно растущую зависимость с увеличением  $T$ . В [5] было отмечено, что зависимость погрешности метода от  $x$  и  $T$  качественно совпадает с зависимостью погрешности округления от тех же параметров, с учетом того, что погрешность метода убывает, а погрешность округления возрастает при увеличении  $m$  и  $n$ . При этом абсолютная погрешность метода при условиях типа III действительно увеличивается пропорционально  $T$ , а при условиях типа I убывает при возрастании  $T$ , (рис. 1, а, линии 1 соответствуют  $x=0.05$ , линии 2 –  $x=0.5$ ). Отличие графика на рис. 1, б от прямой (при линейном возрастании относительной погрешности) в конце диапазона (при больших  $t$ ) объясняется наличием погрешности округления, сравнимой с погрешностью метода.

Поскольку погрешность округления добавляется к результату вычисления по разностной формуле (не умножается на  $\tau$ ), оценка (7) принимает вид

$$\|v\|_{h,\tau} \leq T \|\xi\|_{h,\tau} + m \|\zeta\|_{h,\tau}, \quad (8)$$

где  $\zeta$  – погрешность округления.

При сохранении постоянного значения числа Куранта и подстановке  $m \sim n^2$  в (8) можно получить зависимость погрешности округления как  $cn^2$ . Однако это не объясняет всех фактов.

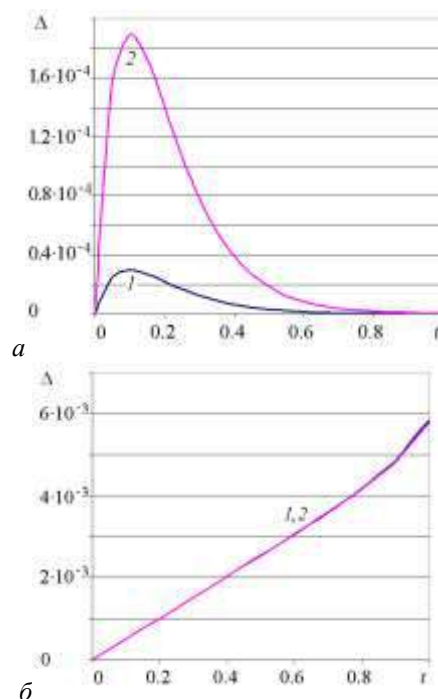
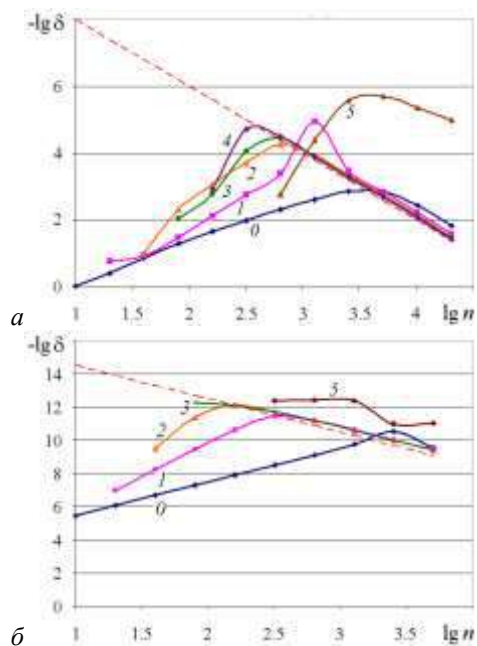


Рис. 1. Зависимости погрешности численного метода от времени: а – абсолютной; б – относительной. Условия типа I,  $\lambda=0.5$ ,  $T=1$

Для выяснения, какой параметр  $m$  или  $n$  влияет на величину погрешности округления, представляет интерес изменить зависимость  $m$  от  $n$ , что нетрудно сделать для неявной схемы. Результаты решения задачи с помощью неявной схемы с условиями II при  $m=2n$  для  $x=0.1$ ,  $T=0.1$  при применении метода итераций для решения системы линейных алгебраических уравнений (СЛАУ) приведены в [5]. В отличие от результатов решения с помощью явной схемы, имеют место как четные, так и нечетные составляющие погрешности метода  $c_1 n^{-k_1}$ . Это объясняется линейным ростом  $m$  (в связи с чем  $\lambda = 0.5n^2/m \rightarrow \infty$ ) и первым порядком аппроксимации первой частной производной по  $t$ . Что касается погрешности округления, то она имеет такие же свойства, как и в явной схеме (квадратично растет с увеличением  $n$ ). Разница заключается в том, что погрешность решения системы уравнений итерационным методом ограничивалась некоторым значением  $\varepsilon$ . При  $\varepsilon = 10^{-7}$  (рис. 2, а) именно это значение, а не длина мантиссы машинного слова (около 16-ти десятичных разрядов), определяло коэффициент зависимости  $cn^2$  (хотя  $c$  совпадает с  $\varepsilon$  только приближенно, но имеет место приближенно прямо пропорциональная зависимость от  $\varepsilon$ ). При  $\varepsilon = 10^{-16}$  (рис. 2, б) результаты практически совпадают с результатами, полученными при решении СЛАУ методом прогонки. Дальнейшее уменьшение пороговой величины  $\varepsilon$  не приводит к увеличению точности, так как ограничивается длиной машинного слова. Закономерный характер этой

зависимости подтверждается результатом ее отфильтровывания (кривые 5 на рис. 2).

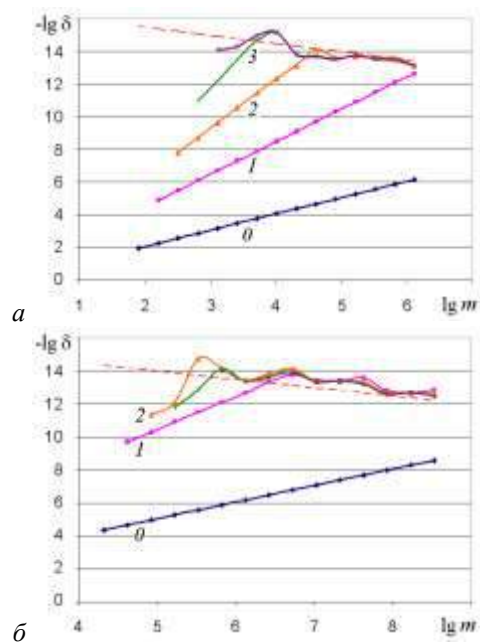


**Рис. 2.** Оценки погрешностей для условий типа II для неявной схемы с итерационным решением системы уравнений: *a* –  $\varepsilon = 10^{-9}$ ; *б* – при  $\varepsilon = 10^{-16}$ . Пунктирные прямые  $y = 10 - 2 \cdot \lg n$  и  $y = 16.5 - 2 \cdot \lg n$

Поскольку искомая функция зависит от двух переменных, то для дальнейших исследований можно применить фильтрацию двух видов последовательностей: сначала рассчитанных значений искомого  $u$  при изменении  $m$  для нескольких фиксированных  $n$ , что теоретически соответствует  $\lambda \rightarrow 0$ . В результате этого получается последовательность отфильтрованных значений, соответствующих разным  $n$ . Затем проводится фильтрация полученной последовательности по  $n$ .

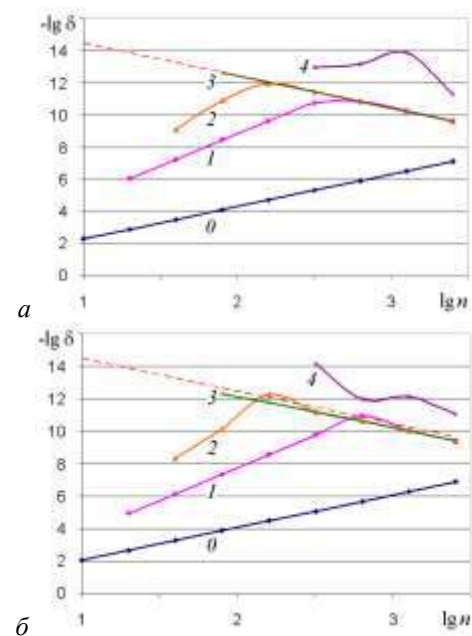
На рис. 3 и 4 приводятся результаты решения задачи для условий типа I. В качестве времени окончания счета выбрано значение  $T = 0.05$  (при этом отличие решения от предельного при  $t \rightarrow \infty$  составляет примерно 30 %). Погрешности оценивались в точке  $x = 0.2$ .

Результаты фильтрации по  $m$  для двух значений  $n$  приведены на рис. 3. Точность, полученная при фильтрации, ограничивается статистической зависимостью погрешности округления  $y = 16 - \frac{1}{2} \lg m$ . Тем самым, при фиксированном  $n$  происходит то же самое, что и при численном интегрировании функций и при решении задачи Коши для обыкновенных дифференциальных уравнений. При  $n = 320$  (рис. 3, б) ограничение по числу Куранта приводит к ограничению сверху шага по времени  $\tau$  (ограничению снизу числа  $m$ ). Это требует дополнительных затрат ресурсов. В результате максимальная полученная точность достигает 13-14 значащих цифр.



**Рис. 3.** Зависимость значений погрешностей решения смешанной задачи от шага по времени  $\lg m = \lg b/\tau$ : *a* –  $n = 20$ ; *б* –  $n = 320$ . Явная схема. Пунктирная прямая  $y = 16 - \frac{1}{2} \lg m$

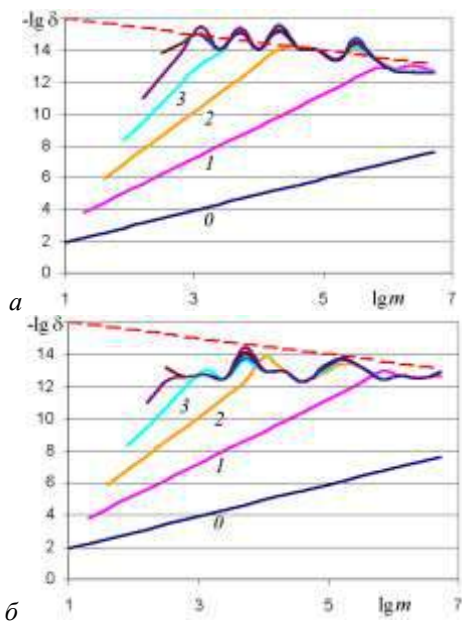
На рис. 4 приведены результаты фильтрации отфильтрованных по  $m$  значений, соответствующих разным  $n$  (на рис. 4, *a* для искомого  $u(x, t)$ , на рис. 4, *б* для производной  $\partial u / \partial x$ ). Результат качественно совпадает с тем, что было получено ранее при фиксированном  $\lambda$  – это главный вывод.



**Рис. 4.** Зависимость значений погрешностей решения смешанной задачи от шага по  $x$ : *a* – искомого  $u(x, t)$ ; *б* – производной  $\partial u / \partial x$ . Явная схема. Пунктирная прямая  $y = 16.5 - 2 \cdot \lg n$



Рассмотрим применение раздельной фильтрации при применении неявной схемы. Поскольку эта схема является безусловно устойчивой, способ увеличения точности с помощью раздельной фильтрации более эффективен, чем при применении явной схемы. На рис. 5, 6 показаны результаты фильтрации по  $m$  для 2-х значений  $n$ . В отличие от рис. 3 диапазон изменения  $m$  одинаков для всех  $n$ . При реализации программы в Фортране для MS DOS погрешность округления приближенно описывается зависимостью  $y=16.5-0.5 \cdot \lg m$ , характерной для квазислучайных величин, как и для явной схемы.

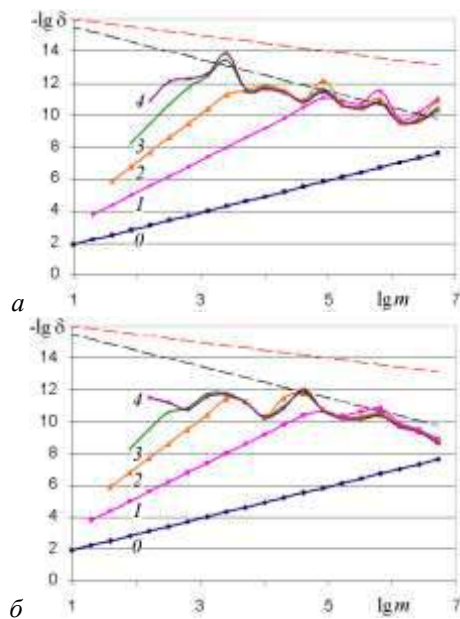


**Рис. 5. Зависимость значений погрешностей решения смешанной задачи от шага по времени ( $\lg m = \lg b/\tau$ ): а –  $n=10$ ; б –  $n=160$ .**

**Неявная схема. MS DOS.**  
Пунктирная прямая  $y=16.5-0.5 \cdot \lg m$

Но, в отличие от явной схемы, при реализации программы в Фортране для Windows погрешность округления описывается зависимостью  $y=16.5-\lg m$  (рис. 6). Это, возможно, объясняется различным использованием возможностей сопроцессора.

На рис. 5, б заметно ограничение точности (наличие порога) при больших  $n$ . Зависимость этих пороговых значений точности от  $n$  (пунктирная кривая  $E$  на рис. 7 а) близка к прямой  $y=16.5-2 \cdot \lg n$ , т.е.  $\delta \sim n^2$ . Эта зависимость хорошо приближает погрешность округления при фильтрации по  $n$  последовательности эталонных значений, полученных на этапе фильтрации по  $m$  (рис. 7, а). По-видимому, квадратичная зависимость объясняется погрешностью округления при вычислении второй разностной производной.

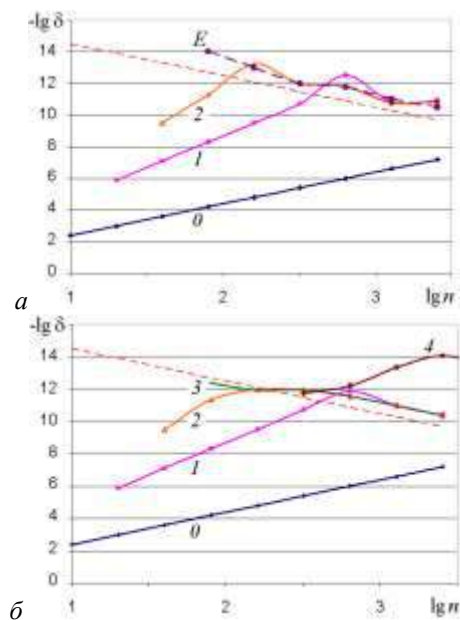


**Рис. 6. Зависимость значений погрешностей решения смешанной задачи от шага по времени ( $\lg m = \lg b/\tau$ ): а –  $n=10$ ; б –  $n=1280$ .**

**Неявная схема. Windows.**

Пунктирные прямые  $y=16.5-0.5 \cdot \lg m$  и  $y=16.5-\lg m$

В отличие от MS DOS при применении Фортрана для Windows на втором этапе фильтрации (по  $n$ ) результаты (рис. 7, б) качественно совпадают с результатами работы явной схемы (см. рис. 4). После отфильтровывания составляющих погрешности метода остается детерминированная зависимость  $y=16.5-2 \cdot \lg n$ , которая может быть подвергнута фильтрации для достаточно больших  $n$  (кривая 4 на рис. 7, б).



**Рис. 7. Зависимость погрешностей решения задачи от шага по  $x$ : а – MS DOS; б – Windows. Неявная схема. Пунктирная прямая  $y=16.5-2 \cdot \lg n$**

Отметим, что алгоритм решения задачи по неявной схеме по сравнению с явной содержит дополнительный элемент – повторное решение СЛАУ. Теоретический анализ вычислительного процесса вызывает некоторые вопросы. Матрица системы уравнений, решаемой на каждом временном шаге, имеет меру обусловленности  $\nu > 1$  [6]. Но в этом случае может возникнуть экспоненциальный рост погрешности при повторных шагах по времени  $\delta \sim 10^{-M} \nu^m$  ( $M$  – длина мантиссы). Этого не наблюдается в реальном вычислительном процессе (см. рис. 5, 6).

#### 4. Заключение

Следует отметить, что представленная выборка иллюстраций является лишь малой долей из множества проведенных экспериментов с помощью разных трансляторов и с использованием различных размеров машинных слов. На разных трансляторах даже одного языка программирования могут получаться количественно разные результаты с сохранением качественного совпадения. При этом для коротких (4-байтных) слов при больших  $n$  возникает более грубая погрешность отсечения слагаемых, которые становятся по абсолютной величине меньше, чем единица последнего разряда второго слагаемого. Причина возникновения или невозникновения явления формирования закономерности не объясняется экспериментом, и выяснение ее является задачей будущих исследований.

#### Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 17-07-00356).

#### Список используемых источников

1. Житников В.П., Шерыхалина Н.М. Моделирование течений несжимаемой жидкости с применением методов многокомпонентного анализа. – Уфа: Гилем. 2009. – 336 с.
2. Житников В.П., Шерыхалина Н.М. Многокомпонентный анализ численных результатов. LAP LAMBERT Academic Publishing, Germany, 2012. – 389 с.
3. Житников В.П., Шерыхалина Н.М. Применение многократной фильтрации при численном решении задач методами теории функций комплексного переменного // Вычислительные технологии. Т. 18. №1, 2013. С. 15–24.
4. Zhitnikov V. P., Sherykhalina N.M., Sokolova A.A. Problem of Reliability Justification of Computation Error Estimates. Mediterranean Journal of Soc. Sci., 2015, Vol. 6, No. 2. P. 65 – 78.
5. Житников В. П., Шерыхалина Н. М., Муксимова Р. Р. Особенности процесса накопления погрешностей при решении задач для простейших уравнений математической физики конечноразностными методами // Сиб. журн. вычисл. математики. 2016. Т. 19, №2, – С. 139 – 152.
6. Волков Е. А. Численные методы. 2-е изд. испр. и доп. – Москва: Наука, 1988. – 248 с.

# О мощности эйлерова OE-покрытия плоского графа

Т.А. Макаровских  
Институт естественных и точных наук  
Южно-Уральский государственный университет  
Челябинск, Россия  
e-mail: [Makarovskikh.T.A@susu.ru](mailto:Makarovskikh.T.A@susu.ru)

## Аннотация<sup>1</sup>

В статье рассматриваются оценки количества цепей в эйлеровом OE-покрытии плоского графа цепями. Под эйлеровым OE-покрытием понимается такое минимальное по мощности упорядоченное множество реберно-непересекающихся цепей, для которых выполнено условие отсутствия пересечения внутренности цикла из ребер пройденной части маршрута с ребрами непройденной части. В соответствии с теоремой Листинга-Люка минимальная мощность покрытия графа реберно-непересекающимися цепями равна  $k$ , где  $2k$  – число вершин нечетной степени. Ранее автором показано, что мощность эйлерова OE-покрытия плоского графа без мостов равна  $k$ , если хотя бы одна вершина нечетной степени инцидентна внешней грани и  $k+1$ , в противном случае. В данной работе показано, что точная верхняя оценка мощности эйлерова OE-покрытия равна  $2k$ .

## 1. Введение

Лазерная резка является одной из основных технологий, используемых при обработке листового материала. Таким образом, задача определения траектории движения режущего инструмента является актуальной. Задача определения траектории заключается в определении точной последовательности резов. Развитие автоматизации производства привело к появлению технологического оборудования с числовым программным управлением, используемого для резки листовых материалов. Новые технологии позволяют осуществлять вырезание по произвольной траектории с достаточной для практики точностью. Преимуществом при использовании лазерной резки является минимальность таких показателей как ширина реза и термические деформации. Целью задачи определения маршрута резки является поиск такого пути режущего инструмента, при котором выполняются условия предшествования, а время, затраченное на вырезание, минимально [1].

---

Труды пятой всероссийской конференции "Информационные технологии интеллектуальной поддержки принятия решений", 16 - 19 мая, Уфа, Россия, 2017

В терминах задачи лазерной резки под *условием предшествования* понимается требование к тому, чтобы отрезанная от листа часть не требовала дополнительных разрезов (т.е. все элементы вложенного контура должны быть вырезаны прежде, чем внешний контур окажется полностью вырезанным).

В [1] и [2] приводится классификация задач маршрутизации режущего инструмента и отмечается, что технологии ECP (Endpoint Cutting Problem) и ICP (Intermittent Cutting Problem) за счет возможности совмещения границ вырезаемых деталей позволяют сократить расход материала, длину резки, и длину холостых проходов [2]. Проблемы уменьшения отходов материала и максимального совмещения фрагментов контуров вырезаемых деталей решаются на этапе составления раскройного плана. В [1] отмечено, что для решения задачи ECP известен алгоритм [3], который находит траекторию движения режущего инструмента и минимизирует число точек врезки. Для решения этой задачи авторами статьи [3] использован аппарат теории графов, а предложенный в работе алгоритм строит дополнительные ребра между вершинами нечетной степени графа. Однако приведенный в [3] алгоритм позволяет решить задачу только для случая планарной достройки плоского эйлерова графа.

В [4,5] отмечено, что применение технологий ECP и ICP в системе технологической подготовки процессов раскроя плоских деталей предполагает следующие этапы.

*Составление раскройного плана*, заключающееся в нахождении такого варианта размещения вырезаемых деталей на прямоугольном листе, при котором минимизируются отходы и максимизируется длина совмещенных элементов контуров вырезаемых деталей.

*Абстрагирование раскройного плана до плоского графа*. Для определения последовательности резки фрагментов раскройного плана не используется информация о форме детали, поэтому все кривые без самопересечений и соприкосновений на плоскости, представляющие форму деталей, интерпретируются в виде ребер графа, а все точки пересечений и соприкосновений представляются в виде вершин графа. Для анализа выполнения технологических ограничений необходимо введение дополнительных функций

на множестве вершин, граней и ребер полученного графа.

*Решение задачи построения маршрутов с ограничениями*, наложенными на порядок обхода ребер. Данные ограничения непосредственно вытекают из технологических ограничений, наложенных на порядок вырезания деталей: отрезанная от листа часть не должна требовать дополнительных разрезов, должны отсутствовать пересечения резов, необходимо оптимизировать длину холостых переходов, минимизировать количество точек врезки и т.д.

*Составление программы управления процессом раскрой* на основе маршрута, найденного с помощью алгоритма решения абстрагированной задачи маршрутизации. Здесь выполняется обратная замена абстрактных ребер плоского графа системой команд раскройному автомату, обеспечивающей движение по кривым на плоскости, соответствующим форме вырезаемой детали.

В данной статье приводится алгоритм решения проблемы маршрутизации при вырезании деталей, когда раскройный план представлен плоским неэйлеровым графом, не имеющим вершин нечетной степени, инцидентных внешней грани.

## 2. Кодирование плоского графа

Для решения поставленной задачи раскройный план необходимо представить в виде плоского графа [6]. Моделью раскройного листа будем считать плоскость  $S$ , моделью раскройного плана – плоский граф  $G$  с внешней гранью  $f_0$  на плоскости  $S$ . Для плоского графа  $G$  далее через  $E(G)$  будем обозначать множество его ребер, представляющих плоские жордановы кривые с попарно непересекающимися внутренностями, гомеоморфные отрезкам. Через  $V(G)$  обозначим множество граничных точек этих кривых.

Топологическое представление плоского графа  $G = (V, E)$  на плоскости  $S$  с точностью до гомеоморфизма определяется заданием для каждого ребра  $e \in E$  следующих функций [4–6]:

- $v_k(e)$ ,  $k = 1, 2$  – вершины, инцидентные ребру  $e$ ;
- $f_k(e)$  – грань, находящаяся справа при движении по ребру  $e$  от вершины  $v_k(e)$  к вершине  $v_{3-k}(e)$ ,  $k = 1, 2$ ;
- $l_k(e)$  – ребро, инцидентное грани  $f_{3-k}(e)$  и  $v_k(e)$ ,  $k = 1, 2$ ;
- $r_k(e)$  – ребро, инцидентное грани  $f_k(e)$  и  $v_k(e)$ ,  $k = 1, 2$ .

Поскольку функции  $v_k(e)$ ,  $f_k(e)$ ,  $l_k(e)$ ,  $r_k(e)$ ,  $k = 1, 2$ , построенные на ребрах графа  $G = (V, E)$ , для каждого ребра определяют инцидентные вершины,

инцидентные грани и смежные ребра, то справедливо следующее

**Утверждение 1.** Функции  $v_k(e)$ ,  $f_k(e)$ ,  $l_k(e)$ ,  $r_k(e)$ ,  $k = 1, 2$  построенные на ребрах графа  $G = (V, E)$  определяют плоский граф  $G = (V, E)$  с точностью до гомеоморфизма.

Далее будем считать, что все рассматриваемые плоские графы представлены указанными функциями. Пространственная сложность такого представления будет  $O(|E| \cdot \log_2 |V|)$ .

## 3. ОЕ-покрытие плоского графа

Как было отмечено выше, за модель раскройного листа принимается плоскость  $S$ , модель раскройного плана – плоский граф  $G$  с внешней гранью  $f_0$  на плоскости  $S$ . Для любой части графа  $J \subseteq G$  (части траектории движения режущего инструмента) обозначим через  $\text{Int}(J)$  теоретико-множественное объединение его внутренних граней (объединение всех связанных компонент  $S$ ,  $J$ , не содержащих внешней грани). Тогда  $\text{Int}(J)$  можно интерпретировать как отрезанную от листа часть. Множества вершин, ребер и граней графа.

Начальную часть маршрута в графе  $G$  будем рассматривать как часть графа, содержащую все вершины и ребра, принадлежащие маршруту. Это позволяет формализовать требование к маршруту режущего инструмента как условие отсутствия пересечения внутренних граней любой начальной части маршрута в заданном плоском графе  $G$  с ребрами его оставшейся части [7]. Такие маршруты будем называть маршрутами с упорядоченным охватыванием [8] (или для краткости ОЕ-маршрутами, где ОЕ – от англ. “ordered enclosing”).

**Определение 1** [7]. Цепь  $C = v_1 e_1 v_2 e_2 \dots v_k$  в плоском графе  $G$  имеет упорядоченное охватывание (является ОЕ-цепью), если для любой его начальной части  $C_l = v_1 e_1 v_2 e_2 \dots e_l$ ,  $l \leq (|E|)$  выполнено условие

$$\text{Int}(C_l) \cap G = \emptyset.$$

**Определение 2** [8]. Упорядоченная последовательность реберно-непересекающихся ОЕ-цепей

$$C^0 = v^0 e_1^0 v_1^0 e_2^0 \dots e_{k_0}^0 v_{k_0}^0, \quad C^1 = v^1 e_1^1 v_1^1 e_2^1 \dots e_{k_1}^1 v_{k_1}^1, \dots,$$

$$C^{n-1} = v^{n-1} e_1^{n-1} v_1^{n-1} e_2^{n-1} \dots e_{k_{n-1}}^{n-1} v_{k_{n-1}}^{n-1},$$

покрывающая граф  $G$  и такая, что

$$(\forall m : m < n), \quad \left( \bigcup_{l=0}^{m-1} \text{Int}(C^l) \right) \cap \left( \bigcup_{l=m}^{n-1} C^l \right) = \emptyset$$

называется маршрутом с упорядоченным охватыванием (ОЕ-маршрутом).

Построение *OE*-маршрута графа  $G$  решает поставленную задачу раскроя. Наибольший интерес представляют маршруты с минимальным числом цепей, поскольку переход от одной цепи к другой соответствует холостому проходу режущего инструмента.

**Определение 3.** Маршрут, содержащий минимальную по мощности упорядоченную последовательность реберно-непересекающихся *OE*-цепей в плоском графе  $G$  будем называть *эйлеровым маршрутом с упорядоченным охватыванием* (эйлеровым *OE*-маршрутом), а составляющие его *OE*-цепи – *эйлеровым OE-покрытием*.

Для плоского неэйлерова графа без мостов справедлива следующая теорема.

**Теорема 1** [9]. Для плоского графа  $G=(V, E)$  без мостов, заданного на плоскости  $S$ , существует такое множество ребер  $M:(M \cap S) \setminus V = \emptyset$ , что граф  $\mathcal{G}=(V, E \cup M)$  является эйлеровым и в нем существует эйлеров цикл  $C = v_1 e_1 v_2 e_2 \dots e_n v_1$ ,  $n = |E| + |M|$ , для любой начальной части которого  $C_l = v_1 e_1 v_2 e_2 \dots v_l$ ,  $l \leq |E| + |M|$  выполнено условие  $\text{Int}(C_l) \cap G = \emptyset$ .

Доказательство теоремы конструктивно и дает результативность алгоритма *OE-Cover* [9].

Рассмотрим произвольный плоский связный граф. В этом случае справедлива следующая теорема об оценке мощности эйлерова *OE*-покрытия.

**Теорема.** Пусть  $G$  плоский связный граф,  $V_{\text{odd}}(G)$  – множество вершин нечетной степени графа  $G$ , тогда для мощности  $N$  эйлерова *OE*-покрытия графа  $G$  имеет место неравенство

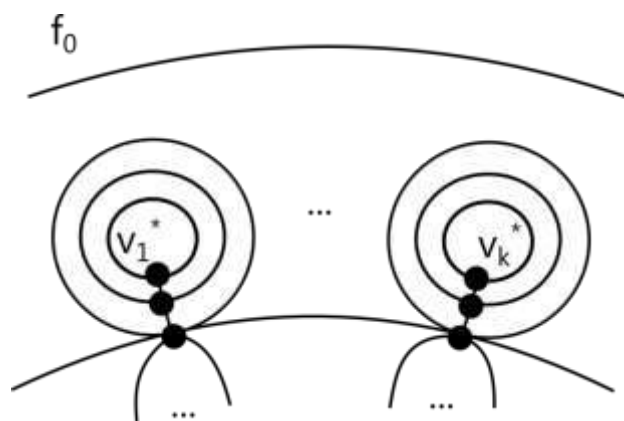
$$k = \frac{|V_{\text{odd}}(G)|}{2} \leq N \leq |V_{\text{odd}}(G)| = 2k.$$

**Доказательство.** Из теоремы Листинга-Люка следует, что нижняя оценка не может быть меньше  $k$ . Эта граница достигается для графов без мостов, имеющих хотя бы одну вершину нечетной степени, инцидентную внешней грани (см. алгоритм *OE-Cover*). Так, в [9] предложен алгоритм построения упорядоченной последовательности цепей, удовлетворяющей условию упорядоченного охватывания и покрывающей граф без мостов не более чем  $k+1$  цепями. Маршруты, которые реализуют построенное покрытие, содержат дополнительные ребра между концом текущей цепи и началом последующей.

Достижимость верхней оценки иллюстрирует пример, приведенный на рисунке 1.

Действительно, любая из вершин нечетной степени  $v_1^*, v_2^*, \dots, v_{2k}^*$  может быть только началом покрывающей *OE*-цепи, так как маршрут, заканчивающийся в любой из этих вершин, не может быть *OE*-маршрутом.

Таким образом, для указанного примера мощность эйлерова *OE*-покрытия (т.е. наименьшего по мощности) не меньше величины  $2k$ .



**Рис.1.** Пример графа, в котором все вершины нечетной степени должны быть началом покрывающей *OE*-цепи

Для доказательства, что  $2k$  является точной верхней оценкой мощности эйлерова *OE*-покрытия, опишем процесс построения *OE*-покрытия, в котором каждая из вершин нечетной степени является началом цепи.

Алгоритм параллельный. Организуем  $2k$  процессов, которые стартуют в вершинах  $v_1^*, v_2^*, \dots, v_{2k}^*$ . Начнем построение *OE*-цепей с помощью процедуры *ParallelFormChain()* из вершин  $v_1^*, v_2^*, \dots, v_{2k}^*$ . Для синхронизации процессов используется глобальная переменная *cur\_rank*. Процедура ждет продолжение построения цепи, если ранг текущего ребра оказывается ниже *cur\_rank*.

#### Процедура *ParallelFormChain*

**Внешняя переменная:** *cur\_rank* – синхронизатор по рангам ребер;

**Входные данные:**  $w$  – первая вершина цепи;

**Выходные данные:**  $v$  – последняя вершина текущей цепи

$v \leftarrow w$ ;  $e \leftarrow Q(v)$ ;

**Do**

$e_1 = \arg \max_{e \in Q(v)} \text{rank}(e)$  ;

$e_2 = \arg \max_{e \in Q(v): f_1(e)=f_2(e)} \text{rank}(e)$  ;

**\|** Найти ребро максимального ранга, по возможности не являющееся мостом

**If**  $\text{rank}(e_1) = \text{rank}(e_2)$

$e = e_2$  ;

**Else**

$e = e_1$  ;

```

EndIf
Wait ( rank( $e$ ) =  $cur\_rank$  );
If (  $e \in E(G)$  )
     $E(G) \leftarrow E(G) \setminus \{e\}$ ;  $\parallel$  Удалить ребро  $e$  и объединить грани, разделенные ребром  $e$ 
    If  $v = v_1(e)$ 
        REPLACE( $e$ );
         $\parallel$  Перестановка индексов функций ребра  $e$  с  $k$  на  $3-k$ ,  $k=1,2$ .
    EndIf
     $Trail_w \leftarrow Trail_w \cup \{e\}$ ;
     $v \leftarrow v_1(e)$ ;
EndIf
While ( ( $v \notin V_{odd}$ )  $\wedge$  ( $Q(v) \neq \emptyset$ ) );
Return  $v$ ;
EndProcedure

```

На каждом этапе будем добавлять по одному ребру в каждую из этих цепей.

Каждый из запущенных процессов вернет либо вершину нечетной степени, либо вершину, инцидентную внешней грани. После окончания данных процессов необходимо упорядочить полученные цепи по убыванию ранга стартовой вершины  $v_1^*, v_2^*, \dots, v_{2k}^*$ . Сказанное выше можно обобщить в алгоритме Parallel OE-Cover.

```

Алгоритм Parallel OE-Cover
Входные данные:  $G = (V, E)$  - плоский связный граф;  $V_{odd} \subseteq V$  - множество вершин нечетной степени графа  $G$ ;
Выходные данные:  $Trail$  - OE-покрытие как упорядоченный массив ребер.
Initiate();
Order ();
SortOdd ();  $\parallel$  Сортировка вершин нечетной степени по убыванию их ранга
For each (  $w \in V_{odd}$  ) DoParallel
     $\parallel$  Синхронизация процессов
     $cur\_rank \leftarrow \max_{v \in V_{odd}} rank(Q(v))$ ;
     $\parallel$  Построение OE-цепи
    FormChain(  $w, v$  );
EndFor

```

```

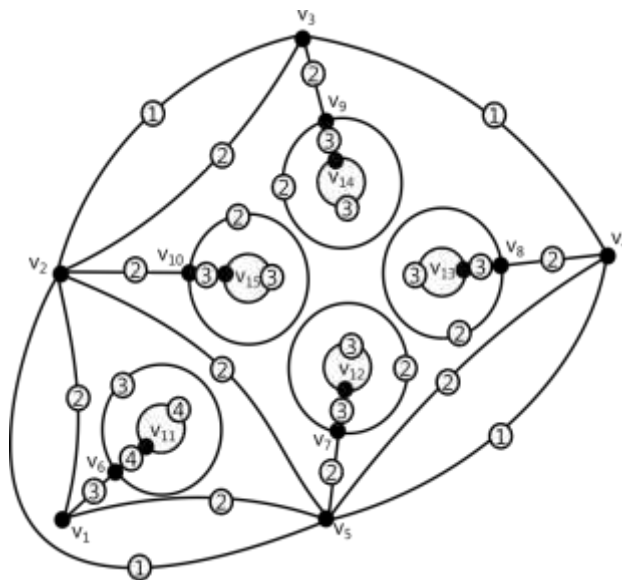
 $Trail \leftarrow Trail(v_1) \bullet Trail(v_2) \bullet \dots \bullet Trail(v_{2k})$ ;
End

```

Таким образом, будет построено не более, чем  $2k$  цепей.

**Теорема доказана.**

Рассмотрим граф, приведенный на рисунке 2.



**Рис.2. Пример графа для демонстрации работы алгоритма Parallel OE-Cover. Для каждого ребра указан его ранг**

Выполнение алгоритма Parallel OE-Cover можно представить в виде следующей таблицы.

$cur\_rank$	$P_1$	$P_2$	$P_3$	$P_4$	$P_5$
4	$v_{11}$	—	—	—	—
4	$v_{11}$	—	—	—	—
3	$v_6$	$v_{12}$	$v_{13}$	$v_{14}$	$v_{15}$
3	$v_6$	$v_{12}$	$v_{13}$	$v_{14}$	$v_{15}$
2	$v_1$	$v_7$	$v_8$	$v_9$	$v_{10}$
2	—	$v_7$	$v_8$	$v_9$	$v_{10}$
2	—	$v_5$	$v_4$	$v_3$	$v_2$
2	—	$v_1$	$v_5$	$v_2$	$v_5$
2	—	$v_2$	—	—	—
1	—	$v_5$	$v_4$	$v_3$	—
1	—	—	$v_3$	—	—

Всего будет запущено шесть процессов по числу вершин нечетной степени. Первым начнется постро-

ение цепи из вершины  $v_{11}$  максимального ранга. Остальные процессы будут дожидаться, когда ранг текущего ребра совпадет со значением  $cur\_rank$ . Так, на третьей итерации алгоритма стартует еще четыре процесса из вершин  $v_{12}$ ,  $v_{13}$ ,  $v_{14}$  и  $v_{15}$ . Шестой процесс, который должен стартовать из вершины  $v_1$ , не будет начат, так как эта вершина будет достигнута первым процессом, и она станет концевой для цепи, построенной этим процессом. Так, в результате работы процессов будет построено пять *ОЕ*-цепей, которые, будучи упорядоченными в соответствии с убыванием ранга начальной вершины, дадут эйлерово *ОЕ*-покрытие графа, представленного на рисунке 2. Следовательно, построенное покрытие представляет собой последовательность цепей:

$$C_1 = v_{11}v_{11}v_6v_6v_1; C_2 = v_{12}v_{12}v_7v_7v_5v_1v_2v_5;$$

$$C_3 = v_{14}v_{14}v_9v_9v_3v_2v_3; C_4 = v_{15}v_{15}v_{10}v_{10}v_2v_5;$$

$$C_5 = v_{13}v_{13}v_8v_8v_4v_5v_4v_3.$$

#### 4. Заключение

Таким образом, показано, что мощность эйлерова *ОЕ*-покрытия для произвольного плоского связного графа удовлетворяет неравенству

$$k = \frac{|V_{odd}(G)|}{2} \leq N \leq |V_{odd}(G)| = 2k.$$

На мощность покрытия существенное влияние оказывает наличие мостов в графе. При их отсутствии достигается нижняя граница, в случае существования вершин нечетной степени, инцидентных внешней грани; либо, если таких вершин нет, мощность покрытия на единицу выше нижней границы.

#### Благодарности

Статья выполнена при поддержке Правительства РФ (Постановление №211 от 16.03.2013 г.), соглашение № 02.A03.21.0011.

#### Список используемых источников

1. Dewil, R., Vansteenwegen, P., Cattrysse, D. A review of cutting path algorithms for laser cutters // Interna-

tional Journal Adv Manuf. Technol., 2015. Volume 87, Pages 1865–1884. DOI 10.1007/s00170-016-8609-1.

2. Dewil, R., Vansteenwegen, P., Cattrysse, D., Laguna, M., Vossen, T. An improvement heuristic framework for the laser cutting tool path problem // International Journal of Production Research, 2015. Volume 53, Issue 6, Pages 1761–1776.
3. Manber U., Israni S. Pierce point minimization and optimal torch path determination in flame cutting// J. Manuf. Syst. Vol 3(1), 1984, p. 81-89.
4. Makarovskikh T., Savitskiy E. Algorithms for constructing resource-saving cutting machines // Procedia Engineering. 2015. Vol. 129. P. 781-786. DOI: 10.1016/j.proeng.2015.12.104
5. Makarovskikh T.A., Panyukov A.V., Savitskiy E.A. Mathematical Models and Routing Algorithms for CAM of Technological Support of Cutting Processes: ScienceDirect IFAC-PapersOnLine 49-12. 2016. P. 821–826. DOI: 10.1016/j.ifacol.2016.07.876.
6. Макаровских Т.А., Савицкий Е.А. Абстрагирование раскройного плана до плоского графа для эффективного решения задачи вырезания деталей / Вестник Уфимского государственного авиационного технического университета. 2015. Т. 19. № 3 (69). С. 190-196.
7. Panioukova, T.A. Algorithms for Construction of Ordered Enclosing Traces in Planar Eulerian Graphs / T.A. Panioukova, A.V. Panyukov // The International Workshop on Computer Science and Information Technologies' 2003, Proceedings of Workshop, Ufa, September 16–18, 2003/ Ufa State Technical University. – Ufa, 2003. – Vol. 1. – P. 134–138.
8. Panyukova T. Chain sequences with ordered enclosing. – Journal of Computer and System Sciences International, 2007, Vol. 46, No. 1; 10. – P. 83–92.
9. Панюкова Т.А. Цепи с упорядоченным охватыванием в плоских графах// Дискретный анализ и исследование операций. Новосибирск: Часть 2. 2006. Т.13, No. 2, С. 31–43.

# Управление контентом агрегативных учебных модулей на основе метода структурирования изображений

Н.С. Минасова  
Факультет информатики робототехники  
Уфимский государственный авиационный  
технический университет  
Уфа, Россия  
e-mail: minasova@mail.ru

С.В. Тархов  
Факультет информатики робототехники  
Уфимский государственный авиационный  
технический университет  
Уфа, Россия  
e-mail: tarkhov@inbox.ru

Л.М. Тархова  
Механический факультет  
Башкирский государственный аграрный университет  
Уфа, Россия  
e-mail: tarkhova@inbox.ru

## Аннотация<sup>1</sup>

Рассмотрены модели и методы адаптивного управления контентом агрегативных учебных модулей в электронных информационно-образовательных системах, позволяющие реализовать многовариантные сценарии обучения при изучении графических инженерных дисциплин, а также других дисциплин, читаемых в вузе на технических направлениях подготовки и специальностях, в учебном материале которых содержится большое количество сложных изображений, требующих детального изучения. Описан метод структурирования изображений (чертежей деталей и изделий, схем и структурограмм алгоритмов, рисунков технических объектов и др.) с целью последующей реализации адаптивного управления в системах электронного обучения с использованием многовариантных сценариев со свободными переходами по контенту. Приведены примеры практической реализации описанных моделей и методов адаптивного управления контентом агрегативных учебных модулей на основе структурирования изображений и применения многовариантных сценариев.

## 1. Введение

Современное наукоемкое производство сложных промышленных изделий, а также разработка программных продуктов и новых технологий немислимы без применения в процессе их

проектирования графических моделей – чертежей деталей и узлов, эскизов, схем и структурограмм алгоритмов, рисунков технических объектов и др. При этом современный уровень развития образовательных технологий предполагает широкое применение интерактивных систем электронного обучения, управление в которых реализуется на базе многовариантных сценариев, предоставляющих обучающимся высокую степень самостоятельности в выборе последовательности изучения учебного материала [1, 4]. В настоящее время технологии управления адаптивным электронным обучением делают возможным реализовывать учебный процесс с высокой степенью эффективности при использовании гипертекстового контента, в состав которого включены иллюстративные статические и анимированные графические материалы, неделимые с точки зрения структуры контента [7, 9]. Особенностью некоторых инженерных дисциплин, таких как «Инженерная графика», «Основы САПР», «Информатика и информационные технологии», «Алгоритмизация и программирование» и др. является наличие в их составе значительного количества графических объектов (чертежей, схем, технических рисунков, трехмерных моделей), которые при изучении необходимо рассматривать как сложно-структурированные объекты [2, 10]. Это диктует необходимость разработки новых моделей и методов представления и обработки графического учебного контента, а также механизмов управления обучением, учитывающих структуризацию графических изображений.

---

Труды пятой всероссийской конференции  
"Информационные технологии интеллектуальной  
поддержки принятия решений", 16 - 19 мая, Уфа,  
Россия, 2017

Всероссийская конференция "Информационные технологии интеллектуальной поддержки принятия решений", 16-19 мая, Уфа, Россия, 2017



## 2. Метод структурирования изображений графических моделей объектов и управление переходами по учебному контенту

Для реализации управления в системах электронного обучения (СЭО) разработана объектная модель формирования учебного контента [Ошибка! Источник ссылки не найден.], в основе которой лежит подход, базирующийся на глубокой дефрагментации и структурировании материала учебной дисциплины. Также для представления контента была предложена дескрипторно-иерархическая модель [5]. Учебный контент представлен в объектной модели тремя основными категориями. Первая категория – объекты «нулевого» уровня  $O_0 = \{D, I_0, M_0\}$  представленные в виде неделимых семантических единиц учебно-методической информации (УМИ). Их назначение – хранение данных в системе электронного обучения. Они включают: основную информационную часть объекта «нулевого» уровня  $D \supset \{g \cup p \cup v \cup a\} \cap H$ , позволяющую хранить законченные смысловые фрагменты УМИ (здесь  $g$  – текстовая (гипертекстовая) информация;  $p$  – статическая графической информации (изображений);  $v$  – анимированной графической- и видеoinформация;  $a$  – аудиоданные, а также набор связанных с фрагментом учебно-методической информации контрольно-измерительных материалов Н); некоторую дополнительную информацию о содержании объекта «нулевого» уровня  $I_0$ ; методы объекта «нулевого» уровня  $M_0$ . Вторая категория объектов – упорядоченный (скомпонованный) учебно-методический материал (УММ), состоящий из совокупности  $k$  объектов  $n$ -го уровня  $O_n = \{\sum_{i=1}^k: \{O_{n-1}\}, \{I_n, M_n\}, \{M_{n-1}\}\}$ . Назначение объектов  $n$ -го уровня – операции над данными (структурирование и сборка данных) на основе принадлежащих объектам методов  $M_n$ . Третья категория объектов – агрегативные учебные модули (АУМ)

$$O_{UM} = \sum_{j=1}^n: \{\sum_{i=1}^k: \{O_{n-1}\}, \{I_n, M_n\}, \{M_{n-1}\}, \{P_{UM}\}\}$$

– сформированный для изучения обучающимися учебный контент, включающий  $N$  уровней объектов и дополненный методами управления контентом. При этом между объектами  $O_i = \{D_i, I_i, L_i, P_i\}$  устанавливаются связи  $L_i = \{L_j \mid j \in N\}$ . Таким образом, как автономный АУМ (скомпилированный АУМ, содержащий всю необходимую для достижения заданной цели обучения УМИ и процедуры ее обработки), так и сетевой АУМ (АУМ, формируемый непосредственно при интерактивном взаимодействии обучающегося с СЭО с

использованием технологии адаптивную сборку УМИ) генерируются как упорядоченный набор объектов  $C = \{F\} \rightarrow F = \{O\}$ , хранимых в базе данных СЭО  $A = \{O_i \mid i \in N\}$ , т.е.  $\forall F \in C: \{L_1, L_2, L_3, \dots, L_\theta\} \rightarrow \{O_1, O_2, O_3, \dots, O_\theta\}$ .

В системах электронного обучения при наличии в учебном материале сложных графических изображений (рисунков) и необходимости изучения отдельных структурных компонентов этих изображения процесс управления обучением можно реализовать с помощью одного из двух возможной подходов. В первом случае применяется выделение областей на изображении и их обозначение текстовой надписью или числом. При этом не требуется реализация каких-либо переходов по контенту в СЭО, поскольку под рисунком приводится поясняющий текст. Такой подход к работе с учебным контентом в СЭО является полным аналогом работы обучающегося с «бумажным» учебником и он фактически не дает никаких преимуществ от использования технологий электронного обучения. Во втором случае, который реализуется исключительно в СЭО, может быть использованы карты разметки графических образов. С их помощью возможно реализовать управление обучением на основе использования «всплывающих» подсказок, информационных окон и организации переходов по учебному контенту в СЭО с помощью гиперссылок, связанных с выделенными областями на изображении (рисунк 1).

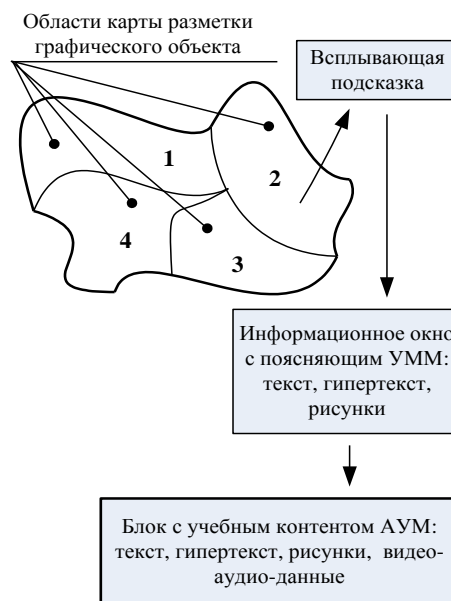


Рис. 1. Переходы по учебному контенту на основе карт разметки

Как показали проводимые нами исследования, карты разметки графических образов позволяют применить более эффективные технологии управления электронным обучением на основе многовариантных сценариев со свободными переходами по контенту.

Для этого описанный выше объектный подход необходимо модифицировать, не нарушая общую структуру хранимых в СЭО объектов  $A = \{O_i | i \in N\}$  и их взаимосвязи  $O_i = \{D_i, I_i, L_i, P_i\}$ .

Создадим новую подкатегорию объектов – дочерний объект «первого» уровня  $O_1^{map} = \{D\{F \cap H\}, I_1, M_1\}$ , непосредственно связанный с родительским объектом  $O_0$  и содержащий изображение F, дефрагментированное на K областей (прямоугольных, круглых и полигональных) с использованием технологии карт разметки графических образов [Ошибка! Источник ссылки не найден.]. Основная информационная часть дочернего объекта  $O_1^{map}$  будет представлена как

$$D^{map} \supset \{F_i | i \in K : \{g_j \cup p_j \cup v_j \cup a_j\} \cap H_j | j \in K\}.$$

При этом многовариантный сценарий управления обучением в интерактивной СЭО, реализуется на основе свободных переходов по контенту АУМ (рисунок 2).

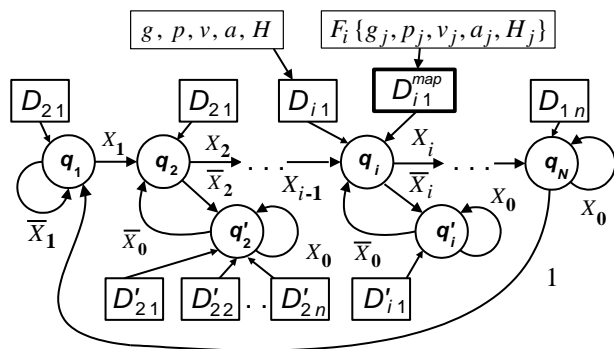


Рис. 2. Граф многовариантных сценариев на основе карт разметки графических образов

В каждый момент времени состояние системы при взаимодействии обучающегося с АУМ представим как  $\bar{S} = (Q, X, Z, \delta, \lambda, q)$ , где  $Q = \{q_1, q_2, \dots, q_m, \dots, q_M\}$  – множество состояний обучающегося;  $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n, \dots, x_N\}$  – множество обучающих воздействий;  $Z = \{z_1, z_2, \dots, z_k, \dots, z_K\}$  – множество новых знаний и умений, полученных обучающимся;  $\delta : Q \times X \rightarrow Q$  – функция перехода обучающегося в новое состояние при внешнем обучающем воздействии X;  $\lambda : Q \times X \rightarrow Z$  – функция выходов обучающегося как реакция от состояния при внешнем обучающем воздействии X в процессе работы с АУМ;  $D_{ij} = \{g_{ij}, p_{ij}, v_{ij}, a_{ij}\}$  – учебный контент, включенный в состав учебных объектов. Показанный на рисунке 2 фрагмент графового сценария позволяет реализовать параметрическое управление обучением  $\langle X, Y, Z^*, R \rangle \rightarrow U^* \rightarrow Y^*$ , направленное на достижение заданной цели обучения  $Z^* = (z_1, z_2, z_3, \dots, z_L)^T$  и перевод объекта управления

(обучающегося) в некоторое искомое состояние  $Y^* = (y_1, y_2, y_3, \dots, y_L)^T$  с использованием нечеткого алгоритма управления  $U^* = A(X, Y_t, Y_s, Z^*, R)$  при известном состоянии обучающей среды  $X = (x_1, x_2, x_3, \dots, x_L)^T$  и имеющихся ресурсах  $R = (r_1, r_2, r_3, \dots, r_L)^T$  СЭО, определяемых на каждом шаге выполнения алгоритма управления обучением в первую очередь набором объектов  $C = \{F\} \rightarrow F = \{O\}$  в УММ.

Применение карты разметки графических образов хорошо зарекомендовало себя при реализации методики обучения на примерах, показавшей достаточно высокую эффективность на практике. Многовариантные сценарии предусматривают использование для управления в интерактивных СЭО всплывающих подсказок и окон с поясняющим контентом, который, как было показано выше, может содержать гипертекст g и любые другие объекты (графику p и v, аудио- и видео-данные a). При этом, в случае необходимости, обучающийся может реализовать необходимый с его точки зрения переход из всплывающего окна с поясняющим контентом к связанному с ним гиперссылками УММ – объекту n-го уровня  $O_n$ .

### 3. Практическое применение предложенного подхода

Для оценки практической значимости предложенных в работе подходов рассмотрена реализация представления учебного контента в агрегативных скомпилированных электронных учебных модулях (ЭУМ). Примеры экранных форм ЭУМ электронного учебного пособия по дисциплине «Инженерная графика» (модуль «Нанесение размеров на чертежах» [8]) показаны на рисунке 3.

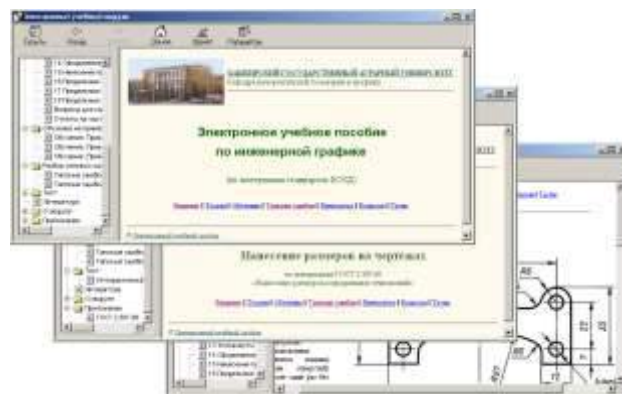
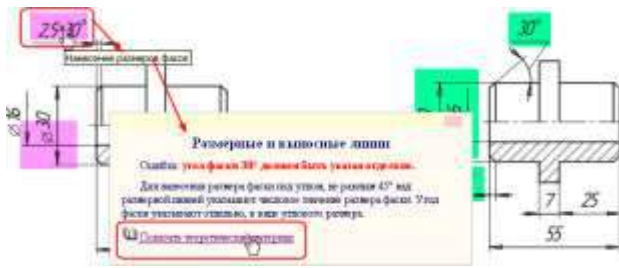


Рис. 3. Электронное учебное пособие по дисциплине «Инженерная графика» в виде скомпилированного ЭУМ

Примеры экранных форм ЭУМ, используемого в процессе изучения дисциплины «Информатика» (модуль «Основы программирования в интегрированной среде разработки приложений Microsoft Visual Basic 6.0», версия 6.5, первая версия которого зарегистрирована в 2004 г в Отраслевом фонде алгоритмов и программ государственного координационного центра информационных





**Рис. 7. Использование карт разметки графических образов при разборе типовых ошибок при изучении простановки размеров на чертежах**

Раздел ЭУМ «Вопросы и ответы по рассматриваемой теме», построенный по принципу FAQ, содержит более 50 вопросов и ответы на них. Раздел ЭУМ «Интерактивные тесты» позволяет проконтролировать степень усвоения учебного материала с использованием тестовых заданий закрытого и открытого типов. В режиме «Тестирование с обучением» обучающемуся предоставляется возможность воспользоваться помощью и подсказками, а также посмотреть теоретический материал. В этом случае после прохождения теста обучающемуся предоставляется детальный разбор результатов и собирается (компилируется) не усвоенный им теоретический материал для дальнейшего изучения.

## 5. Заключение

Предложенный в статье модифицированный метод объектного хранения учебно-методической информации, основанный на структурировании изображений с использованием карт разметки позволяет обеспечить возможность детального изучения компонентов графических моделей сложных изделий и процессов в системах электронного обучения. Данный метод направлен на реализацию адаптивного управления в системах электронного обучения с использованием многовариантных сценариев со свободными переходами по контенту. Практическое применение описанного метода при изучении графических инженерных дисциплин показало его высокую эффективность – качество усвоения учебного материала при самостоятельной работе обучающихся повысилось в среднем на 20-25 %.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 15-07-02393\17.

## Список используемых источников

1. Кабальнов Ю. С., Минасов Ш. М., Тархов С. В. Применение мультиагентных систем электронного обучения в гетерогенных информационно-образовательных средах. М.: Изд-во МАИ, 2007. 271 с.
2. Кабальнов Ю.С., Минасов Ш.М., Тархов С.В. Модели представления и организация хранения

информации в сетевой информационно-образовательной системе // Вестник УГАТУ Научный журнал Уфимского государственного авиационного технического университета. Т.5, №2(10), УГАТУ, 2004. С.183-191.

3. Кабальнов Ю.С., Тархов С.В., Минасова Н.С. Алгоритм генерации электронных учебных модулей для самостоятельной работы студентов // Информационные технологии моделирования и управления №2 (27). Воронеж. Научная книга. 2006, С. 155-159.
4. Минасова Н. С. Модели и алгоритмы программных инструментальных средств генерации и функционирования автономных интерактивных учебных модулей // Системы управления и информационные технологии. Москва-Воронеж: Научная книга, 2006. №2.1(24). С. 161-164.
5. Минасова Н. С. Организация информационного контента в системе управления персоналом // Современные проблемы науки и образования. – 2014. №2; URL: <http://www.science-education.ru/116-12985> (дата обращения: 12.05.2015).
6. Минасова Н. С., Тархов С. В., Тархова Л. М. Использование карт разметки графических образов для управления учебным контентом // Информационные технологии моделирования и управления. Воронеж: Научная книга, 2006. №3 (28). С. 301-306.
7. Тархов С. В. Адаптивное электронное обучение и оценка его эффективности // Открытое образование. 2005. № 5. С. 37-48.
8. Тархов С. В., Тархова Л. М. Нанесение размеров на чертежах деталей. Электронное учебное пособие по инженерной графике. // Свидетельство об официальной регистрации в объединенном фонде электронных ресурсов "Наука и образование". № 17068 от 10.05.2011 г.
9. Тархов С.В. Реализация механизмов многоуровневой адаптации в системе электронного обучения «Гефест» // Журнал Восточно-Европейской подгруппы Международного форума «Образовательные технологии и общество» - Educational Technology & Society 8(4) 2005. ISSN 1436-4522. P. 280-290.
10. Тархова Л. М. Компьютерная графика в проектировании деталей и узлов сельхозтехники // В сборнике: Инновационно-промышленный салон. Ремонт. Восстановление. Реновация. Материалы Всеросс. науч.-практ. конф. 2011. С. 39-41.

# Разработка информационной поддержки учебной дисциплины «История науки и техники»

Д.А. Ищенко

Институт авиационной техники

Самарский национальный исследовательский институт им. академика С.П. Королева

Самара, Россия

e-mail: ishchenko.daria@yandex.ru

## Аннотация<sup>1</sup>

В статье рассматриваются особенности информационной поддержки дисциплины «История науки и техники», как способа, позволяющего повысить качество учебного процесса и автоматизировать выполнение некоторых задач этого процесса. В качестве инструментальных примеров реализации поставленной задачи создания образовательного ресурса приводятся некоторые системы дистанционного обучения, такие как портал знаний и Moodle. Описано содержание курса и представлены возможные решения по автоматизации процесса обучения с помощью этих систем.

## 1. Введение

Информационная поддержка какого-либо сложного процесса представляет собой разветвленную цепь различных информационных потоков, описывающих производственный процесс на разных его стадиях. Информация обрабатывается по заданному алгоритму либо человеком, либо с помощью интерфейсов человек-машина, т.е. для получения и обработки информации применяются средства связи и вычислительная техника [1].

Развитие информационных технологий и быстрое внедрение их в жизнь общества постепенно затрагивает все больше сфер жизнедеятельности человека. Информатизация помогает улучшить взаимодействие между различными компонентами единой системы и связывает системы между собой, способствуя более быстрому и качественному обмену информацией. Все это можно применить и в процессе обучения, значительно облегчив и ускорив его.

С этим связано создание необходимой материально-технической базы системы образования, что предполагает подготовку учебно-методических материалов нового поколения, а также формирование

---

Труды пятой всероссийской конференции "Информационные технологии интеллектуальной поддержки принятия решений", 16 - 19 мая, Уфа, Россия, 2017

принципиально новой культуры преподавания в условиях применения информационно-образовательной среды [2].

Новая методология обучения, базирующаяся на использовании информационно-коммуникационных технологий, входит в практику деятельности многих учебных заведений различных форм и уровней. Поскольку одной из главных ее черт является независимость от географического расположения, от расстояния между преподавателем и обучаемым, ее назвали дистанционной (производное от англ. distance — расстояние, удаление), т. е. обучение на расстоянии. Практически используемые дистанционные образовательные технологии представляют различные варианты и сочетания кейс-технологий, компьютерных сетевых и информационно-телекоммуникационных технологий.

Дистанционное обучение (ДО) — совокупность информационных технологий, обеспечивающих доставку обучающимся основного объема изучаемого материала, интерактивное взаимодействие обучаемых и преподавателей в процессе обучения, предоставление обучаемым возможности самостоятельной работы по освоению изучаемого материала, а также в процессе обучения. Дистанционное обучение в настоящее время претендует на особую форму обучения (наряду с очной, заочной, вечерней, экстернатом) [3].

## 2. Информационное обеспечение

Информационное обеспечение учебного процесса - это специфический, целенаправленный и непрерывный процесс сбора, накопления и представления в удобной потребителям форме информации, необходимой для формирования специалистов, способных реализовать полученные знания и навыки на практике [4].

Информационная поддержка в контексте применения ее в процессе обучения представляет собой сбор, хранение и предоставление информации, возможность обратной связи между участниками процесса обучения, такими как студенты и преподаватель, позволяющей осуществлять обмен информацией, а также наличие проверенных

источников и свободный доступ к ним. Это реализуется посредством создания специализированных ресурсов, обладающим необходимым функционалом, которые рассмотрены далее.

Данный вид поддержки процесса познания имеет определенные цели и решает конкретные задачи, такие как:

- полное и своевременное представление информации ее потребителям в процессе учебной и научной деятельности;
- полномасштабное информационное воздействие на участников учебного процесса в интересах образовательного учреждения;
- улучшение распространения, доступа и обмена информацией между субъектами и объектами учебного процесса;
- совершенствование работы информационных структур и специалистов [4].

## 2.1. Инструмент информационной поддержки процесса обучения

В настоящее время при создании курсов дистанционного обучения используются, как правило, специальные программные средства — системы дистанционного обучения (СДО).

Платформа дистанционного обучения — это взаимосвязанный комплекс компьютерных программ, предназначенный для организации и проведения дистанционного обучения.

Функционал типичной системы ДО включает в себя:

- средства создания контента (необходимы, прежде всего, для создания содержательной части дистанционного учебного курса);
- средства управления контентом (могут включать систему контекстного поиска по содержанию учебного курса, механизмы доставки учебного контента до обучаемого, поддержку временной составляющей дистанционного курса);
- разнообразные функции средств управления и организации процесса обучения (система регистрации, учет всех действующих лиц СДО, администрирование процесса обучения и т.д.) [3].

Рассмотрим две такие системы. Первая — портал знаний, разработанный в новосибирском университете. Принцип действия этого портала основан на структуризации данных с помощью онтологий. Редактор онтологии позволяет создавать и редактировать классы, отношения и домены.

Данная система представляет собой ресурс необходимой информации, объединенной определенной тематикой и имеет функционал для добавления и редактирования новостей. Она не

предусматривает обратной связи, то есть отправки информации от студента к преподавателю.

Вторая система Moodle является одним из лидеров среди систем дистанционного обучения. Moodle обладает рядом преимуществ. Одно из них — широкие возможности коммуникации, которое выражается в обширном инструментарии, включающем в себя сервис рассылки, форум, сообщения, чат, комментарии. Система позволяет организовывать процессы совместного обучения, включает в свой функционал глоссарий, ресурс, задание, тесты и некоторые другие функции, имеет возможность отслеживать успеваемость студентов, создает и хранит портфолио из добавленных работ [5].

## 2.2. Реализация

Дисциплина, для которой разрабатывается система дистанционного обучения, включает в себя:

- фотоотчет о посещении музеев истории техники (музей авиации и космонавтики, центра развития авиационных двигателей, музей «Самара космическая», музей истории Самарского университета);
- рефераты на темы «Выдающийся деятель науки и техники», «История развития научной дисциплины, отрасли промышленности или история артефакта»;
- конспект обсуждений тем рефератов на практических занятиях;
- микроисследование на тему «Хронологический анализ важнейших факторов, влияющих на развитие цивилизации»;
- конспект раздела «Законы развития техники» учебного пособия Половинкина А.И. «Основы инженерного творчества»;
- конспект курса лекций.

Все задания курса имеют четкие требования к выполнению и конкретные сроки сдачи. Например, фотоотчет о посещении музеев истории техники подразумевает под собой реферат объемом две-три страницы об основной экспозиции и разделах музея. В тексте должны быть представлены описания экспонатов музея, привлечших большее внимание, интересные факты истории, связанные с представленными в музее предметами и документами. К реферату прилагаются пять — семь фотографий этих экспонатов из каждого музея. Срок сдачи данной работы пятая неделя обучения.

Использование ресурсов дистанционного обучения позволит студентам решить проблему о доступе к информации о правилах оформления отчета, его содержании и сроках сдачи. Также внедрение информационной поддержки курса поможет использовать способ сдачи работы посредством загрузки ее на ресурс в виде текстового документа,

что значительно удобнее как для студента, так и для преподавателя. Процесс проверки сводится к скачиванию документа на компьютер преподавателя, составлению рекомендаций по исправлению и загрузкой на ресурс с пометкой о доработке.

Реферат на тему «Выдающийся деятель науки и техники» состоит из трех разделов:

1. Особенности развития науки и техники в период жизни деятеля, которого каждый студент может определить для себя сам из списка, предложенного преподавателем, либо предложить своего ученого или конструктора, внесшего значительный вклад в развитие науки и техники, но не представленного в списке, либо, если у студента нет предпочтений, деятель назначается преподавателем.

Объем данного раздела одна-две страницы, на которых в краткой форме описываются основные события в рассматриваемой области в период жизни выбранного ученого.

2. Биография деятеля, оформленная в виде таблицы. Раздел включает в себя описание основных и интересующих студента событий из жизни выбранного ученого, объемом три-пять страниц с указанием ссылок на используемые источники.

3. Творческая жизнь, которая включает в себя описание основных достижений изучаемого деятеля.

По реферату готовится презентация, которая представляется перед аудиторией. Заслушивающие ответ студенты составляют конспект по каждой отчитанной презентации, в котором отмечают основные даты и события и несколько вопросов к докладчику, возникших во время заслушивания материала.

В данном задании к автоматизации процесса можно пойти со стороны предоставления конспекта докладов. Каждый доклад будет выкладываться студентом в СДО. В комментариях к каждому докладу студентам необходимо будет заполнить составленным конспектом специальную форму. Заполнение формы отмечается в ведомости, как выполнение задания по составлению конспекта доклада.

Возникает проблема контроля заполнения формы корректными данными, которая решается только путем ручной проверки каждой формы. В будущем этот процесс можно проводить, добавив в СДО семантический анализатор, принцип работы которого будет заключаться, например, в проверке ключевых слов.

Хронологический анализ важнейших факторов, влияющих на развитие цивилизации, является микроисследованием, включающим в себя сбор информации об изменении выбранного фактора в численном выражении в течение времени и

представлении этой информации в виде графика. Далее необходимо предоставить краткое описание влияние этого графика на развитие человечества и тенденцию изменения данного фактора. На основе приведенных данных сделать прогноз о его дальнейшем развитии и изменении. Срок выполнения работы составляет восемь недель.

В СДО Moodle есть возможность не только прикреплять сторонние файлы и документы, но и создавать их внутри системы с помощью имеющихся там ресурсов. Данную работу можно выполнять прямо на сервере, что значительно ускорит процесс проверки работы и позволит автоматически заполнять ведомость успеваемости, также имеющуюся в рассматриваемой СДО.

### 3. Заключение

В рассматриваемой работе представлена концепция внедрения некоторых решений для дистанционного обучения в процесс очного обучения. Такой подход значительно упрощает процесс для обеих сторон, участвующих в нем. Сокращается количество затрачиваемого времени, что позволяет увеличивать объем информации, содержащейся в курсе дисциплины без потерь в качестве.

### Список используемых источников

1. Сертификация сложных технических систем / Л. Александровская, И. Аронов, В. Смирнов, А. Шолом. — М.: Логос, 2001. — 206 с.
2. Данилов О.Е., Поздеева О.Г. Особенности дистанционного обучения // Проблемы и перспективы развития образования: материалы V Междунар. науч. конф. г. Пермь, 2014. С. 34-37.
3. Дистанционные образовательные технологии: проектирование и реализация учебных курсов / Лебедева М. Б., Агапонов С. В., Горюнова М. А., Костиков А. Н., Костикова Н. А., Никитина Л. Н., Соколова И. И., Степаненко Е. Б., Фрадкин В. Е., Шилова О. Н. / Под общ. ред. М. Б. Лебедевой. — СПб.: БХВ-Петербург, 2010. — 336 с.
4. Костин А.В. Информационное обеспечение учебного процесса с применением дистанционных образовательных технологий // Контент-платформа Pandia.ru. [Электронный ресурс]. — <http://pandia.ru/text/77/335/62794.php> (дата обращения: 06.04.2017)
5. Moodle — Open-source learning platform [Электронный ресурс]. — <http://moodle.org>

# Концепция разработки информационной поддержки для курса «Онтология производственной сферы»

А.В. Малочкина

Институт авиационной техники

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева

Самара, Россия

e-mail: [nastasiamv@gmail.com](mailto:nastasiamv@gmail.com)

## Аннотация<sup>1</sup>

В статье рассматривается концепция создания электронного образовательного ресурса для информационной поддержки курса «Онтология производственной сферы», который мог бы автоматизировать ряд рутинных процедур процесса образования и позволил бы отслеживать успехи обучающихся в режиме реального времени. В статье анализируются методы создания электронных образовательных ресурсов. Предложены инструменты для создания поддержки. Структурировано содержание курса «Онтология производственной сферы».

## 1. Введение

Сейчас сложно представить жизнь без интернета, а ведь ранее он использовался лишь как вспомогательное средство. В настоящее время мы используем его для развлечения, общения и все чаще для получения новых знаний. Именно сейчас как нельзя актуально появление дистанционного обучения, главным достоинством которого является связь преподавателя со студентом на расстоянии. Подобные системы имеют множество преимуществ: например, учащийся имеет доступ к информации в удобное для него время и в любом удобном месте, может планировать продолжительность занятия, преподаватель же может отслеживать успехи своих учеников в режиме реального времени. Но наравне с преимуществами идут достаточно весомые недостатки: отсутствие личного общения между обучающимися и преподавателем, а также учащиеся должны обладать самодисциплиной, ведь именно она, в конечном счете, будет влиять на результат работы [1].

Технология дистанционного обучения интенсивно развивалась в мире еще в последнем десятилетии XX

---

Труды пятой всероссийской конференции "Информационные технологии интеллектуальной поддержки принятия решений", 16 - 19 мая, Уфа, Россия, 2017

века. Использование данной технологии помогает решать одну из важнейших конституционных задач, стоящих перед образовательной сферой, – обеспечение права человека на образование и получение информации. Стратегической целью дистанционного обучения является предоставление гражданам равных возможностей получения образования любого уровня по месту проживания или профессиональной деятельности на основе использования новых информационно-коммуникационных технологий. Дистанционная форма обучения является одной из ведущих форм образования, так как перспективы развития дистанционного образования прослеживаются во многих направлениях. Основываясь на использовании технологий дистанционного обучения, система образования должна способствовать созданию дополнительных возможностей для обновления содержания обучения, методов преподавания дисциплин и распространения знаний. Также технология способствует расширению доступа ко всем уровням образования, реализации возможности его получения для большого количества молодых людей, включая тех, кто не может учиться в высших учебных заведениях с традиционными формами обучения из-за отсутствия финансовых или физических возможностей, профессиональной занятости и других причин [2].

Таким образом, при создании информационной поддержки курса, стоит обратить внимание на:

- Структуру курса;
- Реализацию эффективной обратной связи с преподавателем;
- Продумывание способов контроля выполнения заданий;

В соответствии с поставленной целью нужно решить следующие задачи:

- Изучить технологические средства создания подобных систем;



- Определить, каким образом обеспечить эффективное взаимодействие учащихся с преподавателем.

## 2. Содержание курса

Как отмечено выше, информационная поддержка создается для дисциплины «Онтология производственной сферы».

Онтология (в информатике) – это попытка всеобъемлющей и детальной формализации некоторой области знаний с помощью концептуальной схемы. Обычно такая схема состоит из структуры данных, содержащей все релевантные классы объектов, их связи и правила (теоремы, ограничения), принятые в этой области.

Редакторами или конструкторами онтологий называют инструментальные программные средства, созданные специально для проектирования, редактирования и анализа онтологий. Основная функция любого редактора онтологий состоит в поддержке процесса формализации знаний и представлении онтологии как спецификации [3].

Разработка онтологий как явное формальное описание терминов предметной области и отношений между ними — переходит из лабораторий по искусственному интеллекту на рабочие столы экспертов по предметным областям. Во всемирной паутине онтологии стали обычным явлением. Онтологии в сети варьируются от больших таксономий, категоризирующих веб-сайты, до категоризаций продаваемых товаров и их характеристик в интернет-магазинах. В различных направлениях разрабатываются стандартные онтологии, которые могут использоваться экспертами по предметным областям для совместного использования и аннотирования информации в своей области. Онтология определяет общий словарь для специалистов, которым нужно совместно использовать информацию в предметной области. Она включает машинно-интерпретируемые формулировки основных понятий предметной области и отношения между ними. Причины разработки онтологий:

- Для совместного использования людьми или программными агентами общего понимания структуры информации;
- Для возможности повторного использования знаний в предметной области; - для того чтобы сделать допущения в предметной области явными;
- Для отделения знаний в предметной области от оперативных знаний;
- Для анализа знаний в предметной области [4].

В рамках этой дисциплины необходимо ознакомиться с конструктором онтологий Magenta. Курс состоит из 5 лабораторных работ, анализа одной из

предложенных статей и осуществления обзора иных онтологических редакторов.

### 2.1. Лабораторные работы

Цель лабораторной работы № 1 «Разработка тактико-технических требований к самолету» – разработка мультиагентных приложений, реализующих простые возможности одностороннего матчинга в процессе принятия решений.

В процессе выполнения лабораторной работы № 1 решаются следующие задачи:

- Освоение инструментов, предоставляемых конструктором онтологий и исполняющей системой.
- Освоение приемов проектирования дескриптивной онтологии и онтологии мира заказов/ресурсов.
- Освоение приемов конструирования и моделирования онтологической сцены.
- Изучение матчинга между агентами заказов/ресурсов и процесса принятия решения агентом заказа по резервированию агента ресурса [5].

Цель лабораторной работы № 2 «Выбор удельной нагрузки на крыло» – разработка мультиагентного приложения, реализующего возможности скриптов для расчетов в процессе одностороннего матчинга при принятии решений.

В процессе выполнения лабораторной работы № 2 решаются следующие задачи:

- Освоение инструментов, предоставляемых конструктором онтологий и исполняющей системой.
- Освоение приемов проектирования дескриптивной онтологии и онтологии мира заказов/ресурсов.
- Освоение приемов конструирования скриптов для расчета значений атрибутов концептов.
- Освоение приемов конструирования и моделирования онтологической сцены.
- Изучение структуры агентов заказа/ресурса [6].

Цель лабораторной работы № 3 «Выбор потребной тяговооруженности самолета» – разработка мультиагентного приложения, реализующего возможности скриптов для расчетов в процессе одностороннего матчинга при принятии решения по выбору тяговооруженности самолета.

В процессе выполнения лабораторной работы № 3 решаются следующие задачи:

- Освоение инструментов, предоставляемых конструктором онтологий и исполняющей системой.

- Освоение приемов проектирования дескриптивной онтологии и онтологии мира заказов/ресурсов.
- Освоение приемов конструирования скриптов для расчета значений атрибутов концептов.
- Освоение приемов конструирования и моделирования онтологической сцены.
- Изучение структуры агентов заказа/ресурса [7].

Цель лабораторной работы № 4 «Выбор двигателя для проектируемого самолета» – разработка мультиагентных приложений, реализующих возможности одностороннего матчинга в процессе принятия решений.

В процессе выполнения лабораторной работы № 4 решаются следующие задачи:

- Освоение инструментов, предоставляемых конструктором онтологий и исполняющей системой.
- Освоение приемов проектирования дескриптивной онтологии и онтологии мира заказов/ресурсов.
- Освоение приемов конструирования и моделирования онтологической сцены [8].

Цель лабораторной работы № 5 «Логистика воздушного флота» – разработка мультиагентных приложений, реализующих механизм принятия решений в открытых мультиагентных системах с разделяемыми ресурсами.

В процессе выполнения лабораторной работы № 5 решаются следующие задачи:

- Освоение инструментов, предоставляемых конструктором онтологий для проектирования разделяемых ресурсов.
- Освоение приемов проектирования разделяемых ресурсов, а также определения их свойств в онтологии мира заказов/ресурсов.
- Освоение приемов конструирования и моделирования онтологической сцены с использованием разделяемых ресурсов.
- Изучение матчинга между агентами заказов/ресурсов и процесса принятия решения агентом заказа по резервированию агента разделяемого ресурса [9].

### 3. Технологические средства

Современный уровень развития информационных технологий предоставляет инструменты для самостоятельного проектирования обучающих ресурсов. На первый взгляд может показаться, что использование некоторых из них должно подразумевать наличие знаний в программировании, но это не так. Для анализа выбрано два таких инструмента. Первый из них – новосибирская

разработка, позволяющая создать портал знаний по любой дисциплине, второй – Moodle.

Новосибирская разработка включает в себя редактор онтологии, который позволяет создавать и редактировать классы, отношения и домены.

Структуризация данных и знаний данного портала осуществляется на основе понятий онтологии. Дерево понятий онтологии присутствует на большинстве страниц портала. Понятия также называют классами. Название класса (понятия) в этой структуре является ссылкой, по которой можно перейти на страницу, соответствующую данному понятию.

Moodle – система дистанционного обучения, включающая в себя средства для разработки дистанционных курсов. Разработка системы дистанционного обучения Moodle продолжается, начиная с 1999 г., с 2001 года в текущей архитектуре. Интерфейс системы дистанционного обучения Moodle переведен на 82 языка и используется почти в 50 тыс. организаций из более чем 200 стран мира. В России зарегистрировано более 600 инсталляций. Количество пользователей Moodle в некоторых инсталляциях достигает 500 тыс. человек. На сегодняшний день система дистанционного обучения Moodle является самой распространенной системой дистанционного обучения с самым большим количеством пользователей и разработчиков.

Поставка Moodle осуществляется свободно, так как Moodle является программным обеспечением с открытым исходным кодом. Это означает, что Moodle охраняется законом об авторском праве, но университеты имеют широкие возможности по его использованию. Moodle может быть установлен на любом компьютере, на котором установлен Web-сервер, поддерживающий PHP, а также установлена база данных SQL-типа. Он может быть запущен на Windows и Mac операционных системах и многих разновидностях Linux. Для использования Moodle достаточно иметь любой web-браузер, что делает использование этой учебной среды удобной как для преподавателя, так и для учащегося. По результатам выполнения учениками заданий, преподаватель может выставлять оценки и давать комментарии. Таким образом, Moodle является и центром создания учебного материала и обеспечения интерактивного взаимодействия между участниками учебного процесса. В системе представляются сведения о курсах, их инструкторах и сроках проведения. А пользователи системы имеют возможность регистрироваться в системе, знакомиться со сведениями о курсах и записываться на них. После зачисления студента на некоторый курс он получает доступ к соответствующим учебным материалам, выполняет задания и взаимодействует с инструкторами и другими обучаемыми. Авторы курсов формируют соответствующие учебные материалы, а инструкторы производят зачисление студентов и организуют учебный процесс.

Администраторы системы назначают авторов, инструкторов, а также других администраторов системы. Особую популярность получило дистанционное образование в регионах, где ощущается нехватка соответствующих международному или столичному уровню образовательных учреждений. В октябре 2012 г. система дистанционного обучения Moodle признана лучшей системой управления курсами в Топ-100 инструментов для обучения. Более 500 профессионалов со всего мира приняли участие в опросе, в котором они выбрали 10 лучших, по их мнению, инструментов для проведения обучения. Опрос специалистов со всего мира на тему, какими инструментами они пользуются для самообучения и обучения других людей, на протяжении 3х лет проводила Джейн Харт, глава британской компании CentreforLearning&PerformanceTechnologies. Система дистанционного обучения Moodle заняла 11 место в списке Топ-100 инструментов для проведения обучения, хотя в 2009 г. система дистанционного обучения Moodle занимала 16 место. Одновременно с этим в категории лучшая система управления курсами система дистанционного обучения Moodle заняла первое место [2].

#### 4. Применение на практике

Для успешного выполнения лабораторных работ студентам необходимо предоставить методические указания с подробным описанием работы. Также по окончании необходимо проверить, насколько хорошо учащийся усвоил материал. С этой целью создается тест, каждый вопрос которого содержит несколько вариантов ответов, на выполнение отводится некоторое фиксированное количество времени. Заранее ознакомиться с вопросами, встречающимися в тесте можно в методических указаниях к выполнению лабораторной работы. Если учащийся набирает по результату теста 65%, то лабораторная работа считается зачтенной.

Обзор иных онтологических редакторов подразумевает самостоятельную работу студента по поиску онтологических редакторов и предоставляемого ими функционала. Результат этой деятельности должен быть представлен в виде презентации, с которой учащийся должен выступить на практическом занятии.

Так как на данный момент не планируется перевод данной дисциплины целиком на дистанционный формат, нет необходимости решать вопрос о повышении эффективности взаимодействия преподавателя и учащегося.

#### 5. Заключение

Произведен анализ средств создания электронных образовательных ресурсов. Намечена концепция

создания информационной поддержки курса «Онтология производственной сферы», а также инструментальные средства ее реализации.

#### Список используемых источников

1. Электронное обучение: проблематика, дидактика, технология / А.В. Соловов — Самара: «Новая мысль», 2006. — 464с.
2. Романова С. М. Система дистанционного обучения как средство информационно-коммуникационных технологий в образовательном процессе // Научно-методический электронный журнал «Концепт». — 2013. — Т. 4. — С. 271–275. — URL: <http://e-koncept.ru/2013/64056.htm> (Дата обращения: 07.04.2017)
3. Онтологический редактор Fluent Editor: учебно-методическое пособие к лабораторным работам по дисциплине «Онтология проектирования» / Н.М. Боргест, А.А. Орлова — Самара: Изд-во Самарского университета, 2016. — 48 с.
4. Онтология проектирования: теоретические основы / Боргест Н.М. — Самара: СГАУ, 2010 — 88 с.
5. Разработка тактико-технических требований к самолету. Методические указания к лабораторной работе № 1 по курсу «Онтология производственной сферы» / Н.М. Боргест, Е.В. Симонова — Самара: СГАУ, 2007 — 59 с.
6. Выбор удельной нагрузки на крыло. Методические указания к лабораторной работе № 2 по курсу «Онтология производственной сферы» / Н.М. Боргест, Е.В. Симонова — Самара: СГАУ, 2007 — 39 с.
7. Выбор потребной тяговооруженности самолета. Методические указания к лабораторной работе № 3 по курсу «Онтология производственной сферы» / Н.М. Боргест, Е.В. Симонова — Самара: СГАУ, 2007 — 36 с.
8. Выбор двигателя для проектируемого самолета. Методические указания к лабораторной работе № 4 по курсу «Онтология производственной сферы» / Н.М. Боргест, Е.В. Симонова — Самара: СГАУ, 2007 — 38 с.
9. Логистика воздушного флота. Методические указания к лабораторной работе № 5 по курсу «Онтология производственной сферы» / Н.М. Боргест, Е.В. Симонова — Самара: СГАУ, 2007 — 51 с.

# Новый принцип построения информационного пространства в ВУЗе: принцип выделения общего результата

О.С. Логунова

Институт энергетики и автоматизированных систем

Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова

Магнитогорск, Россия

e-mail: [logunova66@mail.ru](mailto:logunova66@mail.ru)

С.Н. Попов

Институт энергетики и автоматизированных систем

Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова

Магнитогорск, Россия

e-mail: [Serega4444\\_92@mail.ru](mailto:Serega4444_92@mail.ru)

Е.А. Ильина

Институт энергетики и автоматизированных систем

Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова

Магнитогорск, Россия

e-mail: [Dar\\_nas@mail.ru](mailto:Dar_nas@mail.ru)

## Аннотация<sup>1</sup>

В работе представлено описание нового принципа построения информационного пространства в ВУЗе. Приведены различные точки зрения на определение термина «единое информационное пространство». Обозначено определение информационно-образовательного пространства. Рассмотрены существующие принципы построения информационного пространства, используемые в информационном пространстве ВУЗа, на примере внутреннего и внешнего порталов ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова» (МГТУ). Показана сущность каждого из этих подходов. Предложен принцип выделения общего результата. Раскрыто содержание данного принципа, показаны преимущества использования.

## 1. Введение

Понятие «информационное пространство» используется довольно широко, но как научное определение оно пока не достаточно разработано. До сих пор не существует научного определения понятия «единое информационное пространство», однако данное словосочетание часто встречается в различных интерпретациях. Например, в «Концепции

формирования и развития единого информационного пространства России (одобрена решением Президента РФ от 23.11.1995 N Пр-1694)» данное понятие трактуется как определение «баз и банков данных, технологий их ведения и использования, функционирующих на основе единых правил и общих принципов, которые обеспечивают информационное взаимодействие предприятий и граждан» [1]. Такие ученые, как Дж. Джекки, С. Брунн и К. Роузман определили информационное пространство как «взаимодействие людей, выраженное пространственными характеристиками» [2]. Научный исследователь Т. Закупень представляет информационное пространство как территорию, которая «окружена» информацией, инфраструктурой, информационными ресурсами, а также в пределах, которого все субъекты имеют равные возможности для анализа, передачи, и других возможных манипуляций с информацией и данными в любой точке этого пространства [3]. Исследователь В.Н. Костюк вводит определение понятия: «Информационное пространство – это пространство, в котором создается, перемещается и потребляется информация. Направление и скорость информационных потоков, способы создания и использования информации определяют структуру информационного пространства» [4,5].

Подсистемой информационного пространства можно считать информационно-образовательное подпространство – реальность, организованная и управляемая единой выработанной концепцией, подходами и механизмами реализации общей стратегии формирования, развития и достижения целей повышения культурного, образовательного и

---

Труды пятой всероссийской конференции "Информационные технологии интеллектуальной поддержки принятия решений", 16 - 19 мая, Уфа, Россия, 2017

профессионального уровней субъектов, объединенных на единой информационно-технологической основе для поддержания обучения и воспитания субъектов выделенного пространства [6-9].

## 2. Основные решения

Рассмотрим основные подходы построения информационного пространства на примере МГТУ. Существующие принципы, используемые в

информационном пространстве ВУЗа: процессный подход и функциональный подход [10].

### 2.1 Процессный подход

Данный принцип построения информационного пространства реализован на внутреннем портале ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова». В общем виде это система горизонтальных связей, представленных на рис. 1.

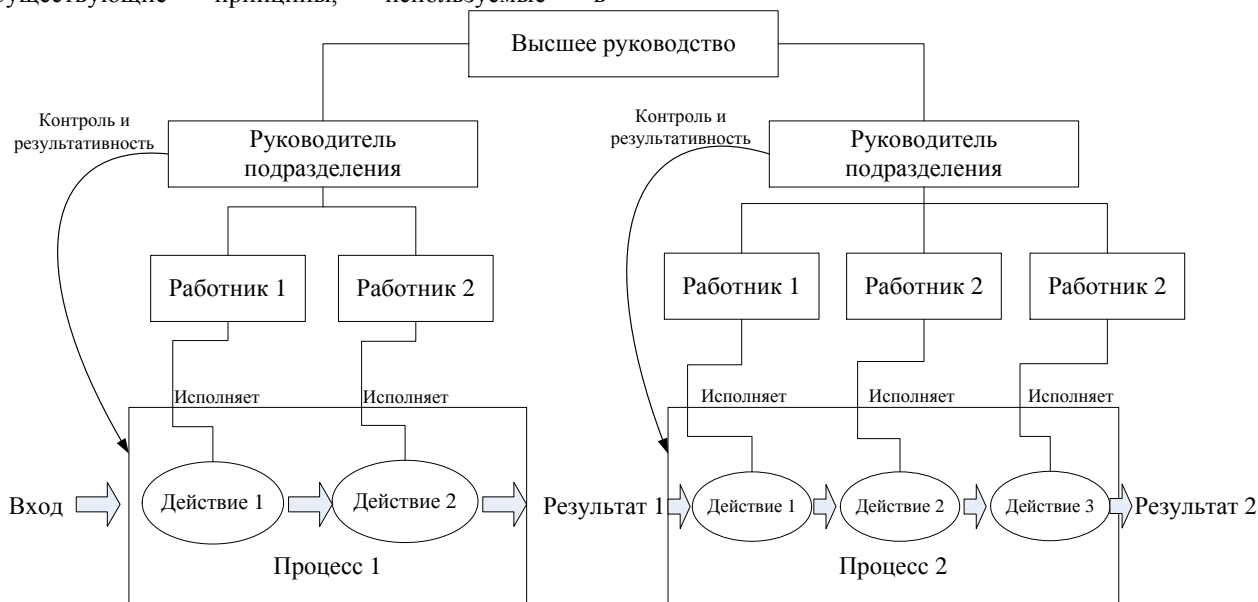


Рис. 1. Процессная схема управления

Высшее руководство следит за внутренней средой ВУЗа (процессной системой). Управление подразделениями происходит по «входу» и «выходу». Основная задача управления заключается в повышении эффективности и прозрачности, а также делегировании полномочий и наделении ответственностью. Для каждого процесса управления университетом выделены: владельцы процесса, подпроцессы и документация по каждому процессу.

### 2.2 Функциональный подход

Такой принцип построения информационного пространства реализован на внешнем портале ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова». Организационная структура такого принципа строится на основе группировок по функциям (научная деятельность, инновационная деятельность, международная деятельность и т.д.). Общий вид такой системы представлен на рисунке 2.

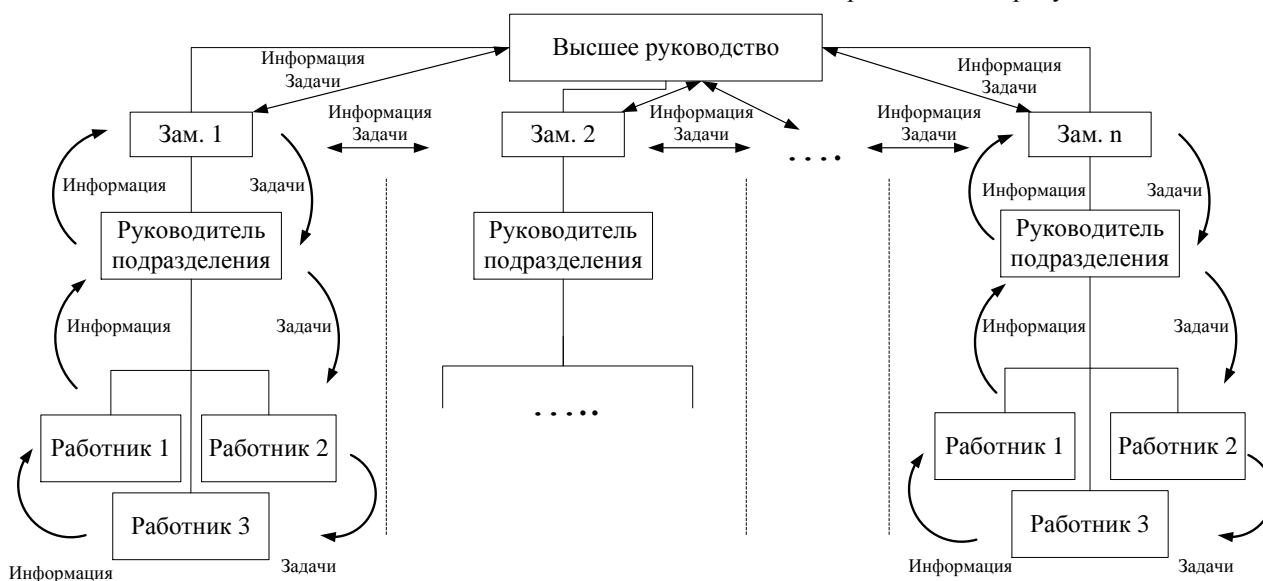


Рис. 2. Функциональная схема управления

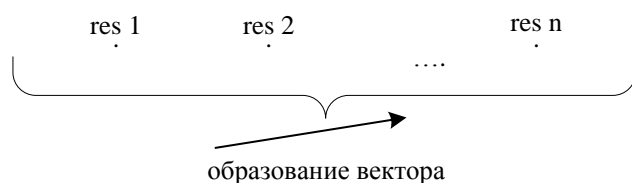
Новый принцип построения информационного пространства в ВУЗе: принцип выделения общего результата

Организованы четкие иерархические связи между организационными единицами, каждая из которых находится в своей функциональной нише. С нижних уровней поток информации идет на верхние уровни, на верхнем уровне руководство решает как выполнить задачу и спускают задачу вниз по всей иерархии. Горизонтальные связи практически отсутствуют.

### 2.3 Новый подход

Авторами предложен новый принцип построения информационного пространства – это принцип выделения общего результата. В основу принципа заложены этапы операций.

1. Выделение достигаемых результатов (рис. 3).

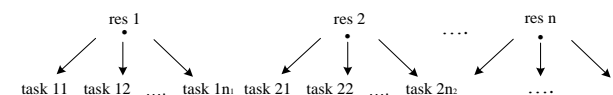


**Рис. 3. Достигаемые результаты**

На рисунке 3 введены обозначения «res 1, ..., res n» – совокупность результатов, образующая вектор, формирующийся на основе внешних и внутренних вызовов. Это такие вызовы, как:

- требования Министерства Образования РФ к результату обучения;
- требования к результатам научной деятельности.

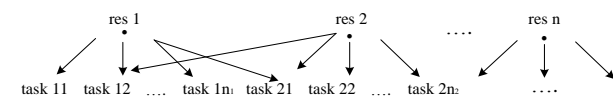
2. Определение задач для достижения каждого результата (рис. 4).



**Рис. 4. Определение задач**

На рисунке 4 введены обозначения «task 11, ..., task 2n2, ...» – задачи, определенные для получения необходимого результата.

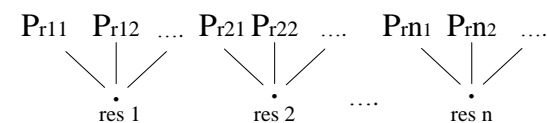
3. Определение пересечения пространства задач (рис. 5)



**Рис. 5. Достигаемые результаты**

Как видно из рисунка 5, возможны варианты, при которых для достижения разных результатов выполняются одинаковые задачи.

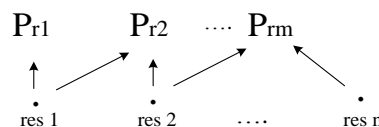
4. Определение свойств результата (рис. 6).



**Рис. 6. Свойства результатов**

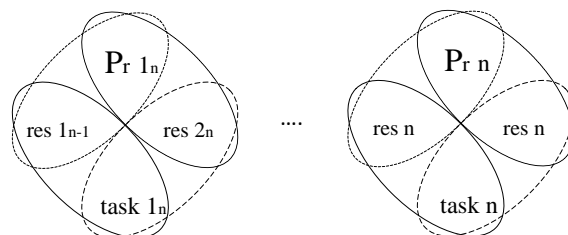
На рисунке 6 введены обозначения «Pr11, ..., Prn2, ...» – свойства каждого из результатов.

5. Определение пересечения свойств (рис. 7).



**Рис. 7. Пересечение свойств**

6. Выделение центров общности результата, свойств и задач (рис. 8).



**Рис. 8. Общее в результатах, свойствах и задачах**

В результате устраняется дублирование функций в различных процессах, структурах информационной системы, централизация хранения данных.

### 3. Заключение

1. Проанализированы наиболее популярные подходы, которые показали, что существует пересечение результатов.

2. Предложен новый подход для устранения существующих недостатков, основанный на выявлении пересечения результатов.

### Список используемых источников

1. Концепция формирования и развития единого информационного пространства России и соответствующих государственных информационных ресурсов (одобрена решением Президента РФ от 23.11.1995 N Пр-1694)-М. :НТЦ «Информрегистр», 1996.
2. Jakle John A., Brunn S., Roseman C. Human Spatial Behavior: A Social Geography. – North Scituate, 1976. – P. 118.
3. Закупень Т.В. Правовые и организационные аспекты формирования информационного пространства государств-участников СНГ. – М.: Молодая гвардия, 1998. – 237 с.
4. Костюк В.Н. Информационные процессы в постиндустриальном обществе. Общественные науки и современность. – 1996. – № 6. – С. 101-110.
5. Педагогика: Большая современная энциклопедия / Сост. Е.С. Рапацевич. – Минск.: «Современное слово», 2005. – 720 с.

6. Федоров А.В. Словарь терминов по медиаобразованию, медиапедагогике, медиаграмотности, медиакомпетентности. – Таганрог: Изд-во Таганрог. гос. пед. ин-та, 2010. – 64 с.
7. Система профессионального образования в России: проблемы и перспективы развития: монография / Л.В. Бурая, М.А. Коваженков, В.В. Королева, В.В. Коротаева, Е.В. Коротаева, О.С. Логунова, Л.И. Миронова, С.С. Чернов, И.М. Ячиков / Новосибирск, 2011. – Том 2. – 184 с.
8. Логунова О.С., Ильина Е.А., Окжос К.М. Система оценки качества статей научного журнала // Математическое и программное обеспечение систем в промышленной и социальной сферах. – 2015. – №2 (7). – С. 56-57.
9. Королева В.В., Логунова О.С., Макарычев П.П. Оценка социального заказа на подготовку кадров в многоуровневой системе образования России // Проблемы теории и практики управления. - 2010. - №5. - С. 43-52.
10. Пинаев Д.А. Процессное управление: в чем сила? // Босс. – 2012. – №3. – С. 21-28.

## Авторы

Abbasi Mohsin Manshad.....	42	Литвинова А.А.....	56
Barabanov A.V.....	105, 111	Логунова О.С.....	82, 96, 161, 187
Beltiukov A. P.....	42	Майоров Е.Р.....	156
Gusarenko A.S.....	10	Макаровских Т.А.....	170
Korácsi S.....	1	Максютов И.Р.....	48
Kovacs G.L. ....	1	Малочкина А.В.....	183
Markov A.S.....	105, 111	Мартынов В.В.....	137
Mironov V.V.....	10	Массель А.Г.....	15
Tsirlov V.L.....	105, 111	Мезал Я.А.....	151
Yusupova N.I.....	10	Минасова Н.С.....	175
Арефьева Д.Я.....	82	Михеева Т.И.....	90, 119
Ботов Д.С.....	20	Муравьева Е.А.....	60
Валеев С.С.....	48, 52, 86, 147	Нафикова А.Р.....	31
Германова В.А.....	132	Низамутдинов М.М.....	127
Головнин О. К.....	90, 115, 123	Орешников В.В.....	127
Горбатова Е.А.....	78	Остроглазов Н.А.....	119
Григорьев Е.С.....	60	Ошурков В.А.....	161
Емельяненко Е.А.....	78	Панюков А.В.....	74, 151
Жаринов В.Н.....	67	Попов С.Н.....	187
Житников В.П.....	165	Прокудина Е.И.....	132
Житникова Н.И.....	143	Романова Е.А.....	115
Загитова А.И.....	52	Сапрыкин О.Н.....	56, 156
Зарецкий М.В.....	78	Сибилева Н.С.....	96
Зарипов А.А.....	143	Соколова А.А.....	165
Зигангирова Ю.В.....	86	Соколова А.В.....	101
Зиннатуллина О.Р.....	143	Соловьев К.А.....	60
Зубаирова Н.В.....	137	Тархов С.В.....	175
Ибатуллин А.А.....	31	Тархова Л.М.....	175
Ильина Е.А.....	82, 187	Уварова Л.А.....	156
Искандаров Ф.Ф.....	101	Хасанов З.М.....	64
Исмаилова И.М.....	147	Чумакова М.В.....	36
Ищенко Д.С.....	180	Шерыхалин К.О.....	165
Кленин Ю.Д.....	20	Юсупова Н.И.....	36
Козина Е.Н.....	74		
Козько А.А.....	27		
Кутовой Н.Н.....	123		



V Всероссийская конференция  
**Информационные технологии интеллектуальной  
поддержки принятия решений**  
(с приглашением зарубежных ученых)

The 5<sup>th</sup> All-Russian Conference on  
**Information Technologies for Intelligent Decision Making Support**

**International Scientific Issue**  
**Volume 1**

Edited 04.05.2017. Size 60x84 1/8. Paper Wr.  
Font Times New Roman.  
Con. pr. pg. 28,38. Electron. edition.  
"Group of companies "Center",  
K. Marx Str. 37/3, Ufa, office 203

Ufa State Aviation Technical University  
USATU Editorial-Publishing Office  
K. Marx Str., 12, Ufa, 450008, Russia

Пятая Всероссийская конференция  
"Информационные технологии интеллектуальной поддержки  
принятия решений" (с приглашением зарубежных ученых)  
Том 1  
Международное научное издание

Подписано в печать 04.05.2017. Формат 60x84 1/8  
Бумага офсетная. Гарнитура Times New Roman.  
Усл. печ. л. 28,38. Электрон. изд.  
ООО «Группа компаний «Центр», г. Уфа,  
ул. К. Маркса 37/3, офис 203

ФГБОУ ВО Уфимский государственный авиационный технический  
университет  
Редакционно-издательский комплекс УГАТУ  
450008, г. Уфа, ул. К.Маркса, 12

# ITIDS '2017

The 5th All-Russian Conference on  
Information Technologies for  
Intelligent Decision Making Support

Ufa, Russia, 16-19 May



*Organized by*

Ministry of Education of The Republic of Bashkortostan

Ufa State Aviation Technical University

Institute for Social and Economic Research (USC RAS)