

National Academy of Sciences of Ukraine  
V.M.Glushkov Institute of Cybernetics

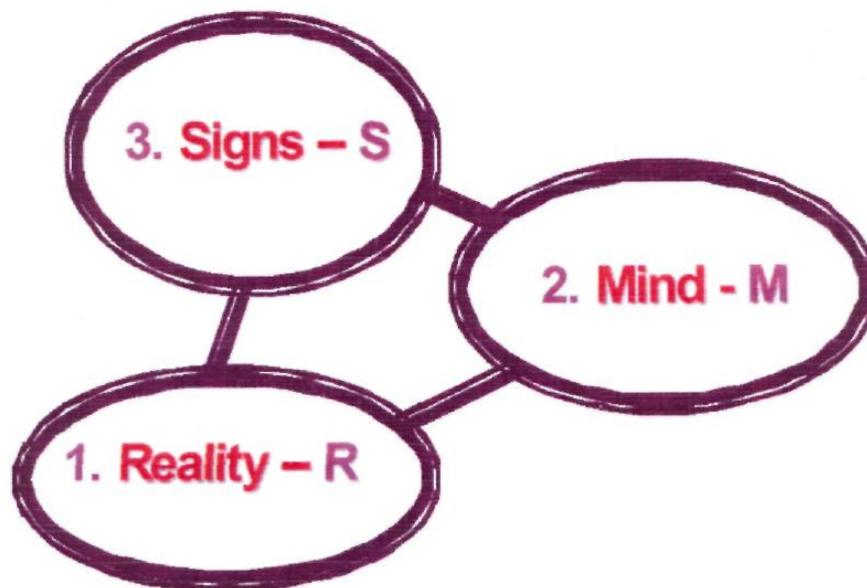
---

---

I T H E A

---

---



# Problems of Computer Intellectualization

---

---

KYIV - SOFIA

---

---

2 0 1 2



**National Academy of Sciences of Ukraine  
V.M.Glushkov Institute of Cybernetics**

**I T H E A**

**Problems  
of  
Computer  
Intellectualization**

**Kyiv - Sofia**

**2 0 1 2**

**Vitalii Velychko, Alexey Volosyn, Krassimir Markov (ed.)**

**Problems of Computer Intellectualization**

V.M.Glushkov Institute of Cybernetics of National Academy of Sciences of Ukraine,

ITHEA®

2012, Kyiv, Ukraine - Sofia, Bulgaria

ISBN: 978-966-02-6529-5 (printed)

ISBN: 978-954-16-0061-0 (printed)

ISBN: 978-954-16-0062-7 (online)

ITHEA IBS ISC No.: 28

First edition

Printed in Ukraine

Recommended for publication by The Scientific Council of the Institute of Information Theories and Applications FOI ITHEA

This issue contains a collection of papers in the fields of Natural Language Processing, Pattern Recognition and Decision Making as well as other important areas of Artificial Intelligence. Papers in this issue are selected from the XVIII-th International Conference "Knowledge-Dialogue-Solution", Kyiv, Ukraine, 2012 – a part of the Joint International Events of Informatics "ITA 2012", Autumn Session.

It is represented that book articles will be interesting for experts in the field of information technologies as well as for practical users.

**© All rights reserved.**

This work is subject to copyright. All rights are reserved, whether the whole or part of the material is concerned, specifically the rights of translation, reprinting, reuse of illustrations, recitation, broadcasting, reproduction on microfilm or in any other way, and storage in data banks.

The use of general descriptive names, registered names, trademarks, etc. in this publication does not imply, even in the absence of a specific statement, that such names are exempt from the relevant protective laws and regulations and therefore free for general use.

**Copyright © 2012**

© 2012 V.M.Glushkov Institute of Cybernetics of NASU – Publisher;

© 2012 ITHEA® – Publisher;

© 2012 Vitalii Velychko, Alexey Volosyn, Krassimir Markov – Editors

© 2012 For all authors in the book.

® ITHEA is a registered trade mark.

**ISBN: 978-966-02-6529-5 (printed)**

**ISBN: 978-954-16-0061-0 (printed)**

**ISBN: 978-954-16-0062-7 (online)**

C\o Jusautor, Sofia, 2012

## PREFACE

ITHEA International Scientific Society (ITHEA ISS) is aimed to support growing collaboration between scientists from all over the world. The scope of the books of the ITHEA ISS covers the area of Informatics including Computer Science. ITHEA ISS welcomes scientific papers and books connected with any information theory or its application.

ITHEA ISS rules for preparing the manuscripts are compulsory.

ITHEA Publishing House is the official publisher of the works of the ITHEA ISS.

Responsibility for papers and books published by ITHEA belongs to authors.

This book maintains articles on actual problems of research and application of information technologies, especially the new approaches, models, algorithms and methods for information modeling of knowledge in: Intelligent NL Processing; Management of computing and information system; Knowledge Engineering; Mathematical Foundation of Artificial Intelligence; Computing; Decision Making; Economics Decision Support Systems; Modern (e-) Learning; Philosophy and Methodology of Informatics.

Papers in this issue are peer reviewed and selected from the XVIII-th International Conference "Knowledge-Dialogue-Solution", Kyiv, Ukraine, 2012 – a part of the ITHEA Joint International Events of Informatics "ITA 2012", Autumn Session.

KDS 2012 has been organized by V.M.Glushkov Institute of Cybernetics of National Academy of Sciences of Ukraine in collaboration with:

- ITHEA International Scientific Society
- Association of Developers and Users of Intelligent Systems (Ukraine)
- Federation of the Scientific - Engineering Unions /FNTS/ (Bulgaria)
- National Academy of Sciences of Ukraine
- Institute of Information Theories and Applications FOI ITHEA (Bulgaria)
- Taras Shevchenko National University of Kiev (Ukraine)
- Kharkiv National University of Radio Electronics (Ukraine)
- Institute of Mathematics and Informatics, BAS (Bulgaria)
- Institute of Mathematics of SD RAN (Russia)

The International Conference "Knowledge-Dialogue-Solution" (KDS) was established as result of the scientific co-operation organized within 1986-1992 by two international workgroups (IWG) researching the problems of data bases and artificial intelligence. As a result of tight relation between these problems in 1990 in Budapest appeared the International scientific Working Group of "Data Base Intellectualization" (IWGDBI) integrating the possibilities of databases with the creative process support tools. Heads of the IWGDBI were V.Gladun (Ukraine) and R.Kirkova (Bulgaria).

In 1992 the "Association of Developers and Users of Intelligent Systems" (ADUIS) had been established. ADUIS was chosen to be the main organization of the KDS international conferences. In the same time the "Institute of information theories and application FOI ITHEA" (ITHEA) started working in Bulgaria.

During the years, in collaboration with ITHEA, KDS had been organized in Ukraine, Poland, Russia, and Bulgaria.

More information about ITHEA International Conferences is given at the [www.ithea.org](http://www.ithea.org).

We express our thanks to all authors, editors and collaborators.

The great success of ITHEA International Journals, Books and Conferences belongs to the whole of the ITHEA International Scientific Society.

*Kyiv-Sofia, September 2012*

*V. Velychko, A. Voloshin, Kr. Markov*

## TABLE OF CONTENTS

<i>Preface</i> .....	3
<i>Table of Contents</i> .....	5
<i>Index of Authors</i> .....	8
<b>Intelligent NL Processing</b>	
Формальное определение ситуации для семантического анализа текстов естественного языка <i>Леонид Святогор, Виктор Гладун</i> .....	9
О моделировании понимания <i>Владимир Сторож</i> .....	21
Численные меры “сплоченности” именных групп <i>Леонид Леоненко</i> .....	31
<b>Management of computing and information system</b>	
Method for Determination of Interrelation between Access Network Characteristics <i>Galyna Gayvoronska, Svetlana Sakharova</i> .....	41
About the Problem of Development of Messages Stream Model in the Convergent Telecommunication Network <i>Galyna Gayvoronska, Maxim Solomitsky</i> .....	47
Modeling Telecommunications Traffic Using the Stochastic Multifractal Cascade Process <i>Lyudmyla Kirichenko, Tamara Radivilova, Eias Kayali</i> .....	55
Steps in the Development of the Information Networks’ User Model as Badly Formalized Object <i>Anastasia Smirnova</i> .....	64
Анализ эффективности алгоритмов резервирования ресурсов оптической сети <i>Юрий Гриньков</i> .....	71
<b>Knowledge Engineering</b>	
К вопросу естественно-языковой адресации <i>Крассимира Иванова, Виталий Величко, Крассимир Марков</i> .....	77
Интеллектуализация экспертных систем с помощью онтологий <i>Глибовец Н.Н., Красиков Д.С.</i> .....	84
К вопросу разработки информационно-справочного обеспечения инструментального комплекса онтологического назначения <i>Палагин А.В., Петренко Н.Г., Величко В.Ю., Тихонов Ю.Л., Семенков В.В., Митрофанова А.Е.</i> .....	91
Онтологоуправляемая системная оптимизация <i>Юрий Чаплинский, Елена Субботина</i> .....	99
<b>Mathematical Foundation of Artificial Intelligence</b>	
‘Feature Vectors’ in Grouping Information Problem in Applied Mathematics: Vectors and Matrixes <i>Donchenko V., Zinko T., Skotarenko F.</i> .....	111

Алгоритм построения выпуклого продолжения полиномов на полиперестановках и сфера его применения <i>Пичугина Оксана</i> .....	125
---	-----

## Computing

System of Programs Proving <i>Alexander Letichevsky, Olexander Letichevskiy, Marina Morokhovets, Vladimir Peschanenko</i> .....	133
Обучение рекуррентных нейронных сетей методом псевдорегуляризации для многошагового прогнозирования на примере хаотического процесса Маккея-Гласса <i>Артем Чернодуб</i> .....	141
Анализ алгоритмов прогнозирования третичной структуры протеина на базе метода оптимизации муравьиными колониями <i>Леонид Гуляницкий, Виталина Рудык</i> .....	152
Combining the Backpropagation Algorithm Training Functions for a Bitmap-Character Recognition Problem under Noise with Feed-Forward Neural Network <i>Vadim Romanuke</i> .....	160
Создание специализированной поисковой системы на базе облачных технологий <i>Глибовец Андрей, Ситмамбетов Назим</i> .....	167
Создание рекомендационной системы учебного типа с использованием фреймворка Windows Communication Foundation <i>Глибовец Николай Николаевич, Сидоренко Марина Олеговна</i> .....	176
Аспекты неклассической теории номинации и их использование в формальных языках <i>Россада Татьяна</i> .....	182

## Decision Making

Многокритериальная оценка альтернатив <i>Альберт Воронин</i> .....	190
Expert System of Rational Decision Making of Distribution of Electric in Branched Electrical Network <i>Kyzemin Oleksandr, Irina Gurina</i> .....	200

## Economics Decision Support Systems

Анализ кредитоспособности заемщиков - юридических лиц в условиях неопределенности <i>Юрий Зайченко</i> .....	208
Обобщения принципов распределения затрат для нечетких моделей распределения <i>Алексей Волошин, Василий Лавер</i> .....	219
Разработка и использование интегрального индекса бюджетной сферы <i>Леонид Гуляницкий, Диана Омелянчик</i> .....	227
Двухуровневая модель нечеткого рационального многокритериального выбора <i>Н.Н.Маляр, В.В. Полищук</i> .....	242
Оценка эффективности прогнозирования и принятия решений на финансовом рынке <i>Александр Берзлев</i> .....	249

Модель оптимизации прибыли предприятий лесопильной отрасли <i>Роман Шулла, Михаил Повидайчик</i> .....	258
<b>Modern (e-) Learning</b>	
Формирование базовых структур восприятия информации <i>Владимир Донченко</i> .....	263
Почему не используются электронные образовательные ресурсы <i>Андрей Федосеев</i> .....	269
Образовательные парадигмы в цифровую эпоху <i>Диана Богданова</i> .....	274
Электронное портфолио как средство сопровождения студентов в образовательном процессе вузов <i>Воронцов Сергей, Болгов Михаил, Артемьева Ирина</i> .....	279
Учеба в виртуальных мирах <i>Григоркив Василий, Винничук Елена, Винничук Игорь</i> .....	287
Учебно-методическая тестирующе-оценивающая программная система поддержки учебных курсов по теории принятия решений <i>Алексей Волошин, Даниил Ковалёв</i> .....	293
Использование организационной модели ОрегА для управления рынком знаний <i>Глибовец Николай Николаевич, Сидоренко Марина Олеговна</i> .....	299
Процессы выбора альтернативных решений при проектировании информационных сетей <i>Галина Гайворонская</i> .....	307
Опыт использования методов решения задач выбора в условиях неопределенности и риска при проектировании компьютерных сетей <i>Максим Соломицкий, Оксана Болотина</i> .....	318
Применение обучающей программы SMPR при выборе технологий сетей доступа <i>Антон Бондаренко</i> .....	332
Моделирование оценки знаний выпускника вуза <i>Николай Маляр, Анатолий Штимак</i> .....	339
Некоторые аспекты использования информационных технологий в образовательной системе Украины <i>Наталья Кондрук, Наталья Юрченко</i> .....	344
<b>Philosophy and Methodology of Informatics</b>	
Когнитивная семиотика в процессах образного мышления <i>Юрий Валькман</i> .....	349
Divergent and Multiple-Valued Sequences and Functions <i>Igor Gorban</i> .....	358
ITHEA International Scientific Society .....	374

## INDEX OF AUTHORS

Volodymyr	Donchenko	111	Юрий	Гриньков	71
Galyna	Gayvoronska	41, 47	Леонид	Гуляницкий	152, 227
Igor	Gorban	358	Владимир	Донченко	263
Irina	Gurina	200	Юрий	Зайченко	208
Eias	Kayali	55	Крассимира	Иванова	77
Lyudmyla	Kirichenko	55	Даниил	Ковалёв	293
Oleksandr	Kyzemin	200	Наталия	Кондрук	344
Olexander	Letichevskiy	133	Дмитрий	Красиков	84
Alexander	Letichevsky	133	Василий	Лавер	219
Marina	Morokhovets	133	Леонид	Леоненко	31
Vladimir	Peschanenko	133	Николай	Маляр	242, 339
Tamara	Radivilova	55	Крассимир	Марков	77
Vadim	Romanuke	160	Анна	Митрофанова	91
Svetlana	Sakharova	41	Диана	Омельянчик	227
Fedir	Skotarenko	111	Александр	Палагин	91
Anastasia	Smirnova	64	Николай	Петренко	91
Maxim	Solomitsky	47	Оксана	Пичугина	125
Taras	Zinko	111	Михаил	Повидайчик	258
Ирина	Артемьева	279	Владимир	Полищук	242
Александр	Берзлев	249	Татьяна	Россада	182
Диана	Богданова	274	Виталина	Рудык	152
Михаил	Болгов	279	Леонид	Святогор	9
Оксана	Болотина	318	Виталий	Семенков	91
Антон	Бондаренко	332	Марина	Сидоренко	176, 299
Юрий	Валькман	349	Назим	Ситмамбетов	167
Виталий	Величко	77, 91	Максим	Соломицкий	318
Елена	Винничук	287	Владимир	Сторож	21
Игорь	Винничук	287	Елена	Субботина	99
Алексей	Волошин	219, 293	Юрий	Тихонов	91
Альберт	Воронин	190	Андрей	Федосеев	269
Сергей	Воронцов	279	Юрий	Чаплинский	99
Галина	Гайворонская	307	Артем	Чернодуб	141
Виктор	Гладун	9	Анатолий	Штимак	339
Андрей	Глибовец	167	Роман	Шулла	258
Николай	Глибовец	84, 176, 299	Наталия	Юрченко	344
Василий	Григоркив	287			

---

---

## Intelligent NL Processing

---

---

### ФОРМАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ СИТУАЦИИ ДЛЯ СЕМАНТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ТЕКСТОВ ЕСТЕСТВЕННОГО ЯЗЫКА

Леонид Святогор, Виктор Гладун

**Аннотация:** Предложен новый метод семантического анализа текстов естественного языка, основанный на совместном использовании знаний о Море, знаний в Предметной области и знаний о ситуации. Введено понятие «конструкт ситуации», на основе которого построен формат Лексической структуры ситуации. Обсуждаются подходы к ситуационному мышлению и определению смысла. Дан пример семантического анализа и выделения смысла дискурса.

**Ключевые слова:** текст естественного языка, семантическая структура, ситуация, онтология, смысл текста

**ACM Classification Keywords:** 1.2.7 Natural Language Processing – Text analysis

---

#### Введение

Задача автоматического анализа и компьютерного понимания семантически-насыщенных текстов естественного языка (деловой прозы, литературных произведений, и т.д.) является одной из актуальных задач Искусственного интеллекта. Здесь сливаются два потока изучения: лингвистический анализ (*Text processing*) и представление знаний (*Knowledge representation*) [Мельчук, 1974], [Демьянков, 1985], [Рубашкин, 1989], [Шенк, 1980], [Витгенштейн, 2009], [Звенигородский, 2010], [Гаврилова, 1997], [Рыбина, 2010]. В этом направлении сделана попытка представить внутреннее содержание текста, или смысл, как некоторую формальную конструкцию в языковой Картине Мира. В частности, в работах [Гладун и др, 2008], [Гладун, Святогор, 2011] предложена модель онтологической Картины Мира в виде концептуального графа, а текст отображается на онтологию, возбуждая в ней множество подграфов, или смысловых траекторий. Множество смысловых траекторий предложено считать *онтологическим смыслом текста*. Процедура реализуется при помощи компьютерных средств.

Анализ текста человеком опирается, прежде всего, на понимание входящих в него *предложений*, каждое из которых выражает законченную мысль автора. Он оформляет мысль выразительными средствами живого языка в соответствии с личной коммуникационной задачей. Поэтому предложение субъективно по его рождению, но объективно по интерпретации в общей (социальной) среде знаний; оно несёт семантическую и прагматическую нагрузку. Однако смысловое усвоение информации потребителем – понимание предложения – есть творческое усилие личности, направленное на согласование сказанного с его личной базой знаний, и успех здесь зависит от интеллекта и опыта субъекта.

В то же время при чтении текста (дискурса) ограничиться пониманием отдельных предложений мы не можем – необходимо связать весь текст в единое целое, создать «образ текста», сформировать его смысл, дать общую оценку в соответствии с персональной базой знаний.

Движение от текста к смыслу происходит через образование ситуаций. В семиотических моделях репрезентации знаний «*универсальной единицей репрезентации знаний и смысла является ситуация*» [Штерн, 1998]. В процессе чтения мы выдвигаем гипотезу о некоторой текущей ситуации, затем следим за её развитием, чтобы в итоге синтезировать ту ситуацию, из которой вытекает смысл дискурса.

В данной работе под *ситуацией* мы будем понимать определённую, зафиксированную в языке *реализацию* событийной Картины Мира. Это семантическая *макроструктура*, которой в тексте соответствует грамматическая конструкция, отвечающая на вопросы: «Что случилось?», «Что происходит?».

Ситуационный анализ текстов не должен противоречить концептуальному анализу, а должен его дополнять. За счёт этого можно добиться более глубокой интерпретации и понимания текстов ЕЯ.

Цель данной работы в том, чтобы *формализовать* понятие «ситуация» и включить его в алгоритмическую обработку дискурсов.

---

### Об онтологии ассоциаций

---

Процедура концептуального анализа ЕЯ текстов основана на представлении Картины Мира в виде семантической сети – онтологии. Предложенная в работах [Гладун и др, 2008], [Гладун, Святогор, 2011]. Онтология ассоциаций – как познавательная структура Знаний – представлена в виде иерархической трёхуровневой сети (**ИО\*3**) и задана графом концептуальных зависимостей.

Понятийная Модель знаний основана на учении академика В.И. Вернадского (1863–1945) о ноосфере. Иерархия знаний распространяется по сети от верхней категории «Материя» через «Косное вещество», «Энергию» и «Живое вещество» на уровни с концептами меньшей общности (например, такие как «Разум», «Человек», «Общество», «Искусство», «Музыка», «Музыкальные инструменты» и т.д.), и далее – вплоть до нижнего уровня понятий конкретных предметных областей (ПрО). В онтологии наряду с родовыми связями широко используются ассоциативные отношения.

Онтология **ИО\*3** предназначена для того, чтобы исследовать семантику текста в контексте общих знаний о Мире. Конкретно такое исследование представляет собой алгоритмическую процедуру, состоящую из трёх этапов: **(а)** выделение в тексте *значимых слов*; **(б)** построение для каждого значимого слова такой цепочки концептов в онтологической сети, которая ведёт от заданного слова (концепта) к вершине онтологии (*смысловой траектории*); **(в)** образование из множества цепочек *онтологического смысла* связанного текста.

*Под онтологическим (концептуальным) смыслом текста понимается полная совокупность смысловых траекторий, полученных проецированием значимых слов текста на граф онтологии.*

Затем лингвистический процессор преобразует множество траекторий в *литературный смысл* документа. Литературный смысл представляет собой одно или несколько предложений естественного языка – таких, что они в предельно сжатой форме передают замысел автора дискурса, освобождённый от литературно-художественного оформления.

Эффективность алгоритма концептуально-литературного анализа была продемонстрирована на примере художественного отрывка, взятого из рассказа «Триста спартанцев» [Гладун, Святогор, 2011]. В эксперименте проявились и недостатки данного алгоритма. Они заключаются в следующем.

1. Смысловые траектории не поддерживают *семантическое единство слов* внутри предложения, в результате чего семантика отдельного предложения сводится к семантике его членов. Связность текста достигается только на родовых и ассоциативных связях между значимыми словами текста.

2. Концептуальная онтология представляет *статическую* Картину Мира, между тем как осмысление текста есть последовательный *динамический процесс*, в ходе которого постепенно, во времени, выкристаллизовывается глубинный смысл.

Эти недостатки могут быть преодолены на пути создания **нового класса онтологий** – *концептуально-ситуационных онтологий*.

---

## Ситуационное мышление (краткий обзор)

---

«В течение жизни сознание одного субъекта работает с огромным количеством ситуаций, которые повторяются с некоторыми изменениями и характеризуются постоянством образов и их поведением. Это постоянство сознанием определяется как смысл» [Звенигородский, 2010].

В данном высказывании содержится идея, которая кажется нам весьма конструктивной. Человек настолько хорошо ориентируется в реальной среде, насколько хорошо наблюдение совпадает с его личным опытом; опыт же человека – конечен и сформирован набором стандартных ситуаций. Опыт служит основой умозаключений.

Термин «ситуация» настолько широко применяется в человеческом общении, что это неизбежно приводит к его расплывчатому толкованию. Выяснением того, **что есть ситуация**, занимаются лингвисты, психологи, нейрофизиологи [Штерн, 1998], [Звенигородский, 2010], [Кисленко, 2008]. В последнее время понятия ситуационного мышления и ситуационного моделирования становятся ключевыми в проблеме понимания естественного языка и окружающей среды. Причина очевидна: человек формирует представление о Мире в значительной степени при помощи обобщённого описания его *состояний*, то есть, по сути, – ситуаций.

Для передачи *семантического* содержания, изначально присущего термину «ситуация», необходимо обратиться к категориям семантики.

Семантическая классификация высказываний восходит к Аристотелю (IV в. до н.э.), который выделил 10 категорий семантики: *субстанция, количество, качество, отношение* и др. В средневековой логике активно разрабатывается учение об «идеях вещей» [Арно, Николь, 1991], открывающее пути к определению понятия «знак» (Г. Фреге, 1848–1925).

Современные исследователи, исследующие язык на концептуальном уровне, вводят онтологические категории типа «образной схемы» (Дж. Лакофф) или «конфигурационной структуры» (Л. Талми), посредством которых естественный язык осуществляет концептуальное структурирование обобщённых представлений о действительности. Р. Шенк предложил описывать *смысловую структуру ситуации* при помощи «типовых базовых действий», количество которых ограничено, – например: «перемещать объект», «передавать информацию», «сфокусироваться на актуальном стимуле» и др. [Шенк, 1980].

Связь ситуации с её пониманием на смысловой основе отмечается многими исследователями. «Сторонам общения должны быть ясны такие индикаторы речи как **«кто», «кому», «что», «зачем», «как»** говорит и какой вывод вытекает из сказанного» [Звягинцев, 2009]. Эта идея в общем виде прослеживается в области стратификации Знаний. Например, Т.А. Гаврилова вводит в рассмотрение восемь страт знаний, в числе которых присутствуют: **«кто-знания»** (субъектный анализ), **«что-знания»** (объектный анализ), **«зачем-знания»** (целевой анализ), **«где-знания»** (локальный анализ), **«когда-знания»** (временной анализ) и другие [Гаврилова, Воинов, 1997].

Наиболее полный перечень глубинных падежей, использующихся для описания типов актантов, мы встречаем у Г.В. Рыбиной. Семантический объект характеризуется с разных сторон его изучения, причём ролевые функции актантов укладываются в формат *«Быть признаком действия»*. Полный список глубинных падежей содержит 16 признаков действия: *агент, объект, адресат, тема, инструмент, место, начальная точка, конечная точка, цель, условие, время, способ, срок, количество, результат, контрагент* [Рыбина, 2010]. Заметим, что этот ролевой список мы имеем право дополнить новыми семантическими координатами, которые характеризуют другие стороны ситуации, например: *оценка действия, состояние, мешающие факторы, последствия, сравнение ресурсов, результат сравнения, эмоции субъекта, прогноз* и т.д.

Что касается собственно понятия «ситуация», то чёткое определение ситуации как семантической структуры дано в энциклопедическом словаре И.Б. Штерн: «В основу семиотических моделей репрезентации знаний положена идея о том, что универсальной элементарной единицей репрезентации знаний и смысла является ситуация, и что каждая ситуация раскладывается на предикат – «носитель» самого действия, и актанты – объекты, которые создают ситуацию. Функциональные отношения между предикатом и актантами (смысловые роли, семантические категории), отображают семантическую структуру этой ситуации» [Штерн, 1998]. Опираясь на конечное множество ролевых функций актантов в естественном языке, можно создать предпосылки для описания ситуации как целостного семантического объекта.

Одна из серьёзных попыток применить кибернетический подход к определению понятия «ситуация» предпринята в работе А.С. Звенигородского. Он отмечает, что «Задачу понимания смысла текста мы рассматриваем на множестве небольших текстов из простых предложений. Они описывают ситуации из внешнего мира, и в этих ситуациях участвует ограниченное множество образов». Автор вводит понятие «Сенсорной проблемной области ситуаций» (СПОС), которое раскрывается через семантические компоненты, такие как, например: «Точка отсчёта на сцене», «Время», «Шкала свойства положения образа», «Свойства движения образа», «Сцена». Сравнение состояния текущей сцены с состоянием сцены из памяти производится при помощи математической процедуры «Операция» [Звенигородский, 2010].

Явное указание на возможность конструирования ситуации при помощи семантических метапонятий содержится в вышеупомянутой работе [Штерн, 1998]. «Ситуационная (синтагматическая) семантика характеризует, по определению, явные и неявные связи между текстовыми объектами, образующими семантическую сеть. В качестве семантических категорий выступают метапонятия, выражающие глубинные падежи».

Из приведенного обзора мы можем сделать вывод, что путь к глубокому анализу текста лежит через выявление ситуаций, которые служат его **смысловыми блоками**. Таким образом, мы подошли к основной задаче – дать формальное определение **Лексической структуры ситуации**.

---

## Формат Лексической структуры ситуации

---

### Определение 1.

**Конструктом ситуации** будем называть слово фиксированного метаязыка, которое указывает в предложении *ролевою функцию* автономного лексического выражения и является *семантическим элементом структуры ситуации*.

**Конструкт** =: <Субъект> / <Цель> / < Объект> / <Признак> / <Инструмент> / <Действие> / <Намерение> / <Причина> / <Условие> / <Сравнение> / <Мера> / < Среда> / <Помехи> / <Место> / <Время> / <Обстоятельство> / <Состояние> / <Следствие> / <Результат> / <Оценка> <Акцент > / <Ожидание > / <Прогноз> / <Пустой конструкт>;

**Ролевая функция** =: <Конструкт> <Значение >;

**Значение** =: <Лексическое выражение>.

**Лексическое выражение** – это семантически-целостный фрагмент предложения, который служит пояснением (*глубинным падежом*, характеристикой) выбранного члена предложения.

Здесь и ниже косая черта используется как разделитель «или». Пустой конструкт служит для вероятного пополнения множества конструктов. Конструкт является нетерминальным символом.

Ролевая функция, например, может иметь вид:

<Субъект> Ксеркс; <Цель> завоевать; < Объект> Греция.

Определение 2.

**Конструктивная схема ситуации (КСС)** есть кортеж:

$$КСС = \langle O, K, \& \rangle,$$

где: **O** – множество обозначений; **K** – множество конструкторов; **&** – множество связей.

**КСС** =: <Обозначение> <Последовательность конструкторов>;

**Обозначение** =: 1, 2, 3, ... ;

**Последовательность конструкторов** =: < Конструктор> – <Конструктор> – ... – <Конструктор>.

Таким образом, в общем виде Конструктивная схема ситуации представляет собой упорядоченную цепочку конструкторов, которая начинается номером ситуации.

Например, граф **КСС** для произвольной ситуации может иметь такие сочетания конструкторов:

1 – *Субъект – Цель – Действие – Объект – Результат*;

9 – *Цель – Инструмент – Обстоятельство – Результат*;

16 – *Субъект – Признак – Действие – Признак – Объект – Признак*

20 – *Результат – Оценка – Прогноз*.

Определение 3.

**Лексическая структура ситуации (ЛСС)** – это ориентированный граф, полученный при помощи дерева разбора предложения, вершинами которого служат имя ситуации и ролевые функции главных и второстепенных членов предложения. Базовым понятием ЛСС служит «Ядро ситуации».

**ЛСС** =: < Имя ситуации > < Ядро ситуации > < Контекст ситуации >;

**Имя ситуации** =: <Лексическое выражение>;

**Ядро ситуации** =: < *Субъект*> < *Значение*> & < *Действие*> < *Значение*> & < *Объект*> < *Значение*> &;

**Контекст ситуации** =: < *Ролевая функция субъекта*> & < *Ролевая функция действия*> & < *Ролевая функция объекта*> & < *Ролевая функция*> ... < *Ролевая функция*>;

**&** – это знак объединения в группу.

Значениями ядерных конструкторов и остальных конструкторов служат лексические выражения. Ролевые функции отдельных членов ядра могут быть пустыми.

Определение 3 подчёркивает **основную идею**: *ситуация в основном определяется её ядерной конструкцией*. Контекст ситуации несёт в себе вспомогательную или детализирующую информацию. Имя ситуации выбирается либо из текста, либо из базы знаний.

---

**Для чего нужны эти построения?**

---

Формат Лексической структуры ситуации, в котором объединены конструкторы и их лексические значения, даёт возможность разметить лексику текста конструкторами – своеобразными **ключами смысла**. Это означает, что появляется возможность сопоставлять, связывать и обобщать семантику разных предложений. По этим ключам можно проследить динамику развития ситуации относительно *субъекта, цели, результата* и т.д. Открывается путь от анализа простых (*proposal*) к синтезу обобщённых (*generalized*) ситуаций.

Действительно, динамика развития ситуации воспринимается субъективно как **связность текста**. Каждая текущая ситуация сопоставляется с предыдущими и корректирует тот смысл, который был накоплен ранее. Тем самым прослеживается динамика смысла (или нескольких смыслов).

Основываясь на формальном представлении ситуации (ЛСС), мы значительно приближаемся к решению амбициозной задачи – **компьютерного семантического анализа** естественно-языковых текстов со сложной семантической структурой и богатым тематическим содержанием.

---

**Пример представления Лексической структуры ситуации**


---

Текст:

*В августе 480 г. до н.э. персидский царь Ксеркс поднял свою могущественную армию – около 200 тысяч опытных воинов, – чтобы покорить Грецию. Эллинскую армию, насчитывающую около 7 тысяч воинов, возглавлял спартанский царь Леонид.*

Каждое из двух предложений подвергается следующим этапам обработки:

1. Строится *дерево разбора предложения*. Определяются главные и второстепенные члены, формируются группы подлежащего, сказуемого, дополнения. Фиксируются имена собственные и нарицательные, выявляются синонимические группы слов;
2. Выделяется *ядерная конструкция предложения*, это тройка: «подлежащее – сказуемое – дополнение»;
3. В каждой группе слов (подлежащего, сказуемого, дополнения) определяются *лексические фрагменты*, соответствующие глубинным падежам (прилагательные, обстоятельства, числительные и т.д.);
4. Каждому лексическому фрагменту ставится в соответствие конструкт, и образуются *ролевые функции* «конструкт – значение»;
5. Строится Лексическая структура ситуации (ЛСС) для текущего предложения – **ЛССп**. Это – *граф ситуации предложения*, вершинами которого являются ролевые функции (конструкты вместе с их лексическими значениями), а дугами – связи дерева разбора. Граф ситуации предложения обозначается Именем.

После выполнения указанных этапов обработки текста (в примере – двух предложений) образуется **Ситуативно-лексическое описание текста – СЛОТ**.

Для удобства линейной записи граф ситуации разбит на три подграфа – Я1, Я2, Я3, каждый из которых репрезентует одну компоненту ядра. Кроме того, в лексических функциях конструкт (в скобках) следует за его значением, что не принципиально.

**СЛОТ:**

**ЛССп-1:**

**«Царь поднял армию»**

- + Я1 = Царь (субъект) + Я1 – персидский (признак) + Я1 – Ксеркс (имя);
- + Я2 = Поднял (действие) + Я2 – в августе 480 г. (время) + Я2 – до н.э. (время) + Я2 – чтобы покорить Грецию (цель);
- + Я3 = Армию (объект) + Я3 – свою (признак) + Я3 – могущественную (признак) + Я3 – воинов (объект) + опытных (признак) + около 200 тысяч (мера).

**ЛССп-2:**

**«Царь возглавил армию»**

- + Я1 = Царь (субъект) + Я1 – спартанский (признак) + Я1 – Леонид (имя);
- + Я2 = Возглавил (действие);
- + Я3 = Армию (объект) + Я3 – эллинскую (признак) + Я3 – насчитывающую около 7 тысяч (мера) + Я3 – воинов (объект).

**Примечание.** Знак «Я» служит идентификатором члена ядра ситуации. Знак + обозначает присоединение ядра к имени ситуации, а ролевой функции – к ядру.

Таким образом, мы получили конструктивно-лексическое описание текста в виде двух отдельных ситуаций, соответствующих двум предложениям. Дальнейшая задача состоит в том, чтобы на основании

двух ситуаций сформировать общий **смысл дискурса**. Для этого потребуется выполнить онтологический (концептуальный) анализ текста.

### Концептуальный анализ текста

Прежде всего, если судить по именам ситуаций, можно выдвинуть **семантическую гипотезу**, что речь пойдёт о вооружённом конфликте. Гипотеза получает имя – «*Война в древнем мире*».

Чтобы понять смысл текста с позиций семантической гипотезы, необходимо использовать как можно больше знаний о войне. Будем считать, что война является одним из видов человеческой деятельности. В таком случае знания о войне оформлены в онтологии Мира (в Базе Знаний о Мире) в виде предметной области (ПрО) «Война».

Структурно ПрО «Война» представляет собой, как часть онтологии, иерархическую сеть, содержащую концепты и связи. Концепты условно делятся на *конструкты интерпретации* и *значения* конструктов интерпретации. Любой концепт (конструкт или значение) может быть возбуждён словами текста.

Рассмотрим онтологию предметной области «Война». Опуская множество деталей, мы представим усреднённое концептуальное представление о войне следующим образом.

#### Концептуальное представление ПрО Война:

**Война =**

= **Субъекты** (участники) – А / – В

= **Время** (эпоха) – Древний мир / – Средние века / – современный мир

= **Место** (военный театр) – страна / – регион

= **Ресурсы** (А, В) – армия / – вооружение / – тыл

= **Цели** (А, В) – покорение / – завоевание / – захват ресурсов / – отмщение / – защита Родины / – победа / – оборона / – капитуляция / – ничья

= **Действия** (А, В) (тактика) – наступление / – сдерживание / – оборона / – отступление

= **Сражение** (А, В) – время / – место / – силы / – результаты

= Действия (А, В) в сражении – атака / – прорыв / – стойкая оборона / – отступление

= Результаты сражения (А, В) – прорыв / отход / гибель / потери / победа / поражение / ничья

= Оценка действий в сражении – успех / неудача / настойчивость / стойкость

= **Общая оценка** действий (А, В) – успех / неудача / ничья

= **Неожиданные обстоятельства** – природные катаклизмы / новая информация / – измена

= **Результаты** (А, В) – победа / – поражение / – ничья

= **Развитие** событий – переговоры / – капитуляция / – наступление / – отступление

= **Общие итоги** (А, В) – победа / – поражение / – ничья / – выигрыш / – потери / – гибель

= **Оценка результата** – подвиг / добровольная гибель / – мужество в атаке / – мужество в обороне / – талант полководца / – трусость / – предательство / – позор

= **Оценка** достижения целей (А, В) – цель достигнута / не достигнута

= **Прогноз** – поражение А или В / перемирие / мир / восстановление исходных позиций

**Примечание.** Нетерминальные символы применены для указания узлов и связей онтологической сети. Знак «=» отличает конструкт от «–» значения.

**Для полного, всестороннего и абсолютно ясного понимания текста желательно ответить на все вопросы**, которые закодированы *конструктами онтологии* (выделены шрифтом), а также получить

конкретные **факты** из множества *значений конструкторов*. Если текст удовлетворяет этому условию, то реализацию «Текст – ПрО» можно считать идеальной. Если не все конструкторы выявлены, реализация считается неполной.

#### Реализация ПрО Война =

**Война =**

= **Субъект А, Субъект В**

= **Время** (эпоха) – Древний мир

= **Место** (военный театр) – Греция

= **Ресурсы А** – армия – (мера) 200 тысяч

= **Ресурсы В** – армия – (мера) 7 тысяч

= **Цель А** – покорение В

= **Цель В** – ?

Значения конструкторов ПрО «Война» выявлены в заданном тексте. Неполнота реализации ПрО в данном примере обусловлена краткостью текста.

---

#### Что даёт реализация ПрО для семантического анализа текста?

---

Очевидно, что формат реализации ПрО частично совпадает с форматом ситуации ЛСС, поэтому реализацию ПрО возможно также называть «макроситуацией». Отличие двух форматов состоит в их назначении. Если Лексическая структура ситуации (ЛСС) служит только *шаблоном*, моделью некоторой *усреднённой* ситуации, то Концептуальное представление ПрО рисует *конкретную* макроситуацию под названием «Война». (ОК)

Кроме того, существуют и другие отличия: в макроситуации, во-первых, не существует ядра и, во-вторых, в ней опущены некоторые несущественные детали (признаки объектов и другие). Количественные характеристики – (*меры*) двух армий – в примере оставлены потому, что они выявляют **акцент** автора, который таким способом подчёркивает неравенство сил конфликтующих сторон.

Преимущества формата реализации ПрО состоят в следующем:

– Реализация ПрО *структурирована* по конструкторам макроситуации – смысловым позициям интерпретации;

– Конструкторы вместе с их значениями позволяют объяснить события текста в расширенном (выходящем за рамки текста) лексиконе, *обогащённом* онтологией;

– Концептуальная интерпретация текста стремится к лексическому *сокращению* изложения, она даёт *обобщённое* представление дискурса;

– **Реализация ПрО позволяет вести диалог потребителя с текстом на уровне конструкторов, при этом вопросы и ответы раскрывают существенные, глубинные характеристики макроситуации.**

Таким образом, в семантическом анализе текстов ЕЯ **участвуют две технологии**. Наряду с Лексической структурой ситуации – **ЛСС**, которая позволяет индексировать текст конструкторами ситуации, существует вторая форма представления текста – **Реализация ПрО**, которая допускает интерпретацию текста в терминах знаний. Оба способа представления семантики дополняют друг друга.

В конечном итоге мы хотим извлечь из дискурса его главный компонент, прагматический продукт и цель человеческой коммуникации – **смысл**.

---

### На пути к обнаружению смысла дискурса

---

***Смысл – он же бесплатен!*** (Михаил Жванецкий).

Категория познания – **смысл** – изучается в психологии и лингвистике, в соответствии с методами этих наук. Сегодня задача определения смысла стоит перед машинным интеллектом, где она должна быть сформулирована и решена на конструктивном уровне.

В лингвистической литературе отмечается, что смысл не сводится к значению слова, а является обобщением речевого потока. *«Значение языковой единицы – это элемент языковой системы, в то время как конкретный смысл – это явление речи, к тому же ситуативно обусловленное»* [Бондарко, 1978]. Категория «смысл» рассматривается здесь с гуманитарных позиций. *«Самым важным становится не столько понимание неких фактов и влияния на них тех или иных факторов, условий, механизмов и т.п., сколько отношение человека к этим фактам и воздействиям, смысл, который они для него приобретают»* [Братченко, 1999].

В современной психологии учитывается субъективный аспект познания мира, когда субъект *«ориентируется ... на выражение своего отношения к действительности, на выявление и обозначение смысла ситуации в символической форме»* [Балл, 2006].

Наиболее ясное представление о смысле как о категории понимания мы встречаем у известного американского учёного в области искусственного интеллекта Р. Шенка. Говоря о процедуре семантической обработки естественно-языковых текстов, он выделяет здесь три самостоятельных этапа: **(а)** отображение предложений в их *смысловое представление*; **(б)** хранение в памяти и осуществление умозаключений относительно полученного смысла; **(в)** перевод смыслового представления на *естественный язык* [Шенк, 1980].

Как указывалось выше, целью настоящего исследования является разработка процедур машинной обработки семантически-насыщенных текстов. Для этого привлекаются и формализуются базовые понятия: «ситуация», предметная область знаний (ПрО), онтология. Остаётся дать определение понятиям «смысл ситуации» и «смысл текста».

Ситуация представляет собой целостный семантический объект. ***Под «смыслом ситуации» будем понимать краткое лексическое выражение естественного языка, сформированное из ядра ситуации с учётом акцентированных фрагментов текста.*** Смысл ситуации, как правило, закрепляется в ***имени ситуации.***

Текст, или дискурс, также является семантическим объектом с сильной прагматической нагрузкой, поскольку он должен быть понят и усвоен потребителем. Прагматика текста указывает на то, как ситуация соотносится с компендиумом знаний потребителя, а смысл служит инструментом восприятия и усвоения коммуникативной информации.

***«Смысл связного текста» – это предложение естественного языка, которое в сжатой форме передаёт коммуникативную идею автора текста, его информационный замысел.***

Подчеркнём, что смысл является лично мотивированной формой сокращения и сбережения больших текстов и служит единственной альтернативой механическому запоминанию неструктурированной информации.

Обобщая сказанное, мы приходим к следующему выводу.

**Задача** извлечения смысла из текста с **заменой человека компьютером** становится легитимной при выполнении следующих условий:

– в памяти компьютера имеются *концептуальная Картина Мира*;

- есть алгоритмы формального синтеза *текстовых ситуаций*;
- имеются процедуры, выделяющие смыслы отдельных ситуаций и синтезирующие на их основе обобщённый смысл.

---

### Пример представления смысла текста

---

Исходный текст, состоящий из двух предложений, приведен выше. Для него построено **Ситуативно-лексическое описание текста – СПОТ. Преобразуем его в смысл текста.**

Смысл первого предложения (первой ситуации) возьмём из продукции: «Если субъект активизировал армию, то это – Война». С учётом акцента синтезируем смысл первой фразы: «Война в древнем мире». Теперь имеется основание выдвинуть семантическую гипотезу – «Война» и напрямую обратиться к онтологии предметной области – ПрО «Война».

Выбор гипотезы провоцирует ряд вопросов, которые активизируются **в режиме «Ожидание»**; при этом: открывается ряд конструктов ПрО «Война». Почти все они, за исключением шести конструктов, – не заполнены значениями. Субъекту ситуации (нападающим силам) присваивается обозначение А. Смысл первой фразы становится *накопленным смыслом-1*.

Переходим ко второму предложению. Оно имеет то же ядро. Однако СПОТ заполняется новыми значениями, касающимися стороны В. При этом учитываем акцент автора – он указывает численность двух армий. Следовательно, ресурсы А и В должны быть сравнены и сделан вывод. Сравнительная оценка выполняется логическим процессором, который выдаёт три продукции: 1) «Подавляющее превосходство А над В» и 2) «Из сравнения следует, что А – победа, В – поражение». Первое заключение снабжается конструктом ситуации *сравнение*, а второе получает статус гипотезы и отмечается конструктом *прогноз*. Кроме того, логический процессор сделает вывод, что победа В – нереальна и уточнит: «Цель В – оборона или ничья».

По результатам анализа двух предложений синтезируется *обобщённый смысл, который становится накопленным смыслом-2: «Война в древнем мире с подавляющим превосходством А над В»*. Данный смысл является окончательным. Он имеет форму факта.

На этом текст примера исчерпан, и смысловой анализ текста заканчивается.

В дальнейшем, если появится третье предложение, – будут заполнены новые конструкты ПрО «Война»; в результате этого прежний смысл (обобщённый по двум предложениям) будет изменён и появится смысл, обобщённый по трём предложениям – *накопленный смысл-3*.

Процесс накопления смысла протекает синхронно с развёртыванием текста и построением ситуаций. Периодически, через несколько предложений, производится коррекция накопленного смысла в сторону его сокращения. Сокращение возможно благодаря тому, что в нашем распоряжении имеются имена ситуаций – максимально короткие фразы, которые можно подставлять в *накопленный смысл-N*.

В конце концов, по мере продвижения анализа, накопленный смысл будет трансформироваться и уходить от факта к его глубинному раскрытию. В результате смысловое содержание дискурса почти наверняка выйдет за рамки узкой предметной области «Война» – оно получит **статус оценки** описанных событий.

Более того, мы можем выдвинуть рабочую гипотезу относительно ментального восприятия смысла человеком, которая может быть учтена при создании машинного интеллекта: человек аккумулирует опыт в виде **стандартных ситуаций и стандартных смыслов**. Следовательно, при разработке машинной онтологии ситуаций эти стандартные семантики должны быть обязательно учтены и зафиксированы.

---

## Выводы

---

Семантический анализ текстов естественного языка требует одновременного использования общих Знаний о Мире, знаний в конкретных областях деятельности человека и распознавания ситуаций. Знания задаются концептуальной онтологией Мира и Предметной областью. Ситуация формируется в процессе разбора предложения из лексики текста под управлением конструкторов, которые «задают вопросы тексту» и выделяют из предложения те фрагменты, которые служат «ответами», в результате чего ситуация приобретает структуру и стандартный вид (в формате ЛСС).

Центральное место в формате ситуации занимают Ядро и Имя ситуации. Выбор конструкторов зависит от того, к какой области человеческой деятельности (ПрО) относится дискурс.

В процессе семантического анализа лексика ситуации заменяется понятиями онтологии, в результате чего происходит обобщение ситуаций и описание их концептами высокого уровня репрезентации. Результатом анализа текста является его смысл (или несколько допустимых смыслов).

Концептуально-ситуационный анализ является новым шагом к глубокому пониманию текстов и ориентирован на компьютерную обработку семантических структур.

---

## Благодарности

---

Работа опубликована при финансовой поддержке проекта **ITHEA XXI** Института информационных теорий и приложений FOI ITHEA Болгария [www.ithea.org](http://www.ithea.org) и Ассоциации создателей и пользователей интеллектуальных систем ADUIS Украина [www.aduis.com.ua](http://www.aduis.com.ua).

---

## Библиография

---

- [Мельчук, 1974] Мельчук И.А. Опыт теории лингвистических моделей «Смысл–Текст». – М.: Наука, 1974.
- [Демьянков, 1985] Демьянков В.З. Основы теории интерпретации и её приложения в вычислительной лингвистике. – М.: Изд-во Моск. Ун-та, 1985.
- [Рубашкин, 1989] В.Ш. Рубашкин. Представление и анализ смысла в интеллектуальных информационных системах. – М.: Наука, 1989.
- [Шенк, 1980] Шенк Р. Обработка концептуальной информации: Пер. с англ. – М.: Энергия, 1980.
- [Витгенштейн, 2009] Витгенштейн Л. Логико–философский трактат: Пер. с нем. – М.: Наука, 2009.
- [Звенигородский, 2010] А.С. Звенигородский. Кибернетические основы процесса понимания смысла текста. // Искусственный интеллект. – 2010. – № 4.
- [Гаврилова, Воинов, 1997] Гаврилова Т.А., Воинов А.В. Визуальный концептуальный анализ знаний и данных для интеллектуальных и обучающих систем // VI международная конф. «Знание – Диалог – Решение» (KDS – 97). Сборник научных трудов в 2-х томах. Т.1. – Ялта 1997.
- [Рыбина, 2010] Г.В. Рыбина. Основы построения интеллектуальных систем: учеб. пособие. – М.: Финансы и статистика; ИНФРА-М, 2010.
- [Гладун и др., 2008] В. Гладун, В. Величко, Л. Святогор. Структурирование онтологии ассоциаций для конспектирования естественно-языковых текстов // Advanced Research in Artificial Intelligence. International Book Series, Number 2. Supplement to the International Journal “Information Technologies & Knowledge”, Volume 2 / 2008. ITHEA, Sofia, 2008.
- [Гладун, Святогор, 2011] Гладун В.П., Святогор Л.А. Вычисление смысла в парадигме искусственного интеллекта // Интегрированные модели и мягкие вычисления в искусственном интеллекте. Сборник научных трудов VI

Международной научно-технической конференции (Коломна, 16 – 19 мая 2011 г.). В 2-х томах. Т.2. – М.: Физматгиз, 2011.

[Штерн, 1998] Штерн І.Б. Вибрані топіки та лексикон сучасної лінгвістики. Енцикл. Словник. – Київ: «АртЕк», 1998.

[Кисленко, 2008] Кисленко Ю.И. От мысли к знанию (нейрофизиологические основания): Монография. – Киев, изд-во «Український літопис», 2008.

[Арно, Николь, 1991] Антуан Арно, Пьер Николь. Логика, или искусство мыслить. Наука, 1991

[Звягинцев, 2009] А.И. Звягинцев. Логико-дискурсивная модель экспертной поддержки принятия решений в ситуациях неопределённости // Системи підтримки прийняття рішень. Теорія і практика: Збірник доповідей науково-практичної конф. – Київ: ІПММС НАНУ, 2009.

[Бондарко, 1978] Бондарко А.В. Грамматическое значение и смысл. – М.: Наука, 1978.

[Братченко, 1999] Братченко С.Л. Введение в гуманитарную экспертизу образования (психологические аспекты). – М., 1999.

[Балл, 2006] Г.А. Балл. Психология в рაციогуманистической перспективе. – К., 2006.

---

### Информация об авторах

---



**Святогор Леонід Александрович** – *Ин-т кибернетики им. В.М. Глушкова НАН Украины, Киев-187 ГСП, 03680, просп. Акад. Глушкова, 40, e-mail: [aduis@rambler.ru](mailto:aduis@rambler.ru)*



**Гладун Виктор Поликарпович** – *Ин-т кибернетики им. В.М. Глушкова НАН Украины, Киев-187 ГСП, 03680, просп. Акад. Глушкова, 40, e-mail: [aduis@rambler.ru](mailto:aduis@rambler.ru)*

## О МОДЕЛИРОВАНИИ ПОНИМАНИЯ

Владимир Сторож

**Аннотация:** Достижения в исследовании и реализации искусственного интеллекта относятся в основном к формализуемым областям и задачам. В тех же областях, где формализация затруднена, достижения искусственного интеллекта незначительны. К таким областям относятся понимание, эмоции, переживания, смысл. Ситуация, помимо сложности самой проблемы, усугубляется междисциплинарным характером исследований. И в каждой дисциплине феномен понимания раскрывается лишь частично, в разной технике и через свою специфическую систему понятий. Для полного раскрытия феномена понимания необходимы согласование исследований и модельных представлений в целом ряде дисциплин: общей, когнитивной и компьютерной лингвистике, философии, психологии, нейрофизиологии. В работе предлагается методология моделирования в случае междисциплинарного характера исследований, основанная на технике моделирования сложных систем с помощью набора взаимосвязанных моделей. На основании литературных данных рассмотрены трактовки феномена понимания в общей и компьютерной лингвистике. Выделены основные термины, используемые для раскрытия феномена понимания и отдельных его этапов. На основании проведенного рассмотрения разработаны концептуальные модели генерации, передачи и понимания текста и речи человеком и компьютером. Показано, что человек в процессе понимания опирается на значение и смысл, тогда как компьютер только на значение. Опора на смысл приводит к несоизмеримо более высокому уровню понимания. Это объясняется тем, что смысл содержит в себе все виды знаний, наличествующих у человека: неявных, образных, эмоциональных, оценочных и т.п. В результате более полного учета знаний человека об окружении и самом себе получаемая интерпретация (понимание) текста является гораздо более точной, чем при компьютерном понимании, где используется только общая для субъектов общения часть знаний. В свою очередь, повышение точности представлений, или модельных представлений, позволяет человеку гораздо более эффективно достигать своих целей. Сделан важный вывод, что современные компьютерные системы в принципе не способны понимать по-настоящему, и для создания по-настоящему понимающих компьютерных систем требуется качественный скачок прежде всего в теории. Создание концептуальной модели понимания позволяет сделать и более обоснованные выводы о характере мышления у человека. Формальные силлогизмы, рассматриваемые в логике, играют в нем сравнительно небольшую роль, и наоборот, очень большую роль играют аспекты, связанные со смыслом, и неформализованным представлением информации.

**Keywords:** понимание текста человеком, компьютерная лингвистика, концептуальные модели феномена понимания

**ACM Classification Keywords** I.2.7 Natural Language Processing - Language models and Language parsing and understanding

---

### Введение

---

Достижения в исследовании и реализации искусственного интеллекта (ИИ) относятся в основном к формализуемым областям и задачам. Но подавляющее большинство практических задач и проблем могут быть формализованы лишь частично, да и то, не искусственным, а естественным интеллектом. Не входя в разбор многочисленных работ, где весьма критически оценивается уровень реализации широко

разрекламированных проектов в области ИИ, предложим простую, но весьма актуальную тестовую задачу: провести поиск в Интернет на заданную тему, так, чтобы интеллект поисковой системы отбросил все или хотя бы часть ссылок на рекламу и непрофессионалов (весьма многочисленных как в абсолютном, так и в процентном отношениях). После такой попытки становится предельно очевидным вопрос о наличии ИИ (вернее сказать, его отсутствии) и его уровне.

К проблемным областям искусственного интеллекта, развитие которых в последние несколько десятилетий незначительно, относится моделирование и реализация таких человеческих функций, как мышление, понимание речи и текста, наслаждение искусством, эмоции, переживания, оценки, и т.п., все, что, по сути, составляет силу человека и смысл его жизни.

Незначительность прогресса в указанных областях объясняется отсутствием общей теории человеческого мышления и чувствования. Создать такую теорию пытаются специалисты целого ряда наук: философы, психологи, лингвисты, когнитологи, нейрофизиологи, специалисты по искусственному интеллекту и др. Но здесь, помимо сложности самой проблемы, мешает междисциплинарная разобщенность. Специалисты по ИИ, конечно, могут формализовать все, что они знают, но поскольку они не знают на психологическом и нейрофизиологическом уровнях, как работает интеллект, то формализуют свои весьма упрощенные и неадекватные представления, называя их, в зависимости от конъюнктуры, интеллектом, мышлением, а то и сознанием. В свою очередь, психологи и когнитологи, создав массу частных описательных моделей, не в состоянии создать на их базе единственную непротиворечивую модель, которую можно было также сформулировать и реализовать в терминах алгоритмов и анализа информации.

Одним из ключевых пунктов, связанных с изучением и реализацией интеллекта и мышления, являются вопросы понимания и сопутствующие им. Термин «понимание» используется по отношению ко всем видам информации, воспринимаемой человеком: текстовой, речи, графической и т.д. Строго говоря, необходимо рассматривать процессы понимания человеком вообще, т.е. всех возможных типов информации и во всех возможных ситуациях. Но в таком случае задача на данном этапе исследований становится практически необозримой. Поэтому в данной работе объект рассмотрения сужен до понимания текста, что также является важной и интересной задачей, к тому же здесь имеются наработки в целом ряде дисциплин, что позволяет провести междисциплинарный анализ вопроса.

Термин «понимание» тесно связан с рядом других понятий, в частности, интерпретацией, переживанием, значением, смыслом, мышлением. Поэтому в работе рассматриваются и эти понятия, но только в объеме, позволяющем более полно раскрыть процессы понимания текста.

Целью данной работы является обсуждение и анализ процессов понимания текста человеком с учетом знаний, накопленных по этому вопросу в таких дисциплинах, как психология, лингвистика, когнитология, нейрофизиология, искусственный интеллект.

---

### **О методологии изучения феномена понимания**

---

Не существует единого подхода к трактовке термина «понимание». Даже один и тот же автор может давать целую серию трактовок, причем эти трактовки, как правило, слабо связаны друг с другом и не образуют целостной системы (например, [Ван Дейк, 1988], [Демьянков, 1989]). Вообще говоря, этот факт закономерен и связан с отсутствием единой схемы, объясняющей и показывающей «работу» изучаемого понятия и комплекса связанных с ним понятий (образующих элементы схемы). Проблема осложняется еще и тем, что понимание как явление изучается и реализуется в целом ряде дисциплин: философии, психологии, лингвистике, компьютерной лингвистике и др. И в каждой дисциплине сущность понимания раскрывается лишь частично, в разной технике (например, через описание, или схемы, или алгоритмы и

т.д.), через свою специфическую систему понятий, а совпадающие по названию понятия могут иметь существенно различное содержание.

Общепринятой методологии моделирования объектов такой сложности в настоящее время не существует. Поэтому представляется очень важным вначале рассмотрения вопроса о понимании сформулировать принципы методологии, позволяющей справиться с указанной выше сложностью и обилием подходов, трактовок и интерпретаций.

Предлагаемая в данной работе методология опирается на идеи В.А. Лефевра [Лефевр, 1973, с.109] и Г.П. Щедровицкого [Щедровицкий, 1995] о модели-конфигураторе, а также на работу автора [Сторож, 2009] о моделировании сложных систем с помощью набора моделей разных типов.

В самом общем виде схема представления и развития системы моделей при изучении вопроса понимания приведена на рис.1. Каждый элемент этой схемы представляет собой модели понимания в рамках отдельной дисциплины, а стрелки, - взаимосвязи между моделями, их взаимообусловливание. Как легко убедиться, для шести ключевых в данном вопросе дисциплин существует двенадцать двунаправленных связей.

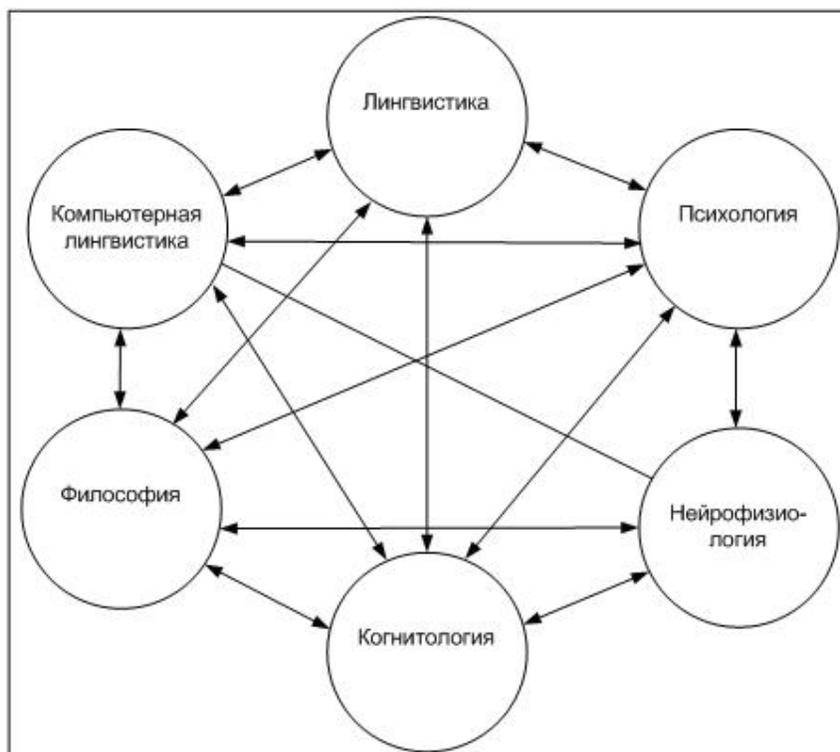


Рис.1. Дисциплины, в которых изучается понимание, и их взаимосвязь

Методологически правильным было бы при изучении в полном объеме вопроса понимания проводить такое изучение параллельно в рамках целого набора дисциплин. Но отдельный исследователь не в состоянии реализовать исследование такой сложности, - это скорее программа для научного сообщества.

Поэтому отдельно взятый исследователь вынужден работать по более простой схеме: ставить в центр исследования одну из дисциплин, и последовательно рассматривать идеи, модели, и интерпретации из взаимосвязанных дисциплин. При этом представления из других дисциплин выполняют целый ряд различных функций: объяснения или интерпретации, метауровня, источника идей, критерия правильности и т.д.

Несмотря на двунаправленный характер связей между различными дисциплинами, такие связи могут быть существенно несимметричными. Например, данные нейрофизиологии в каких-то вопросах для

других дисциплин являются более фундаментальными, чем влияние этих дисциплин на нейрофизиологию. При таком подходе можно представить взаимодействие между дисциплинами в виде пирамиды, где внизу будут находиться более независимые и основанные на опытных данных дисциплины, а сверху – более зависимые от остальных дисциплин. Но такое представление всегда носит конъюнктурный характер, т.е. зависит от целей, уровня исследований и т.п., поэтому оно может рассматриваться как частный случай представленной на рис.1 общей ситуации.

После попарного согласования представлений из разных дисциплин (скорее всего, многократного), необходима «сборка» единой модели, описывающей наиболее общий и согласованный взгляд на понимание. Техника такой работы развивалась Г.П. Щедровицким [Щедровицкий, 1995].

Реальная ситуация еще несколько сложнее. Дело в том, что даже в рамках отдельно взятых дисциплин, в которых изучается феномен понимания, не существует (за исключением разве что компьютерной лингвистики) достаточно формализованных и четко определенных моделей понимания. А без таких моделей проводить междисциплинарное сравнение и объяснение почти невозможно. Поэтому на первом этапе исследований необходим выбор или разработка модели понимания концептуального уровня для каждой из дисциплин. Это тоже непростая задача, требующая анализа представлений в данной предметной области, выбора наиболее адекватных и общих понятий, установления взаимосвязей между ними и т.д.

Рассмотренные методологические принципы будут использованы в следующих разделах работы. Поскольку весь комплекс вопросов такого плана требует весьма значительного объема исследований, в данной работе ограничимся компьютерной и общей лингвистикой, привлекая данные из других дисциплин лишь для иллюстраций.

---

### **Модель понимания речи и текста в общей лингвистике**

---

Обычно понимание раскрывается через такие термины, как интерпретация [Демьянков, 1989], структуры представления знаний [Rumelhart, 1977], значение и смысл (практически все авторы); существует также мнение о том, что понимание является элементом мышления [Знаков, 2007, с.4]. Помимо этого, в понимании принято также выделять следующие компоненты:

- о чем говорится в сообщении?
- что хотел сказать автор?
- что понял читатель (слушающий)?

Рассмотрим вначале вопрос о содержании и акторах (действующих лицах). Человек, равно как и компьютер, воспринимает информацию на первом этапе в виде отдельных предложений. При этом обычные человеческие речь и текст практически всегда существуют в некотором контексте, т.е., описывается лишь часть ситуации, а остальная информация восстанавливается из других источников (например, времени, места, роли, общих знаний), а также из остальных участков данного текста. Как пишет Ван Дейк [Ван Дейк, 1988, с.177]: «...чтобы понять текст, мы должны представлять себе, о чем он. Если мы не в состоянии представить себе ситуацию, в которой индивидуумы обладают свойствами или отношениями, обозначенными в тексте, то не сможем понять и сам текст. Если мы не понимаем отношений между локальными и глобальными фактами, о которых говорится в тексте, то мы не понимаем и текста». Иначе говоря, для понимания текста необходимо понимание ситуации, в которой возник этот текст. Как правило, эта ситуация в явном виде не описывается, поэтому получатель информации самостоятельно и чаще всего неосознанно реконструирует ситуацию, в которой был создан текст или речь.

Следующий вопрос, как соотносится замысел автора и понимание этого замысла воспринимающим? Даже при нормальном общении это чаще всего не одно и то же. Этому существует целый ряд причин:

- даже при обоюдном стремлении к пониманию могут быть культурные различия. Например, историки спорят о том, в какой мере мы можем понять тексты других культур, отделенных от нас тысячелетиями;
- люди по разным причинам далеко не всегда говорят прямо то, что они думают. И задача слушателя не просто понять сообщение, а то, что думал источник при этом;
- очень распространенной является ситуация информационного противодействия, в которой говорится совсем не то или не совсем то, о чем думает источник. Тем не менее, человек во многих случаях без труда восстанавливает истинные мотивы;
- не следует забывать о розыгрышах, шутках, иронии, и т.п. В таких ситуациях истинный смысл сообщения также имеет мало общего с буквальным прочтением текста.

Таким образом, для правильного понимания текста, необходима реконструкция воспринимающим субъекта генерации текста: его намерений по отношению к получателю, типа сообщения (серьезное, шутка, обман и т.д.), уровня культуры и др. Впрочем, эти же самые правила и критерии применимы и к получателю текста, хотя им обычно уделяется гораздо меньше внимания (у человека, но не в ИИ).

Рассмотрим теперь содержание ключевых терминов, которыми описывается понимание.

Выделяют две основных функции интерпретации:

- как установление и поддержание гармонии. «Эта гармонизация может выражаться, в частности, в осознании свойств контекста, окружающего интерпретируемую речь, и в помещении результатов такого осознания в плоскость собственного внутреннего мира» [Демьянков, 1989, с.48];
- в создании значения сообщения: «Интерпретация скорее состоит в создании значения или в реконструкции этого создания в соответствии с целями интерпретатора и с реконструируемыми же целями автора [Bennett, Hartmann, 1979, С.588].

Оставим пока эти высказывания без комментариев, - они будут уточнены в последующем при рассмотрении системы понимания в целом.

Очень тесно с вопросами понимания связаны способы представления знаний. Так, по мнению Румельхарта [Rumelhart, 1977, С.268]: «процесс понимания идентичен процессу выбора и верификации понятийных схем, объясняющих ситуацию (или текст) которые нужно понять». В связи с представлением знаний также широко используется в целом ряде дисциплин, включая общую и компьютерную лингвистику, понятие фрейма.

Существует влиятельная русскоязычная школа лингвистики, связанная с именами Г.И. Богина, Н.И. Колодиной и ряда других авторов, которые процесс понимания понимают как порождение целой системы схем различных уровней. Хотя необходимо уточнить, что схемы в их концепции, по-видимому, достаточно размыты и находятся на втором плане, как побочный продукт переживания текста и порождения множественных смыслов.

Отношение между понятиями значения и смысла довольно сложное. Несколько десятилетий назад в логике и лингвистике эти понятия были в значительной мере синонимичными [Краткий словарь по логике, 1991]. В настоящее время в лингвистике, и особенно в когнитивной лингвистике принято четко различать смысл и значение [Попова, Стернин, 2007]. Значение, - это та часть описания понятия (концепта), которая приводится в словарях, тезаурусах, онтологиях и т.п., т.е. это общекультурная часть смысла, которая может быть формализована. Смысл существует на уровне концептов, он уникален для каждого человека, воспринимающего информацию, и для одного и того же человека в разное время. В приведенной работе

понятия мышления и смысла конкретизируются с использованием хорошо известной идеологии советского психолога Н.И. Жинкина, который на основании экспериментальных данных о восприятии человеком информации ввел представление об универсальном предметном коде: «Мышление осуществляется без обязательного обращения к языку. Инструментом мышления выступает универсальный предметный код... Единицами универсального предметного кода являются предметные чувственные образы, которые кодируют знания. Знания представлены в сознании человека концептами, а в качестве кодирующего концепт образа выступают чувственные образы, входящие в концепт как его составная часть...

Единицы универсального предметного кода – это чувственные представления, схемы, картины, возможно, эмоциональные состояния, которые объединяют и дифференцируют элементы знаний человека в его сознании и памяти по различным основаниям...

Универсальный предметный код является нейрофизиологическим субстратом мышления, который существует и функционирует независимо от национального языка» [Там же, с.39-41].

Аналогично и Г.И. Богин [Богин, 2001] выделяет в процессе понимания две компоненты: содержание, - наиболее устойчивую часть текста (в значительной мере соответствует значению у предыдущих авторов) и смысл, - весь комплекс переживаний и чувств, вызванный данным текстом.

На основании проведенного анализа концептуальная модель (точнее, ее предварительный вид) феномена понимания, разработанная на базе лингвистических знаний, может быть представлена примерно в следующем виде (рис.2.).

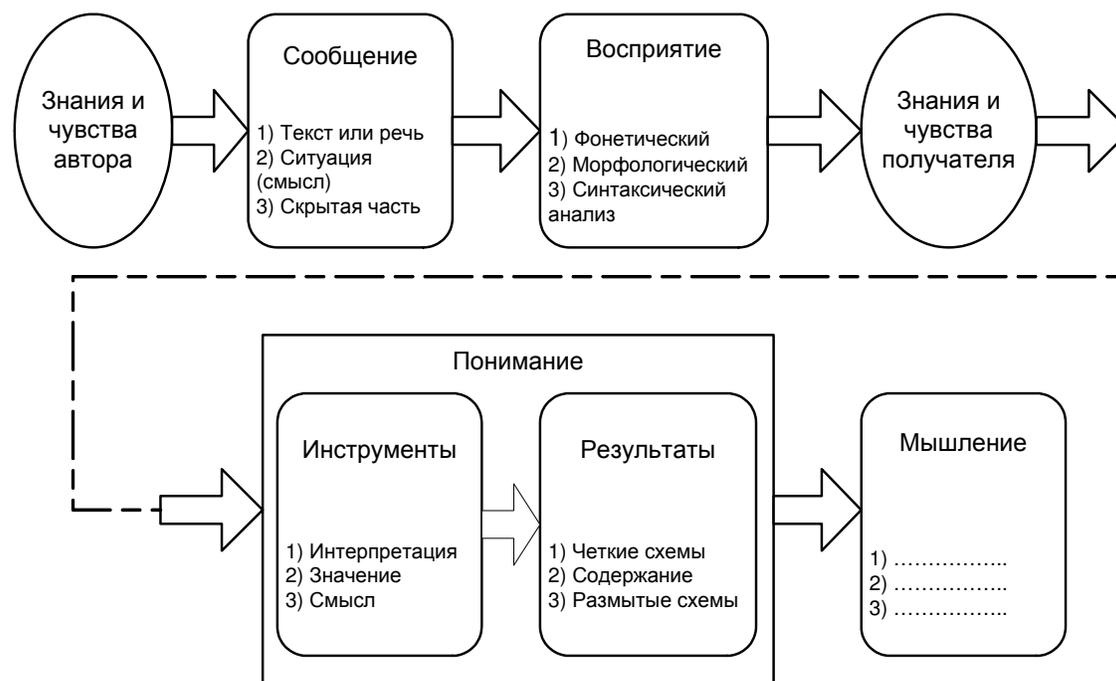


Рис.2. Схема понимания у человека на основе лингвистических знаний

С учетом приведенной схемы общий процесс генерации, передачи и понимания речи и текста у человека можно представить следующим образом.

С использованием знаний и чувств автора генерируется сообщение. Несмотря на использование общепринятых слов и выражений каждое сообщение уникально. И прежде всего не за счет уникальности сочетаний слов, а за счет, во-первых, ситуации, в которой генерировался текст, и понимание которой

необходимо для правильного понимания текста, и, во-вторых, за счет уникальности понимания автором употребляемых понятий.

Далее, как у человека, так и в компьютерной лингвистике идут стадии фонетического, морфологического и синтаксического анализа. После чего идет этап семантического понимания или просто понимания. В зависимости от ситуации восприятия и целей понимание может происходить различным образом. Выделим лишь два существенно различных режима понимания:

1-ый режим – решение задачи или проблемы. Понимание реализуется в виде четкой схемы (реже – нескольких), в которой четко связаны возможные последствия ситуации и способы влияния на нее;

2-ой режим – чтение текста или восприятие речи в режиме свободных ассоциаций. Понимание реализуется в виде множественных смыслов различных уровней. С точки зрения представления информации эти смыслы можно трактовать как множественные размытые схемы.

Хотелось бы обратить внимание на то, что в результате понимания никаких принципиально новых элементарных элементов знаний типа понятий и признаков не образуется. В качестве базы для интерпретации и понимания используются лишь те знания, которые находятся в голове у получателя. К знаниям относятся не только формально представленные знания, но и чувства, эмоции, переживания и связанные с ними оценки. Эти неявно выраженные или неформализованные знания важно учитывать не только потому, что они придают смысл тексту и влияют на понимание, - их сфера действия значительно шире. Они участвуют в процессе мышления и в выборе, в том числе формализуемых элементов мышления, в частности, лингвистических понятий.

В качестве иллюстрации рассмотрим излюбленный пример логиков, силлогизм типа «Сократ – человек, все люди смертны, следовательно, Сократ тоже смертен». Заметим, что при восприятии текста, в котором есть имя Сократа, мы вовсе не обязательно придем к вышеприведенному силлогизму. А что возникнет у нас в голове, будет сильно зависеть от нашего настроения, ожиданий, темы размышления и т.д. Например, в свете данной работы, после упоминания имени Сократа вполне может возникнуть последовательность рассуждений такого типа: «Сократ – философ, и занимался вопросами познания. А не освежить ли мне знания о его представлениях на эту тему?». Таким образом, силлогистическое мышление, - лишь незначительная часть всего процесса мышления. Самое интересное в мышлении происходит вне силлогистики, и с участием неявных знаний, чувств, эмоций и смысла.

Таким образом, результат понимания человеком речи или текста дважды уникален: в первый раз эта уникальность закладывается автором сообщения, второй раз – реконструируется и просто конструируется получателем сообщения. При этом смысл сообщения, который вложил в него автор, никогда в точности не со смыслом, который реконструировал получатель сообщения.

Отметим, что характеризуя результат понимания у человека как уникальный, мы подчеркиваем лишь один, описательный аспект явления. Второй аспект, гораздо более важный с практической стороны, заключается в том, что в результате способности реализовывать уникальное понимание, мы реализуем на его основе гораздо более адекватные модели и поведенческие акты, чем в случае стандартизированного понимания.

И еще одно: мышление в качестве исходного элемента использует уникальное понимание, - т.е., уникальное сочетание наличных элементов знания. И далее, в процессе мышления, происходит опять-таки генерация уникальных комбинаций элементов знаний. Без такой уникальности мышления не существует, - в лучшем случае это можно назвать восприятием информации или воспоминанием (хотя, строго говоря, и они уникальны).

Хотелось бы для будущих исследований отметить еще одно обстоятельство: и четко выраженные схемы, в которых реализуется понимание, и нечеткие схемы, в которых выражается смысл и переживание, обладают свойством целостности или, правильнее сказать, динамической целостности. Под целостностью понимается тот факт, что каждая уникальная конфигурация знаний (взаимосвязей элементов), обладает некоторой жесткостью по отношению к будущим процессам, и таким образом приводит к вполне определенным последствиям. Но за счет каких механизмов на нейрофизиологическом уровне поддерживается эта динамическая целостность, и как ее можно реализовать в компьютерной лингвистике, - это еще необходимо исследовать. Если следовать аналогии с программированием, то динамические целостности в понимании, - это некоторые аналоги фреймов и классов. Но эти аналоги не создаются программистом, а формируются в процессе работы из любых сочетаний элементов знаний, существуют определенное время, возможно, видоизменяясь, производят некоторое действие, и затем либо распадаются, либо запоминаются.

---

### Модель понимания текста в компьютерной лингвистике

---

Особенности и уровень автоматического понимания текста правильнее всего характеризовать словами специалистов в этой области. В частности, в учебнике Н.Н. Леонтьевой дана такая характеристика состояния дел в этой области: «Системы автоматического понимания текста развиваются быстрее, чем обеспечивающая их теория. Авторы систем автоматического понимания текста слишком вольно пользуются словами *смысл*, *знание*, *семантический анализ* и другими, обозначающими высшие уровни понимания текста» [Леонтьева, 2007, с.16].

И по поводу понимания текста: «Будем считать, что машина поняла входной целый текст, если в результате она выдала сжатое изложение (реферат) этого текста. Машина поняла текст, если она может отвечать на вопросы к этому тексту. Машина поняла текст (например, описывающий какую-то картинку или схему), если она может по описанию нарисовать эту картинку или схему. Машина поняла текст, если она может описанные в тексте сведения (например, о занятости населения нашего города) изобразить в другой форме, например, в форме таблицы. Машина поняла текст, если она может сравнить содержание двух разных текстов и сообщить, что в них общего и чем они различаются. Машина поняла текст, если в результате анализа одного, а тем более разных текстов она смогла извлечь такие знания, которые можно поместить в некую копилку человеческих знаний (базу знаний)» [Там же, с.18]. Как видно из этого описания, содержательные аспекты понимания в компьютерной лингвистике рассматривать не принято. Не входя пока в содержательный анализ, отметим, что с общеметодологической точки зрения, позиция, в которой рассматривается вход и выход, а отношение к узлу обработки информации как к черному ящику, наследует традиции бихевиоризма. Как интеллектуальная парадигма в психологии и лингвистике он был отброшен еще в 60-х годах прошлого века. С содержательной точки зрения самый большой недостаток систем автоматического понимания текста – это неучет смысла и очень ограниченное понимание контекста. Наглядно последствия этого факта можно увидеть на рис.3.

Вследствие отсутствия смысла отсутствуют множественные схемы понимания, отсутствует уникальность, отсутствует мышление. С одной стороны, отсутствие мышления вроде бы и не такой уж большой недостаток, поскольку оно в системах автоматического понимания текста не используется. С другой стороны, на основе таких систем в *принципе* невозможно реализовать мышление, поскольку для этого нужен смысл. А для того, чтобы ввести смысл, необходима коренная реконструкция схемы понимания.

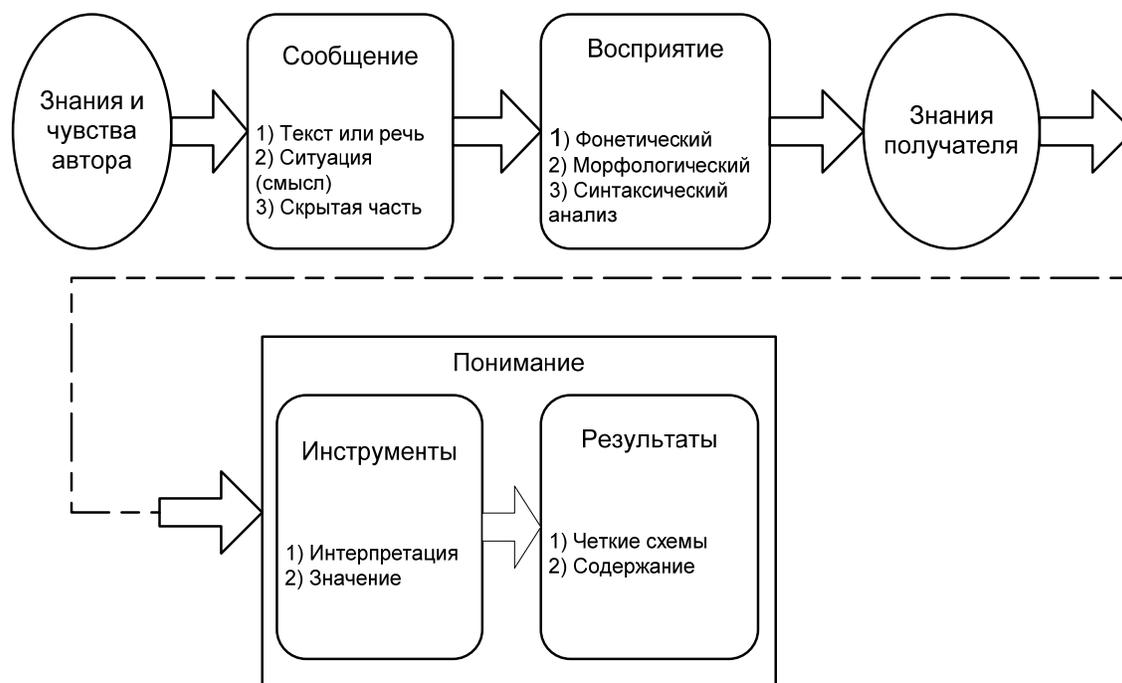


Рис.3. Схема понимания в компьютерной лингвистике

## Заключение

Феномен понимания может быть понят только путем междисциплинарных исследований и согласования между собой множества моделей разных типов. В работе предложена методология согласованной разработки модели. Применимость методологии проиллюстрирована на примере совместного создания концептуальных моделей понимания в общей и компьютерной лингвистике.

Ключевым недостатком компьютерного понимания по сравнению с человеком является неучет смысла текста или речи. В итоге при компьютерном понимании отсутствует понимание уникальных особенностей, характеризующих описываемую ситуацию. Получающееся при таком подходе некое типовое понимание чаще всего слабо применимо для адекватной оценки реальных ситуаций.

## Благодарности

Работа опубликована при финансовой поддержке проекта **ITHEA XXI** Института информационных теорий и приложений FOI ITHEA Болгария [www.ithea.org](http://www.ithea.org) и Ассоциации создателей и пользователей интеллектуальных систем ADUIS Украина [www.aduis.com.ua](http://www.aduis.com.ua).

## Список литературы

- [Богин, 2001] Г.И. Богин Обретение способности понимать: Введение в герменевтику – Тверь. – 2001. – 731 с.
- [Ван Дейк, 1988] Т.А. Ван Дейк, В. Кинч. Стратегии понимания связного текста / Новое в когнитивной лингвистике – Вып. XXIII Когнитивные аспекты языка – Ред. В.В. Петрова и В.И. Герасимова – М.: Прогресс – 1988. – С.153-211.
- [Демьянков, 1989] В.З. Демьянков Интерпретация, понимание и лингвистические аспекты их моделирования на ЭВМ – М.: Изд-во Моск. ун-та – 1989. – 172 с.

- [Знаков, 2007] В.В. Знаков Понимание в мышлении, общении, человеческом бытии – М.: Институт психологииРАН – 2007. – 479 с.
- [Краткий словарь по логике, 1991] Краткий словарь по логике / Под ред. Д.П. Горского – М.: Просвещение – 1991. – 208 с.
- [Леонтьева, 2007] Н.Н. Леонтьева Автоматическое понимание текстов: системы, модели ресурсы: Учеб. пособие – М.: Академия – 2006. – 304 с.
- [Лефевр, 1973] В.А. Лефевр Конфликтующие структуры – М.: Советское радио – 1973. – 158 с.
- [Попова, Стернин, 2007] З.Д. попова, И.А. Стернин Когнитивная лингвистика – М.: АСТ: Восток-Запад – 2007. – 314 с.
- [Сторож, 2009] В.В. Сторож Системный подход и развитие кибернетических представлений // Экономическая кибернетика – 2009. - № 5-6. – С.47-54.
- [Щедровицкий, 1995] Г.П. Щедровицкий Избранные труды – М.: Шк. культ. полит. – 1995. – 800 с.
- [Bennett, Hartmann, 1979] A. Bennett, B.R. Hartmann A Linguistic Phenomenology of Therapy Talk // BLS – 1979. – V.5. – P.525-588.
- [Rumelhart, 1977] D.E. Rumelhart Understanding and Summarization Brief Stories // Basic Processing in Reading^ Perception and Comprehension – New Jersey, 1977

---

### Информация об авторе

---



**Владимир Сторож** – канд. физико-математических наук, доцент, докторант  
Донецкого национального технического университета E-mail: [ws52@mail.ru](mailto:ws52@mail.ru)

Области научных интересов: моделирование сложных систем, интеллект,  
мышление, эволюция

## ЧИСЛЕННЫЕ МЕРЫ “СПЛОЧЕННОСТИ” ИМЕННЫХ ГРУПП

Леонид Леоненко

**Аннотация:** Обсуждаются понятия, функции и алгоритмы, связанные с численными оценками подобия (или “аналогичности”) текстов натурального языка. В так называемой “теории подобия конечных последовательностей” (ТПКП) подобие двух текстов оценивается посредством длины максимальной общей для этих текстов подпоследовательности суб-текстов (например, слов, предложений, etc.) Если в сравниваемых текстах различные вхождения суб-текстов имеют разную значимость сравнительно с другими вхождениями, при оценке степени подобия учитывается не длина, а суммарный “вес” общей для них подпоследовательности суб-текстов (например, суммарный вес общих вхождений слов).

В данной статье основное внимание уделено мерам оценки структурного сходства текстов. Предполагается, что в тексте-“образце” его суб-тексты сгруппированы в “блоки” (именные группы, предложения, etc.). Принимается следующий принцип “сплоченности”: имена, образующие блок, обычно соседствуют в тексте; и перестановки имен внутри блока разрушают структуру текста в меньшей степени, чем чередование имен, принадлежащих разным блокам.

В статье формулируются понятия, численные меры и алгоритмы, оценивающие степени чередования суб-текстов, принадлежащих разным блокам (меры “сплоченности” блоков). В сочетании с мерами, учитывающими лексическое сходство двух текстов и относительную значимость их сходных суб-текстов, меры сплоченности позволяют адекватно оценивать подобие текстов. Статистические эксперименты показали, что методы ТПКП эффективны в областях автоматической проверки орфографии, идентификации сообщений в телекоммуникационных сетях, компьютерного тестирования знаний. Так, в последней области для компьютера оказывается возможным игнорировать несущественные ошибки в ответах тестируемых, учитывать сокращения и синонимы, разрешить, запретить или ограничить перестановки слов, и т.п.

**Ключевые слова:** аналогия, подобие текстов, алгоритмы оценки подобия, тестирование знаний

**ACM Classification Keywords:** I.2.6 Artificial Intelligence – Learning – Analogies; K.3.1 Computers and Education - Computer Uses in Education

---

### Введение

---

Методы оценки подобия последовательностей составляют важный раздел современной информатики (см., напр., [Смит, 2006]). В работах [Леоненко и Поддубный, 1996], [Леоненко, 2002], [Леоненко, 2010] рассматривались различные численные меры подобия конечных последовательностей и приложения этих мер в задачах компьютерного тестирования знаний. Использование мер подобия позволяет оценивать ответы, вводимые в свободной форме на естественном (русском, украинском, английском и др.) языке.

В упомянутых работах рассматривались меры подобия, связанные главным образом с 1) «элементным» составом последовательностей (в частности, для текстов – с их лексическим составом); и 2) с учетом (неучетом) *линейного* порядка элементов в составе последовательности.

Очевидно, что при оценке подобия предложений и текстов необходимо учитывать не только их лексический состав, но и структуру. В этой статье я рассмотрю численные меры подобия,

предполагающие более «тонкую» структуру текста, чем просто линейный порядок слов. А именно, будут предложены алгоритмы, оценивающие степень чередования, "перемешивания" слов из разных "блоков" текста (именных групп, предложений, etc.).

В первом приближении под «текстом», как и в работе [Леоненко и Поддубный, 1996], понимается иерархически организованная система элементов произвольной природы, для которой значимым является линейный порядок на каждом уровне иерархии. Но теперь он будет *не единственно* значимым отношением на указанном уровне.

Будем считать, что в тексте по каким-либо основаниям выделяются особые **группы имен** (например, в русском языке это могут быть группа подлежащего и группа сказуемого в предложении; в алгоритмическом языке – группы, относящиеся к различным операторам программы, etc.). Принимается (сравн.: [Гладкий, 1973], [Добров и др., 2004]) следующий **«принцип сплоченности» для групп**:

**CP (Cohesion Principle):** Имена, образующие группу, обычно соседствуют в тексте; и перестановки имен внутри групп «разрушают» структуру текста в меньшей степени, чем чередование имен, принадлежащих разным группам.

Проблема, как именно выделять такие группы имен в тексте (в предложении натурального языка, или в конструкции языка программирования, или в формуле, etc.) обсуждается в [Леоненко, 2008].

Ниже предполагается, что заданы два текста **A** и **B**, и в тексте **A** выделены «сплоченные» группы имен. (Когда речь идет о компьютерном тестировании знаний, в качестве **A** выступает *правильный* ответ на тестовый вопрос, а в качестве **B** – *фактический* ответ учащегося). Необходимо оценить подобие, или «аналогичность», текстов **A** и **B**. При этом текст **A** – я буду называть *моделью*, а текст **B** – *прототипом* аналогии (следуя терминологии, принятой в [Уемов, 1971]). Предлагаемые ниже численные меры аналогичности могут применяться к произвольным текстам описанной выше структуры, *независимо* от способа выделения групп имен в тексте.

---

### Меры "разобщенности" элементов заданной группы в тексте

---

Пусть даны два текста **A** и **B** – модель и прототип; и для модели **A** задано множество групп имен  $\{G_i\}$   $i \in [1, n]$ . Говоря неформально, для оценки подобия **A** и **B** будут проверяться следующие главные условия:

- 1) имеют ли **A** и **B** сходный лексический состав;
- 2) в какой степени группы имен прототипа **B**, соответствующие группам  $\{G_i\}$  из **A**, «засорены» чужеродными именами.

Аналогично понятию «группы имен в тексте» можно ввести понятие «группы символов в слове» (например, группы букв, относящихся к корню слова в этнических языках, etc.). Всюду ниже термины "символ", "буква" и "слово" будут использоваться как *относительные*: "буква" может пониматься как слово в "слове следующего уровня" (т.е. в предложении), и.т.п.

Численные меры, оценивающие условие 2, базируются на следующем понятии расстояния между символами  $a$  и  $b$  из группы  $G_i$  в слове **W**:

**Определение 1.** Мерой «разобщенности» символов  $a$  и  $b$  в слове **W** называется число  $\rho(a, b)$  элементов  $e_k$ , расположенных в **W** между  $a$  и  $b$ , таких что  $e_k \in U \setminus G_0 \setminus G_i$ .

Здесь **U** – некоторое «универсальное» множество символов, а  $G_0$  – группа «нейтральных» символов, не влияющих на разобщенность.

**Теорема 1.** Мера разобщенности  $\rho(a, b)$  является расстоянием на подмножестве элементов множества  $G_i$ , входящих в слово **W**.

Пусть  $G_i[W]$  – последовательность всех символов группы  $G_i$  в слове  $W$ . Пусть длина  $G_i[W]$  равна  $v \geq 1$ , а  $M$  – матрица размерности  $v \times v$ , элементы которой – разобщенности  $\rho(a, b)$  всех элементов множества  $G_i[W]$ .

**Определение 2.** Средней разобщенностью  $\mu(G_i[W])$  множества  $G_i[W]$  называется число 0 при  $v=1$ , а при  $v > 1$  – число:

$$\mu(G_i[W]) = \frac{\sum_{q=1}^v \sum_{r=1}^v M_{q,r}}{v(v-1)}$$

**Определение 3.** Спектром разобщенности элементов группы  $G_i$  в слове  $W$  назовем последовательность натуральных чисел  $\langle L_1, \dots, L_{v-1} \rangle$ , где  $L_k = \rho(a_k, a_{k+1})$ ,  $k \in [1, v-1]$ .

**Теорема 2.**

$$\mu(G_i[W]) = \frac{2}{v(v-1)} \sum_{j=1}^{v-1} j(v-j)L_j$$

Можно получить различные оценки зависимости меры  $\mu(G_i[W])$  от длины  $v$  последовательности  $G_i[W]$ , свойств спектра разобщенности, и других параметров. Простейшими являются оценки:

**Оценка 1.** Пусть  $L(G_i[W])$  – спектр разобщенности, и пусть  $minL$  и  $maxL$  – соответственно минимальный и максимальный элементы  $L(G_i[W])$ . Тогда  $minL \times \frac{v+1}{3} \leq \mu(G_i[W]) \leq maxL \times \frac{v+1}{3}$ .

**Оценка 2.** Обозначим через  $p$  сумму элементов спектра  $L(G_i[W])$ , т.е. число всех «чужеродных» для  $G_i$  символов между  $a_1$  и  $a_v$  в слове  $W$ . Тогда  $\frac{2p}{v} \leq \mu(G_i[W]) \leq \frac{pv}{2(v-1)}$ .

Эти оценки можно улучшать, если принимать те или иные гипотезы о структуре разобщающей  $a_1$  и  $a_v$  подпоследовательности «чужеродных» для  $G_i$  символов.

---

### Циклические "разобщенности"

---

Кроме меры  $\mu(G_i[W])$ , можно ввести меру  $\mu_0(G_i[W])$  так называемой «циклической» разобщенности символов  $a$  и  $b$  из группы  $G_i$  в слове  $W$ . Неформально циклическая разобщенность – это «обычная» разобщенность букв в слове, полученном из  $W$  «сшиванием» его начала и конца (или «скручиванием  $W$  в кольцо»). Циклическая разобщенность применяется, главным образом, не к словам, а к предложениям и текстам (и позволяет учесть, например, те случаи, когда в предложении русского языка возможен перенос слов из начала в конец с сохранением смысла).

Пусть множества  $U$ ,  $G_i$  и последовательность  $W$  определены как в предыдущем разделе; и пусть  $\rho(a, b)$  – «обычная» разобщенность букв  $a$  и  $b$  из множества  $G_i$  в слове  $W$ . Пусть, далее,  $\alpha$ ,  $\beta$  и  $\gamma$  – подслова слова  $W$  (возможно, пустые), такие, что

$$W = \langle \alpha a \gamma b \beta \rangle$$

Пусть, наконец,  $\alpha'$  и  $\beta'$  – инверсии слов  $\alpha$  и  $\beta$ ;  $W'$  – слово, равное

$$W' = \langle a \alpha' \beta' b \rangle$$

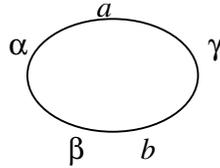
и  $\rho'(a, b)$  – «обычная» разобщенность букв  $a$  и  $b$  в слове  $W'$ .

**Определение 4.** Мерой циклической разобщенности букв  $a$  и  $b$  в слове  $W$  будем называть число

$$\rho_0(a, b) = \min\{\rho(a, b), \rho'(a, b)\}$$

Например, если  $c \notin G_i$ ,  $c \notin G_0$ ,  $d \in G_0$ , то циклическая разобщенность  $a$  и  $b$  из  $G_i$  в словах  $W_1 = \langle acdb \rangle$  и  $W_2 = \langle accb \rangle$  равна 0 (так как здесь под слова  $\alpha$  и  $\beta$  пусты); в словах  $W_3 = \langle acbc \rangle$  и  $W_4 = \langle cacb \rangle$  она равна 1; а в слове  $W_5 = \langle caccbc \rangle$  – равна 2.

Неформальным оправданием термина “циклический” и определения 4 служит схема



из которой видно, в каком смысле инверсии слов  $\alpha$  и  $\beta$  располагаются, подобно слову  $\gamma$ , “между” буквами  $a$  и  $b$ . Формально уместность указанного термина демонстрируется теоремой 3 (см. ниже).

**Определение 5.** Пусть  $W = \langle e_1, \dots, e_i, a_1, \dots, a_\nu, e_j, \dots, e_n \rangle$ , где  $a_1 \in G_i$ ,  $a_\nu \in G_i$ , причем между  $a_1$  и  $a_\nu$  расположены все элементы  $G_i$ , входящие в слово  $W$ . Пусть, далее,  $W_1$  – слово, полученное из  $W$  отбрасыванием элементов  $e_1, \dots, e_i$  и  $e_j, \dots, e_n$ ; а знак  $\oplus$  обозначает оператор конкатенации последовательностей. *Спектром циклической разобщенности* элементов множества  $G_i$  в слове  $W$  назовем последовательность натуральных чисел

$$\text{Lo}_{G_i[W]} = \{L_0\} \oplus \text{Lo}_{G_i[W_1]} \oplus \{L_\nu\} = \langle L_0, L_1, \dots, L_{\nu-1}, L_\nu \rangle$$

где  $\text{Lo}_{G_i[W_1]}$  – спектр “обычной” разобщенности для  $G_i$  в слове  $W_1$ ;  $L_0$  и  $L_\nu$  – количества тех букв  $e_k$  среди соответственно  $e_1, \dots, e_i$  и  $e_j, \dots, e_n$ , которые не принадлежат множеству  $G_0$ .

**Определение 6.** В случае циклической разобщенности *длиной P разобщающей последовательности* для множества  $G_i$  в слове  $W$  будем называть сумму элементов спектра циклической разобщенности  $\text{Lo}_{G_i[W]}$ .

Очевидно, что если  $p$  – сумма элементов спектра обычной разобщенности, то  $P = p + L_0 + L_\nu$ . Следующая лемма также очевидна:

**Лемма 1.** Если  $\text{Lo}_{G_i[W]} = \langle L_0, L_1, \dots, L_{\nu-1}, L_\nu \rangle$  – спектр циклической разобщенности, то для любых натуральных  $k \geq 1$  и  $t \in [k+1, \nu-k]$

$$\rho_0(a_k, a_t) = \min \left\{ \sum_{j=k}^{t-1} L_j, \sum_{j=0}^{k-1} L_j + \sum_{j=t+1}^{\nu} L_j \right\} = \min \{ \rho(a_k, a_t), P - \rho(a_k, a_t) \}$$

**Оценка 3** (следствие леммы 1). При принятых выше обозначениях  $\rho_0(a_k, a_t) \leq 0,5 * P$ .

**Теорема 3.** Пусть слово  $W'$  – циклическая перестановка слова  $W$ , т.е.  $W = \langle e_1, \dots, e_k, e_{k+1}, \dots, e_n \rangle$  и  $W' = \langle e_{k+1}, \dots, e_n, e_1, \dots, e_k \rangle$ . Пусть, далее, вхождения  $a$  и  $b$  некоторых букв слова  $W$  принадлежат множеству  $G_i$ , а  $a'$  и  $b'$  – вхождения в слово  $W'$ , в которые перешли  $a$  и  $b$  в результате циклической перестановки  $W$ . Тогда  $\rho_0(a', b') = \rho_0(a, b)$ .

**Теорема 4.** Мера циклической разобщенности  $\rho_0(a, b)$  является расстоянием на подмножестве элементов множества  $G_i$ , входящих в последовательность  $W$ .

**Определение 7.** Пусть  $\nu > 1$ . *Матрицей циклической разобщенности* множества  $G_i[W] = \{a_1, \dots, a_\nu\}$  назовем матрицу  $M^0$  размерности  $\nu \times \nu$ , элементы которой  $M_{q,r}^0$  суть  $\rho_0(a_q, a_r)$  в последовательности  $W$ .

**Определение 8.** Средней циклической разобщенностью  $\mu_0(\mathbf{G}_i[\mathbf{W}])$  множества  $\mathbf{G}_i[\mathbf{W}]$  назовем число 0 при  $v=1$ , а при  $v>1$  – число:

$$\mu_0(\mathbf{G}_i[\mathbf{W}]) = \frac{\sum_{q=1}^v \sum_{r=1}^v M_{q,r}^{\circ}}{v(v-1)}$$

где  $\mathbf{M}^{\circ}$  – матрица циклической разобщенности множества  $\mathbf{G}_i[\mathbf{W}]$ .

Следствием теоремы 4 является равенство (при  $v>1$ )

$$\mu_0(\mathbf{G}_i[\mathbf{W}]) = 2 \times \frac{\sum_{q=1}^{v-1} \sum_{r=q+1}^v M_{q,r}^{\circ}}{v(v-1)}$$

Из теоремы 3 следует: если слово  $\mathbf{W}'$  – циклическая перестановка слова  $\mathbf{W}$ , то  $\mu_0(\mathbf{G}_i[\mathbf{W}]) = \mu_0(\mathbf{G}_i[\mathbf{W}'])$ .

**Теорема 5.** Для любого слова  $\mathbf{W}$  имеет место неравенство  $\mu_0(\mathbf{G}_i[\mathbf{W}]) \leq \mu(\mathbf{G}_i[\mathbf{W}])$ .

**Оценка 4.** Пусть  $\min L$  и  $\max L$  – соответственно минимальный и максимальный элементы спектра циклической разобщенности  $L \oslash \mathbf{G}_i[\mathbf{W}]$ . Тогда

$$\min L \times \frac{v+1}{4} \leq \mu_0(\mathbf{G}_i[\mathbf{W}]) \leq \max L \times \frac{1}{4} \left( v+1 + \frac{1}{v-1} \right)$$

Оценки 3 и 4 можно улучшать, если принимать те или иные гипотезы о структуре спектра циклической разобщенности.

### Понятие " $\varphi$ -сплоченности"

**Определение 9.** Пусть  $\varphi$  – любая функция со следующими свойствами: 1)  $\varphi(x)$  определена для любого  $x \geq 0$ ; 2)  $\varphi(0) = 1$ ; 3)  $\varphi(x)$  невозрастает при  $x \rightarrow \infty$ . Тогда  $\varphi$ -сплоченностью элементов множества  $\mathbf{G}_i$  в слове  $\mathbf{W}$  назовем величину

$$C(\varphi, \mathbf{G}_i, \mathbf{W}) = \varphi(\mu(\mathbf{G}_i[\mathbf{W}])) ,$$

а циклической  $\varphi$ -сплоченностью – величину

$$C_0(\varphi, \mathbf{G}_i, \mathbf{W}) = \varphi(\mu_0(\mathbf{G}_i[\mathbf{W}]))$$

Ввиду свойства 3 функции  $\varphi$  и теоремы 5 предыдущего раздела  $C_0(\varphi, \mathbf{G}_i, \mathbf{W}) \geq C(\varphi, \mathbf{G}_i, \mathbf{W})$ .

Если трактовать слово  $\mathbf{W}$  как *предложение* (или иное корректное выражение) некоторого (натурального или искусственного) языка; буквы  $\mathbf{W}$  как *слова* этого выражения; а множества  $\mathbf{G}_i$  – как некоторые *части*  $\mathbf{W}$  (например, именные группы, входящие в  $\mathbf{W}$ ); то средние разобщенности  $\mu$  и  $\mu_0$  являются оценками "сплошности" размещения слов части  $\mathbf{G}_i$  в выражении  $\mathbf{W}$ . Циклическая либо нециклическая разобщенность используется в зависимости от того, допускает ли ситуация перенос части слов  $\mathbf{G}_i$  из начала в конец выражения без ущерба для "сплошности"  $\mathbf{G}_i$ . Например, для следующего предложения (из «Ночи перед Рождеством» Н.В. Гоголя):

$\mathbf{W}$  = *Ведьма, увидевши себя вдруг в темноте, вскрикнула*

такие переносы допустимы, но лишь ограниченно: предложение

*Вскрикнула ведьма, увидевши себя вдруг в темноте*

вероятно, можно считать эквивалентным  $W$ ; однако

*В темноте вскрикнула ведьма, увидевши себя вдруг*

– уже нет.

Тем не менее, иногда разумно применять именно циклическую меру разобшенности. Так, в работе [Добров и др., 2004, с.66] обсуждается проблема распознавания в техническом тексте понятий, описанных формальной онтологией соответствующей предметной области. Авторы пишут: «распознавание “разорванных” терминов в тексте представляет достаточно сложную проблему», и приводят следующий пример: «...для понятия *вертикальный маневр* существует синоним *маневр в вертикальной плоскости*, который мог бы встретиться в предложении вида “*Маневр осуществляется самолетом... в вертикальной плоскости*”». Очевидно, что здесь циклическая сплоченность упомянутого термина, в отличие от нециклической, не нарушена.

Что касается  $\varphi$ -сплоченности, то она будет использоваться как особая мера сходства таких последовательностей слов из  $G_i$ , которые в различной степени “засорены чужеродными словами”. Этот тип сходства можно сопоставить, не претендуя на полноту аналогии, с понятием “узнаваемость”. Условие 2), которому удовлетворяет  $\varphi$ , означает, что когда между словами из  $G_i$  в  $W$  нет слов, принадлежащих другим частям  $W$  (кроме “нейтральных” слов из  $G_0$ ), узнаваемость части  $G_i$  в  $W$  равна 1. В противном случае она может быть (не обязательно) меньше 1. Конкретный вид функции  $\varphi$  может выбираться в зависимости от принимаемой гипотезы, насколько узнаваемость части  $G_i$  искажается от ее “засорения”. Если, допустим, принимается, что даже одно “разобщающее” слово сильно портит узнаваемость  $G_i$ , рационально выбрать  $\varphi = e^{-x}$ . Если же считать, что  $G_i$  остается хотя бы “наполовину” узнаваемым, сколько бы чужеродных слов его не перемежали, можно выбрать  $\varphi = (1+x)/(1+2x)$ , пределом которой при  $x \rightarrow \infty$  будет 1/2. Наконец, если принять, что при любой степени “засорения” узнаваемость снижается ровно вдвое, можно положить  $\varphi(x)=1$  при  $x=0$  и  $\varphi(x)=0,5$  при  $x>0$ .

### О применении мер $\varphi$ -сплоченности

Приведем примеры применения рассмотренных мер к оценкам аналогичности структур различных предложений русского языка, сходных по лексическому составу. Предметная область – компьютерное тестирование знаний. Пусть «эталонным» ответом на вопрос

*Каково наиболее значительное достижение в области математики конца XVII в.; и кто его автор?*

считается предложение

*Ньютон и Лейбниц открыли математический анализ.*

Это предложение трактуется как модель вывода по аналогии; и в нем выделяются именные группы:  $G_1$  – множество слов, подобных одному из слов {*Ньютон, Лейбниц*};  $G_2$  – множество слов, подобных для {*изобрел, открыл, придумал, создал, автор*};  $G_3$  – множество слов, подобных для {*математический, анализ, матанализ*}. Подобие трактуется в смысле [Леоненко и Поддубный, 1996]: задается некий численный уровень подобия, достаточный, чтобы, например, слова *Ляйбниц* или *Лейбницем* считались эквивалентными слову *Лейбниц*.

Пусть в качестве других возможных ответов на поставленный вопрос компьютер должен оценить предложения:

1. *Лейбниц и Ньютон – изобретатели матанализа.*
2. *Мат. анализ был создан Ньютоном и Лейбницем.*
3. *Матанализ придуман Лейбницем и Ньютоном.*

4. Лейбниц, а также Ньютон, открыли анализ.
5. Ньютон открыл матанализ, и Лейбниц также.
6. Мат. анализ Ньютон открыл, и Лейбниц.
7. Матанализ, Лейбниц, Ньютон.
8. Лейбниц придумал матанализ.
9. Анализ Ньютона математический Лейбниц придумал.
10. Математика Ньютона открыла Лейбницев анализ.
11. Ньютон анализ создал математику Лейбница.
12. Открыт и Ньютон анализом Лейбница.
13. Ньютон придумал Лейбница и создал анализ.
14. Анализ изобретений Ньютона и Лейбница открыл мат.
15. Ньютон открыл математику, Лейбниц – анализ 'и'.

Обозначим эти шестнадцать предложений через  $W_0$  (эталон),  $W_1, \dots, W_{15}$ . Видимо, не встретит возражений утверждение, что  $W_1 - W_5$  являются приемлемыми ответами. Ответ  $W_6$  стилистически неудачен, но верен. Ответ  $W_7$  предельно лапидарен и верен. Ответ  $W_8$  неполон; можно спорить, следует ли “засчитывать” его. При устном опросе преподаватель, возможно, тем или иным способом побудил бы студента дополнить ответ  $W_8$ . Мы будем считать  $W_8$  “пограничным” между допустимыми и недопустимыми ответами. Что касается ответа  $W_9$ , то его можно истолковать как двусмысленный (или, если угодно, косноязычный) – и потому также отнести к “пограничным” ответам. Либеральный экзаменатор примет его, ригорист – нет (но и ригорист задумается, если ответ  $W_9$  поступил от иностранца, плохо владеющего русским).

Ответы же  $W_{10} - W_{15}$ , по-видимому, являются совершенно неприемлемыми. Но все же “качество” их неприемлемости разное. Ответ  $W_{10}$  выражает – правильным русским языком – вполне ложное суждение. Но представим, что его грамматическая правильность лишь кажущаяся, поскольку  $W_{10}$  (как выше  $W_9$ ) высказан иностранцем, не владеющим падежами. В этой ситуации  $W_{10}$  становится весьма похожим на  $W_9$ , хотя все же менее приемлемым.

Постоянная “гипотеза иностранца” может показаться нарочитой и неоправданной. Однако ясно, что те или иные искажения могут появиться в содержательно верном ответе по разным причинам. Представим себе, например, вполне русскоязычного студента, который переиначивает слова в ответе, желая посмеяться над компьютерной тестирующей системой. Если конструкторы тестирующей системы хотят предусмотреть какую-то реакцию на подобные действия студентов, они могут зафиксировать степень допустимых искажений ответов. Теория подобия текстов [Леоненко и Поддубный, 1996] позволяет задать пределы буквенных искажений слов фразы. В нашем же случае мы хотим учесть те искажения, которые вносятся *перемещением слов, принадлежащих одним именным группам, внутрь других именных групп* предложения-ответа.

Допустим поэтому, что: **(A1)** Во всех рассматриваемых предложениях  $W_0 - W_{15}$  падежные окончания, а также иные “незначительные” искажения слов (вроде *Лейбниц – Ляйбниц*) не следует принимать во внимание; **(A2)** Оттенки смысла слов-синонимов вроде *открыл, изобрел и создал* (эти оттенки в той или иной мере существенны при трактовке  $W_0 - W_{15}$  как грамматически правильных фраз русского языка), также игнорируются. Наконец, учтем, что при вводе ответа с клавиатуры некоторые буквы слов могут быть непреднамеренно пропущены – и это же относится к коротким, особенно однобуквенным, словам. Поэтому примем: **(A3)** Пропуск/добавление одного-двух однобуквенных слов не должны сильно влиять на оценку ответа.

Ясно, что допущения (A1)–(A3) не следует трактовать как “общезначимые”. Вполне уместны (и неоднократно применялись) подходы, при которых, скажем, от тех или иных падежных окончаний слов существенно зависит способ распознавания смысла предложения (см., напр., [Гладун, 1987, с.100-119], [Добров и др., 2004, с.59]). Но при анализе предложения на “сплоченность” его именных групп принятие (A1)–(A3) оправданно, особенно если применять такой анализ *независимо* от других способов оценки предложения. Например, можно *сначала* отобрать приемлемый ответ на основе лексического подобия фраз, *не* предполагая при этом (A1)–(A3), и лишь *затем* оценить степень сплоченности этого ответа с учетом (A1)–(A3). Именно это предполагает метод оценки подобия текстов, описанный ниже.

При допущениях (A1)–(A3) предложение  $W_{11}$ : *Ньютонов анализ создал математику Лейбница* – может быть расценено как искаженное *Ньютон анализ создал математический, и Лейбниц*, что почти совпадает с  $W_6$  или  $W_9$ .

Таким образом, если принимать (A1)–(A3), то ответы  $W_{10}$ ,  $W_{11}$  (и, как легко видеть,  $W_{12}$ ) нужно оценить как хотя и неприемлемые, но все же находящиеся от множества “пограничных” ответов “на меньшем расстоянии”, чем, ответы  $W_{13}$  –  $W_{15}$ .

Нетрудно убедиться в том, что мера широкого невзвешенного подобия  $F_0$  [Леоненко и Поддубный, 1996], оценивающая подобие фактического и эталонного ответа без учета порядка следования слов, припишет предложениям  $W_1, \dots, W_{15}$  следующие степени сходства с  $W_0$  (с точностью до сотых):

$$\begin{aligned} W_1 - 1.0; & \quad W_2 - 0.86; & \quad W_3 - 1.0; & \quad W_4 - 1.0; & \quad W_5 - 0.83; & \quad W_6 - 1.0; & \quad W_7 - 0.6; \\ W_8 - 0.6; & \quad W_9 - 0.83; & & & & & \\ W_{10} - 0.83; & \quad W_{11} - 0.83; & \quad W_{12} - 1.0; & \quad W_{13} - 0.83; & \quad W_{14} - 0.86; & \quad W_{15} - 1.0. \end{aligned}$$

Таким образом, мера  $F_0$  не отделяет удовлетворительным образом приемлемые ответы  $\{W_1, \dots, W_7\}$  от “пограничных”  $\{W_8, W_9\}$  и от неприемлемых  $\{W_{10}, \dots, W_{15}\}$ .

Ситуация практически не улучшается, если применить взвешенное подобие [Leonenko, 2002], [Leonenko, 2010]. Давайте припишем элементам эталона следующие относительные веса (в скобках):

*Ньютон(4) и(0) Лейбниц(4) открыли(1) математический(3) анализ(8).*

Заметим, что синонимичные словосочетания могут содержать разное количество слов, но их суммарные веса должны быть равны; таким образом, *матанализ* из группы  $G_3$  будет иметь вес 11, равный сумме весов слов *математический* и *анализ*. Кроме того, при задании весов эталона можно указать множество слов, которые, хотя и не рассматриваются как синонимичные словам эталона, при появлении в ответе должны иметь вес 0 – таковы, для данного примера, слова *также, кроме, был, etc.*

Далее применим меру широкого (не учитывающего порядок слов) *взвешенного* подобия, которая принимает ожидаемый вес слов ответа, не вошедших в базис подобия, равным *среднему арифметическому слов* эталона, *имеющих ненулевой вес* (в нашем случае этот ожидаемый вес равен 4). Обозначим эту меру через  $V_0(A, B)$ , где  $A$  – текст-модель (эталон), и  $B$  – текст-прототип.  $V_0$ –взвешенные степени подобия пятнадцати предложений-ответов эталону  $W_0$  будут такими:

$$\begin{aligned} W_1 - 1.0; & \quad W_2 - 1.0; & \quad W_3 - 1.0; & \quad W_4 - 0.85; & \quad W_5 - 1.0; & \quad W_6 - 1.0; & \quad W_7 - 0.95; \\ W_8 - 0.8; & \quad W_9 - 1.0; & & & & & \\ W_{10} - 1.0; & \quad W_{11} - 1.0; & \quad W_{12} - 0.85; & \quad W_{13} - 0.81; & \quad W_{14} - 0.83; & \quad W_{15} - 1.0. \end{aligned}$$

(Здесь при подсчете степеней для  $W_{13}$  и  $W_{14}$  учтено, что каждое из них содержит *одно* слово – например, для  $W_{14}$  им может считаться любое из слов *изобрел* или *открыл*, а также подобные им слова, – не входящее в базис подобия).

Улучшения, вносимые мерой  $V_0$  сравнительно с  $F_0$ , связаны только с относительным повышением веса ответа  $W_7$  по сравнению с  $W_8$ . Вместе с тем классы приемлемых, неприемлемых и “пограничных”

ответов по-прежнему не отделены.

Попробуем получить искомое отделение классов, используя понятие  $\varphi$ -сплоченности. Вычислим нециклические  $\varphi$ -сплоченности каждого из указанных шестнадцати предложений  $W_0, \dots, W_{15}$ , для каждой из выделенных в  $W_0$  именных групп  $G_1, G_2$  и  $G_3$ , используя в качестве  $\varphi$  функцию  $\varphi=1/(1+x)$ . Мы получим, в частности:  $C(\varphi, G_1, W_0) = 1$ ;  $C(\varphi, G_1, W_1) = 1$ ;  $C(\varphi, G_1, W_5) = 0.333$ ; и т.д.

В теории подобию текстов *базисом подобия* текстов  $A$  и  $B$  называется, если опустить детали, то мультимножество (для широкого подобию) или кортеж (для узкого подобию) их общих вхождений суб-текстов, на основании которого оценивается степень подобию  $A$  и  $B$ . Для оценки невзвешенного подобию важен размер (мощность) базиса, а для взвешенного – суммарный вес элементов базиса.

Пусть для любого предложения  $W_k$  с  $k \in [1, 15]$  через  $B(W_k)$  обозначен *базис широкого взвешенного подобию* фразы  $W_k$  относительно эталона  $W_0$ . Скорректируем правило для вычисления степени широкого взвешенного подобию  $V_0(W_0, W_k)$  следующим образом:

Если в базис подобию  $B(W_k)$  входит группа слов из множества  $G_i$ , то при подсчете веса базиса суммарный вес этой группы следует умножить на  $\varphi$ -сплоченность множества  $G_i$  в предложении  $W_k$ .

Численную оценку подобию двух фраз, полученную в результате применения приведенного выше правила, учитывающего  $\varphi$ -сплоченности групп слов во фразе, обозначим через  $H_0(A, B)$ . Ясно, что в общем случае  $H_0$  зависит от выбранной функции  $\varphi$  и типа сплоченности (циклической либо нециклической).

В нашем примере (нециклическая  $\varphi$ -сплоченность с  $\varphi=1/(1+x)$ )  $H_0$ -взвешенные степени подобию пятнадцати предложений-ответов эталону  $W_0$  окажутся следующими:

$$\begin{aligned} W_1 - 1.0; & \quad W_2 - 1.0; & \quad W_3 - 1.0; & \quad W_4 - 0.85; & \quad W_5 - 0.73; & \quad W_6 - 0.8; & \quad W_7 - 0.95; \\ W_8 - 0.8; & \quad W_9 - 0.53; & & & & & \\ W_{10} - 0.39; & \quad W_{11} - 0.43; & \quad W_{12} - 0.65; & \quad W_{13} - 0.63; & \quad W_{14} - 0.53; & \quad W_{15} - 0.46. \end{aligned}$$

Мы видим, что одновременный учет взвешенного лексического подобию и нециклической  $\varphi$ -сплоченности позволяют хорошо отделить классы допустимых  $\{W_0, \dots, W_7\}$  и недопустимых  $\{W_{10}, \dots, W_{15}\}$  ответов. Скажем, если выбрать уровень подобию, на котором ответ признается приемлемым, равным 0.7; то все содержательно правильные ответы будут признаны компьютером допустимыми, а содержательно неправильные – недопустимыми. При этом “пограничный” ответ  $W_8$  будет отнесен к классу допустимых, а “пограничный” ответ  $W_9$  признан недопустимым – что, по-видимому, приемлемо.

Если вместо нециклической использовать *циклическую*  $\varphi$ -сплоченность, то для предложения  $W_5$  степень подобию эталону  $W_0$  окажется равной 1. Но нетрудно показать, что в целом для совокупности предложений  $W_0, \dots, W_{15}$  циклические  $\varphi$ -сплоченности оказываются непригодными для различения классов допустимых и недопустимых ответов в множестве  $W_1, \dots, W_{15}$  (причем при различных выборах функции  $\varphi$ ). Скажем, степени подобию эталону  $W_0$  для ответов  $W_6$  и  $W_{10}$  получаются равными; степень подобию  $W_6$  меньше, чем у  $W_{14}$ , и т.п.

---

## Заключение

---

Принцип сплоченности **СП** является одним из структурных принципов, нарушения которого снижают «целостность» восприятия текста человеком. Эта целостность обусловлена семантическими связями терминов текста (как для натуральных, так и для искусственных языков). Тем не менее сам принцип **СП** носит чисто синтаксический характер. В этом он сходен с принципом взвешенного лексического подобию.

Проведенные статистические эксперименты [Баранов, 2004] показали, что в определенных областях, – в частности, в сфере компьютерного тестирования знаний, – алгоритмы сравнения текстов, базирующиеся на описанных в данной статье мерах подобия, позволяют получить адекватные оценки подобия текстов. Оценки «открытых» ответов, выставляемые системой тестирования знаний CONTROL (использующей упомянутые алгоритмы), статистически не отличаются от оценок специалистов-преподавателей. Это дает возможность *игнорировать разного типа несущественные ошибки и искажения* ответов; и как следствие позволяет сделать «открытые» ответы равноправными с другими типами ответов при компьютерном тестировании (см. [Леоненко, 2010]).

---

### Благодарности

Работа опубликована при финансовой поддержке проекта **ITHEA XXI** Института информационных теорий и приложений FOI ITHEA Болгария [www.ithea.org](http://www.ithea.org) и Ассоциации создателей и пользователей интеллектуальных систем ADUIS Украина [www.aduis.com.ua](http://www.aduis.com.ua).

---

### Библиография

- [Leonenko, 2002] L. Leonenko. Analogical inferences in computer assisted knowledge testing systems // 6th Multi-Conference on Systemics, Cybernetics and Informatics. – Orlando, Florida, USA, 2002. Proc., Vol. XVIII, pp.371-376.
- [Leonenko, 2010] L. Leonenko. Analogies between Texts: Mathematical Models and Applications in Computer-assisted Knowledge Testing // Information Models of Knowledge. – Kiev, Ukraine – Sofia, Bulgaria: ITHEA, 2010, pp. 128 – 134.
- [Баранов, 2004] В. Ю. Баранов. Комп'ютерне тестування з інформатики: підсумки педагогічного експерименту в Одеській національній академії зв'язку // Теорія та методика навчання математики, фізики, інформатики. – Вип. 4. – Т. 3 – Кр.Ріг.: НМетАУ, 2004. – с. 6 –12.
- [Гладкий, 1973] А.В. Гладкий. Математические методы изучения естественных языков // Труды МИАН им. В.А.Стеклова. – 1973. – Том 133. – с. 95 – 108.
- [Гладун, 1987] В.П. Гладун. Планирование решений. – К.: Наукова думка, 1987. – 168 с.
- [Добров и др., 2004] Б.В. Добров, Н.В. Лукашевич, О.А. Невзорова, Б.Е. Федун. Методы и средства автоматизированного проектирования прикладной онтологии // Изв. РАН. Теория и системы управления. – 2004. – № 2. – с. 58–68.
- [Леоненко, 2008] Л.Л. Леоненко. Язык тернарного описания в оценках связности текстов // Сб. трудов VIII международной конф. "Интеллектуальный анализ информации". – К.: Просвіта, 2008, с. 286–295.
- [Леоненко, 2010b] Л. Леоненко. "Открытые" ответы в компьютерном тестировании знаний // Information Models of Knowledge. – Kiev, Ukraine – Sofia, Bulgaria: ITHEA, 2010, pp. 355 – 361.
- [Леоненко и Поддубный, 1996] Л.Л. Леоненко, Г.В. Поддубный. Теория подобия конечных последовательностей и ее приложения к распознаванию образов // Автоматика и телемеханика, 1996, № 8, с.119-131.
- [Смит, 2006] У. Смит. Методы и алгоритмы вычислений на строках. – М.: "И.Д. Вильямс", 2006. — 496 с.
- [Уемов, 1971] А.И. Уемов. Логические основы метода моделирования. М.: Мысль, 1971. – 311 с.

---

### Информация об авторе



**Леонид Леоненко** – Одесская национальная академия связи им. А. С. Попова, доцент, ул. Конная, 22, кв. 6, Одесса, 65029, Украина; e-mail: [Leonid.Leonenko@gmail.com](mailto:Leonid.Leonenko@gmail.com)  
Основные области научной деятельности: неклассическая логика, общая теория систем, компьютерное тестирование знаний

---

---

## Management of computing and information system

---

---

### METHOD FOR DETERMINATION OF INTERRELATION BETWEEN ACCESS NETWORK CHARACTERISTICS

**Galyna Gayvoronska, Svetlana Sakharova**

**Annotation:** *The paper is dedicated to the solving of the task of analyzing the access networks parameters and to the determination of correlations between them. Considering the network total cost as a system consisting of many individual components, there is given example of the establishment of relations between the components making the cost of the access network.*

**Keywords:** *access network, access network parameters, correlation between the parameters, interrelation scheme.*

**Keywords classification of ACM:** *C.2. Computer-communication networks, H. Information Systems - H.1 Models and Principles, K. Computing Milieux - K.6 Management of computing and information system*

---

#### Introduction

---

Nowadays one of the major problems in the field of telecommunications is the designing of perspective access networks (AN). The access networks are segment of the next generation networks (NGN) and provide access to all basic networks, which services are ordered by the user over a single access line (AL).

On the basis of the analysis of international standards and recommendations [1] and regional organizations for standardization in the field of AN designing the basic models for building of access segment were allocated and researched [2-4].

As researched AN have set of parameters which is different from the parameters of the existing subscriber networks, it's necessary to analyze and make a characterization of these parameters, to identify the correlation between them and bring them into a form suitable for modeling. The optimal network structure and consequently its cost will vary depending on the variation of predicted parameters. Even a slight change in the initial values can significantly affect the resulting performance, which indicates the importance of researching the question of how variations in input parameters affect the network configuration and its cost.

The necessity of analysis problem's solving is indicated in the work [4] at the statement of the research problem.

Made earlier [4-12] analysis of the initial parameters of AN allowed to identify those one that didn't significantly affect the process of network creating and could be neglected and essential in creating AN parameters influencing on their structure and cost. To classify parameters by their importance at the AN designing signs for the classification parameters were marked. Taking into consideration that there was allocated big number of parameters at the access system research for further research chosen parameters were divided into groups.

All set of the AN parameters is divided into two categories: qualitative and quantitative, which defined by the ranges and gradation of values taken by them.

---

### Statement of the problem

---

The aim of the study is to improve the efficiency of perspective AN designing, to reduce the cost of their creation and to improve the operational efficiency.

The object of the study is the predicted parameters of AN.

The subject of the study are methods for analyzing the parameters of AN.

On the base of results presented earlier in authors works [4-12] there are following problems solving in this paper:

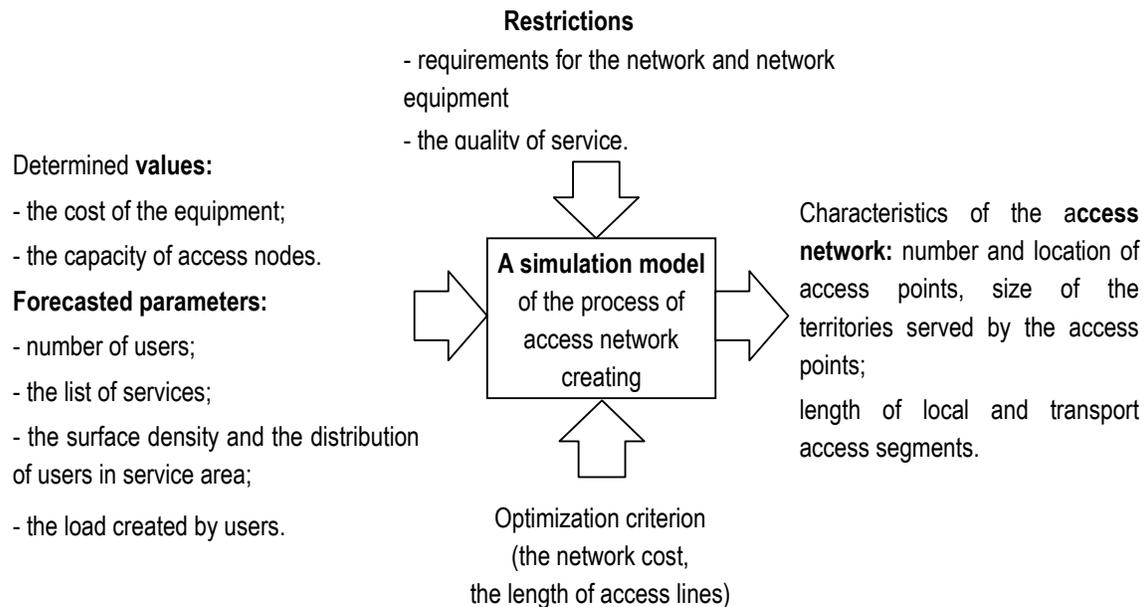
- forming the model for research the effect of the forecasted parameters' variations on the resulting characteristics of AN;
- identifying the forecasted parameters that affect the values of the AN resulting characteristics;
- constructing the interrelation scheme of AN parameters;
- identifying the correlation between forecasted parameters.

---

### The model for research of forecasted parameters' variation's impact on the resulting characteristics of AN

---

The influence of the forecasted parameters' variation on the characteristics of the designing AN is solved in this work. It is done by means of imitating modeling methods. For these purpose it is proposed the structure of the research, presented in Figure 1.



**Figure 1.** The model for research of forecasted parameters' variation's impact on the resulting characteristics of AN

Forecasted parameters are chosen as the initial values. They include, first of all, the number of AN users, the list of infocommunication services (ICS), the surface density and the distribution of users at the AN service area, the load created by these users and many other variables. To implement the model, simulating the process of AN creating, several authors solutions are offered. They allow obtaining optimal values of the AN resulting

characteristics, including number, capacity and location of access points (AP), sizes of areas served by these nodes (APT), the total cost of the network. The network cost and the length of the AL local segment are selected as the criteria for optimization. Quality of rendering services, network requirements to the network and network equipment are specified as restrictions. Peculiarities of the territory where construction of AN is planned and the presence of natural obstacles and objects which prevent the laying of lines and installation of AP are also considering. Users can connect to service rendering point (SRP) directly without the use of AP. The lines for which AP are used may have one-level or two-level structure of the connection, thus possible combinations of AP can have place. Options for users connecting to the SRP using direct connection and AL one-level structure: through individual AL for users located within the territory served by the SRP, through concentrators (C) for rather large groups of remote users, through multiplexers (M, for groups of remote users with digital terminals. Variants with two-level structure for connection of small groups of remote users: through concentrators connected to other concentrators, through concentrators connected to multiplexers, through multiplexers connected to other multiplexers, through multiplexers connected to concentrators.

---

### AN parameters interrelation scheme

---

At the analysis of AN resulting characteristics forecasted parameters affecting the value of properties are discovered. Bandwidth of access nodes depends on the forecasted values: the number of users  $N_p$  connected to the node and the load created by these users:

$$\omega_{AP} = f_1(N_p, \omega_p, \omega_1, \omega_2, n_2), \quad (1)$$

were:  $\omega_p$  – average bandwidth of one connection to the AP;

$\omega_1$  – bandwidth of the access transport segment connecting AP with the SRP;

$\omega_2$  – bandwidth of the link between the access nodes if two-level structure is used,  $\omega_2 = 0$  at the one-level AP connection structure;

$n_2$  – number of AP.

The total bandwidth of the access transport segment's links which are to be connected to the AP at the one-level structure is being determined by the forecasted values:

$$\omega_1' = f_2(N_p, \omega_p). \quad (2)$$

The forecasted surface density  $\eta$  of users and their placing in the service area affect the length of the AL segment.

For the rectangular structure:

$$l_{RecS} = f_3(\eta, \eta_{AP}, a, b, a_{SRP}, b_{SRP}, a_{AP}, b_{AP}, N_{SRP}, N_{AP}, N_{SRPT}), \quad (3)$$

where:  $a, b$  – sizes of the rectangular sides of the territory served by the AN;

$a_{SRP}, b_{SRP}$  – sizes of the rectangular area sides where AL are connected directly to the SRP;

$a_{AP}, b_{AP}$  – sizes of the rectangular sides of the territory served by single AP;

$\eta_{AP}$  – surface density of AP distribution;

$N_{AP}$  – number of AL connected to the AP;

$N_{SRP}$  – number of AL connected to the SRP;

$N_{SRPT}$  – number of AL connected directly to the SRP within the territory served by AP.

For the radial structure:

$$I_{RadS} = f_4(\eta, \eta_{AP}, R, R_{SRP}, R_{AP}, m_{SRP}, N_{SRP}, N_{AP}, N_{SRPT}), \quad (4)$$

where  $R$  – AN territory radius;

$R_{SRP}$  – radius of the territory where AL are connected to SRP;

$R_{SRP_i}$  – radius of  $i^{th}$  SRP servicing;

$m_{SRP}$  – number of SRP connected by AL;

$R_{AP}$  – radius of the area serviced by single AP;

$N_{AP}$  – number of AP at the APT;

$R_{APT_i}$  – radius of  $i^{th}$  APT.

Optimal number of AP at the analyzed territory of AN:

$$n = f_5(N_0, c_1, \omega_1). \quad (5)$$

Common equation of AL costs:

$$C = f_6(c_{TC}, I_{TC}, c_{LC}, I_{LC}, c_T, L_T, \beta_T, I_T, \omega_T, c_L, L_L, \beta_L, I_L, \omega_L, c_{AP}, c'_{AP}, N_{L1}, c_P, v_P), \quad (6)$$

where for the AL local and transport segments:

$c_{TC}, c_{LC}$  – cost of the length unit of the cable path construction;

$c_T, c_L, c_{AP}$  – initial cost of length unit of the cable and AP;

$I_{TC}, I_{LC}$  – length of the cable path construction;

$L_T, L_L$  – total cable length;

$I_T, I_L$  – average length of single AL;

$\beta_T, \beta_L$  – coefficient for accounting the dependence between the cable cost and its bandwidth;

$\omega_T, \omega_L$  – bandwidth of AL;

$c'_{AP}$  – AP cost depending on the bandwidth;

$c_P$  – cost of the SRP single port;

$v_P$  – number of SRP ports.

If the total network cost is being considered as system consisting of many separate components each of which is represented as class of parameters with its own set of attributes, it is possible to establish relationship between the components of the cost. Such conception allows distinguishing among the set of parameters classes the object of research which is represented as AN forecasted parameters. Figure 2 illustrates the relationship between the elements which are represented as parameters influencing the AN cost.

Solid line at the fig. 2 identifying the generalization ratio between the scheme classes, dotted line - the ratio of aggregation between the classes. To get the access network cost  $C$  it is necessary to specify costs of its elements, costs of its installation  $\{c\}$ , to determinate length of the paths and access lines  $\{L, I\}$ , number of access points  $\{n\}$ , bandwidth of AL and AP  $\{\omega\}$ . At the definition of these values the forecasted parameters appear, including number and surface density of ICS users, specific bandwidth  $C = f(\omega_p, \eta, N_p)$ . These parameters are specified at the scheme.

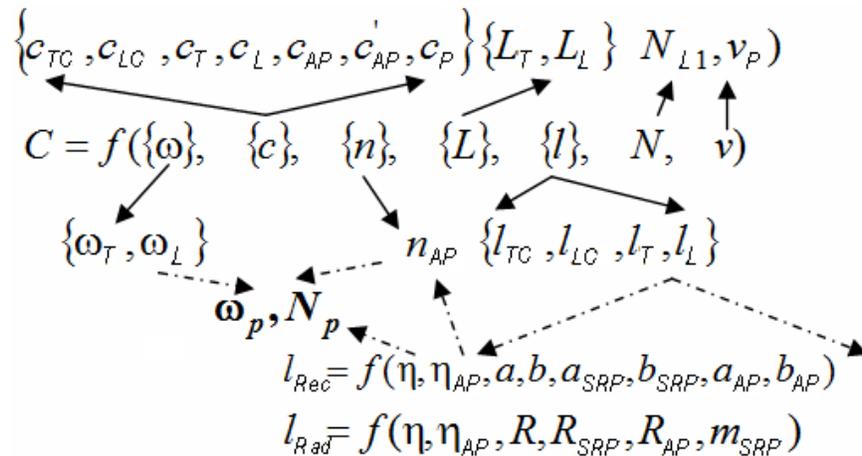


Figure 2. AN parameters interrelation scheme

In order to determine the network topology in addition to the forecasted values  $\omega_p, \eta, N_p$ , it is necessary considering of service area features: form of the territory, its size, the APT size, the size of the territory where users connect directly to SRP without the use of AP (SRPT).

For the distribution of the parameters according to their importance in the process of AN creation features which can make the classification parameters are being specifying. As an example: it is possible to classify the AN parameters according to the class of serviced areas, because at the network designing it is necessary to take into account local features of the territory for which it is being created. These parameters are geographic terrain features, population density, surface density of users, their financial facilities, terrain type.

## Conclusion

The essential difference between the access network parameters and the existing subscriber networks parameters has necessitated the analysis of these parameters and identifying of the interrelation between them. Relations between the cost components are established during analyzing of the total cost of the network as a system consisting of many separate components, when each of them is being represented as class of options with its own set of attributes. This conception allowed to reveal correlation between the parameters and to select the object of research among the set of parameters classes. Object of research is forecasted parameters of access networks.

## Acknowledgements

The paper is published with financial support by the project ITHEA XXI of the Institute of Information Theories and Applications FOI ITHEA Bulgaria [www.ithea.org](http://www.ithea.org), and the Association of Developers and Users of Intelligent Systems ADUIS Ukraine [www.aduis.com.ua](http://www.aduis.com.ua).

## Literature

1. "Международный союз электросвязи (ITU)", официальное Интернет-представительство, [Электронный ресурс] — Режим доступа: <http://www.itu.int> / — 12.06.2012г. — Загл. с экрана.
2. Гайворонская Г.С. Основные задачи модернизации сетей пользовательского доступа / Г.С Гайворонская., А.И. Котова // Зв'язок. — 2010. — №1 (89). — С. 18-24;
3. Гайворонская Г.С. Концепция пользовательского доступа: Учебник для ВУЗов [Текст] / Г.С Гайворонская — Одесса: ОГАХ, 2008. — 408 с.
4. Галина Гайворонская Выбор сценария создания сети доступа / Галина Гайворонская, Светлана Сахарова, Александра Котова // International Journal "Information Theories and Knowledge". — Sofia: ITHEA, 2012. — № 2 (Volume 6) — P. 143-156.
5. Гайворонська Г.С. Определение качества обслуживания на сетях доступа к мультисервисным сетям / Г.С. Гайворонская, С.В.Сахарова, А.А Крыжановская // Наукові праці Донецького інституту залізничного транспорту Української державної академії залізничного транспорту. — Донецьк 2012. Вип. 29.— С. 68-72.

6. Svetlana Sakharova Analysis and Justification for Selection Parameters of Wired Access Systems / Svetlana Sakharova // International Journal "Information models and analyses". – Sofia: ITHEA, 2012. – № 3 (Volume 1) – P. 283-289.
7. Гайворонская Г.С. Дослідження впливу помилок прогнозу вихідних даних на процес планування мереж доступу / Гайворонська Г.С., Сахарова С.В. // Збірник наукових праць ВІТІ НТУУ „КПІ”. – 2010. – № 2., с 23-29.
8. Сахарова С.В. Задача выбора параметров сети доступа / С.В. Сахарова // Сборник тезисов Третьей международной конференции «Проблемы телекоммуникаций», КПИ, Киев, 21-24 апреля 2009. – С.61.;
9. Гайворонская Г.С. Классификация параметров сетей доступа / Г.С. Гайворонская, С.В. Сахарова // Сборник тезисов Пятой международной НТК «Современные информационно-коммуникационные технологии», Крым, Ялта, Ливадия, 05-09 октября 2009. – С.77-78.;
10. Сахарова С.В. Исследование параметров сетей абонентского доступа / С.В. Сахарова // Материалы VIII МНТК «Математическое моделирование и информационные технологии» /ММИТ-2008/ - Одесса: ОГАХ. – 2008.–С. 29
11. Сахарова С.В. Оценка чувствительности характеристик сетей доступа к вариациям прогнозируемых параметров / С.В. Сахарова // Applicable Information Models. – Sofia: ITHEA, 2011. – № 22. - P.181-188.
12. Svetlana Sakharova The Interrelation Scheme of Access Networks Parameters / Svetlana Sakharova, Eugene Konyshv // "Modern problems of radio engineering, telecommunications and computer science". Proceedings of the XIth International Conference TCSET'2012. – 2012. – Lviv: Publishing House of Lviv Polytechnic. – P. 264.
13. Sakharova S.V. Programming model to determine the effect of input parameters variation on the network characteristics / Svetlana Sakharova // International Conference on Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science. Proceedings of the International Conference TSCET'2010. Lviv-Svavske, Ukraine, - 2010. – P. 239.
14. Антон Бондаренко Анализ возможности использования модели балансных сетей при проектировании сетей доступа / Виталий Величко, Антон Бондаренко // International Journal "Information Theories and Knowledge". – Sofia: ITHEA, 2012. – № 2 (Volume 6) – P. 126-130.
15. Максим Соломицкий Подход к разработке обобщенной модели взаимодействия внешней информационной метаструктуры и конвергентной телекоммуникационной сети / Максим Соломицкий // International Journal "Information Theories and Knowledge". – Sofia: ITHEA, 2012. – № 2 (Volume 6) – P. 169-173.
16. Юрий Гриньков Разработка имитационной модели для оптимизации функционирования полностью оптических сетей / Юрий Гриньков // International Journal "Information Theories and Knowledge". – Sofia: ITHEA, 2012. – № 2 (Volume 6) – P. 178-183.
17. Сахарова С.В. Корекція місця розташування вузлів доступу при наявності перешкод / С.В. Сахарова, А.А. Бондаренко // Матеріали VI НТК «Проблеми телекомунікацій»: Збірник тез. - Київ: НТУУ КПІ. – 2012. – с.109
18. Galyna Gayvoronska Optimization of Connection's Structure of Remotely-operated Portables to Information Networks' Basic Equipment / Galyna Gayvoronska // International Journal "Information Theories and Applications". – Sofia: ITHEA, 2012. – № 3 (Volume 19) – P. 282-291.
19. Galyna Gayvoronska Program Model for Automated Design of Telecommunication Networks / Galyna Gayvoronska // International Journal "Information Theories and Applications". – Sofia: ITHEA, 2012. – № 1 (Volume 19) – P. 292-299.

### Authors' information



**Galyna Gayvoronska** – Information technologies' institute of Odessa state academy of refrigeration, technical science's doctor, professor, chief of the information-communication technologies' department; Dvoryanskaya str., 1/3, Odessa-26, 65026, Ukraine; tel. (048)-720-91-48, e-mail: [gayvoronska@osar.odessa.ua](mailto:gayvoronska@osar.odessa.ua)

Major fields of scientific research: optimization of transient periods at telecommunication networks' evolution. Calls' streams, load and internodal inclination in nets. Problems of perspective access networks' development. Problem of fully optical switching systems' development.



**Svetlana Sakharova** – Information technologies' institute of Odessa state academy of refrigeration, technical science's candidate, lecturer of the information-communication technologies' department; Dvoryanskaya str., 1/3, Odessa-26, 65026, Ukraine; tel. (048)-720-91-48;

e-mail: [switchonline@rambler.ru](mailto:switchonline@rambler.ru)

Major fields of scientific research: problems of perspective access networks' design.

---

## ABOUT THE PROBLEM OF DEVELOPMENT OF MESSAGES STREAM MODEL IN THE CONVERGENT TELECOMMUNICATION NETWORK

**Galyna Gayvoronska, Maxim Solomitsky**

**Annotation:** Differences between calls stream and messages stream are formulated. Problem statement of development of the mathematical model of messages streams circulating in the convergent telecommunication network is carried out.

**Keywords:** convergent telecommunication network, messages stream, calls stream.

**Keywords classification of ACM:** H. Information Systems - H.1 MODELS AND PRINCIPLES, C. Computer Systems Organization - C.2 COMPUTER-COMMUNICATION NETWORKS.

*« ... there is no completeness  
without sadness and longing,  
for without them there is  
no sobriety, no kindness.  
Wisdom without kindness  
and knowledge without sobriety  
are useless ... »*

*C. Castaneda*

---

### Introduction

Convergent telecommunication network (CTN) is new object of research. It can't be carried directly to such known classes of networks as data transfer networks, telephone and data-processing networks, etc. [1] Accordingly, models of the processes proceeding in existing telecommunication networks (TN) and based on them methods of calculation of various parameters including the network equipment in their initial kind are not suitable now for the decision of problems of CTN research and designing. The existing TN intended for rendering service for users in the definite accurately limited area, i.e. user are being serviced by one or narrow spectrum of several services. Concept of CTN provides granting of unlimited spectrum of services and, besides it, assumes technical possibility of new network services' realization for provision of the network profitability in the future.

As it's shown in [2] under CTN we understand set of architecturally-technological methods and hardware-software tools of the information transfer to territorially remote users, allowing on uniform digital basis to provide various types of service on processing and delivery of the heterogeneous information, at provision of users requirements to timeliness, quality of delivery and preservation of value of the multimedia user information.

---

### Common statement of the problem

The streams arriving and circulating into CTN are complex by their nature and structure. These streams represent heterogeneous, from the point of view of the information sources, aggregated, from positions of network technologies and protocols, traffic of the integrated information reflecting processes of interosculation and confluence of infocommunications.

Object of research within the limits of the decision of problem of the CTN messages streams model's development are two processes: process of interaction between the CTN and information metastructure and

process of the network servicing, proceeding in definite time intervals in definite points of space of CTN as big system. Subject of research - models and methods of the description of messages streams' structure in CTN. The research's goal provides increasing of efficiency of CTN performance by means of correction of messages stream model in CTN.

In aggregate it's necessary to research processes of information processing and delivery between two users, instead of points of CTN input/output. From this point of view we capture some functions of information networks processes as object of the research. But as it's only a small part of the functions defining difference of the TN from information networks, nevertheless we will leave processes passing in CTN as object of the research.

Information handling process is being investigated only from the point of view of the functions necessary for its delivery in CTN. We don't investigate processes of application, presentation, session layers of Open Systems Interconnection (OSI) model. The only exception is the decision of problem of determination and accounting of the information value's function. That is, we research the information processes which are pledge of successful performance of OSI model's three top levels' functions. However we don't research functioning of CTN hardware-software tools and surrounding it environment at these levels, if the pointed performance directly doesn't influence quality of delivery and value of the information. Thus, functioning of terminal equipment, switching nodes (SN), CTN data centres and external information metastructure in the course of delivery and handling of the information at session, presentation and application layers of OSI model is accepted as inertialless, clear and/or absolutely reliable.

Net-generatrix process of CTN representing essence of system functioning is process of the information transformation, realized by one or set of the information technologies, consisting of: computing process of the information transformation in space (input, output, storage and data processing) and information process of the information transformation in time (collecting, distribution, transmission, switching of streams). Thus it seems expedient to authors to consider other processes as external effects.

The quantitative side of network processes of the information transformation is object of research of the fundamental theory - teletraffic theory. For a long time teletraffic theory represented basic tool of TN research. However, the analysis of results of foreign and native scientists' researches of last two decades [3-9] points out impossibility of direct usage of existing teletraffic theory tool for TN research in view of the fact that it doesn't meet features of these networks which have been folded in last years. The same reason leads to impossibility of usage of earlier developed models and methods of the teletraffic theory in their initial kind at the CTN research.

Thus there are no alternative decisions in known publications. There are some decisions, however they have particular highly specialized character. Subject of interest is creation of the apparatus adequate to the actual state of affairs in infocommunication sphere, as a whole, and in CTN, in particular, on depth of study as much as possible close to mathematical apparatus of teletraffic theory.

---

### **Messages streams in the convergent telecommunication network**

---

One of key elements of the teletraffic theory is the concept of the calls stream. The call represents the requirement of service. Taking into consideration that initially teletraffic theory represented the mathematical theory of network service processes mainly in the telephone networks characterized by method of channel switching and position multiplexing and also in the data transfer networks characterized by method of packets switching and label multiplexing, specifying of input stream was carried out by one of three ways: sequence of the call moments  $t_1, t_2, \dots, t_n$ , sequence of time intervals between the call moments  $z_1, z_2, \dots, z_n$  and sequence of numbers  $k_1, k_2, \dots, k_n$ , of the calls arriving during definite intervals of time  $[t_0, t_1), [t_0, t_2), \dots, [t_0, t_n)$ . Thus determination of parameter  $\lambda(t)$  (limit of the relation of call receipt probability for time  $[t, t + \tau)$  to the length of this

interval of time  $\tau$  during the moment  $t$ ) and intensity  $\mu$  (mean of number of the calls arriving in unit of time) as basic characteristics of calls stream was sufficient.

Considering that technological basis of the information transportation regulated within the limits of architecture of Next generation networks (NGN) is its unified representation based on label multiplexing at switching of packets, cells or frames, as it's provided within the limits of CTN concept, the concept of the calls stream isn't proper approach for the mentioned networks research. This can be proved by following reasons.

It's not enough to speak only about requirement for information delivery: it's necessary to know what this information is (both with quantitative and from qualitative positions), what information content should be transmitted and in what way its transportation will be carried out. It is important to have such knowledge from the point of view of information transformation both in time and in space. Thus, it seems expedient to determine the concept of messages stream circulating in the network for the information transfer, as one of the basic at research of CTN and, established on the basis of CTN, NGN.

The analysis of the question research has shown that now there is no common theory of distribution and calculation of qualitative and quantity characteristics for messages streams in CTN [10-13].

The call is only the requirement of service by the network to provide the message transfer, and the message - that converted to electromagnetic signals information which is subject of transportation. According to this messages stream circulating in CTN, besides the distribution in time (of the calling moments, intervals between the calling moments, quantities of calls), should be defined by the information volume, concluded in separate messages. Thus the length of each of the messages coupled to one process of the user information transmission can be constant or change under certain laws, or uncertain random variable.

It's necessary to note that condition of the messages successful delivery is transportation also of service information, besides the users'. It leads to necessity of development of the formal apparatus for determination what exactly should be understood as service information and from what elements it consists. For this purpose it's necessary to provide analysis of all data, which is called control, with the subsequent allocation of the most from them, in view of practical impossibility of the account of all great many existing information transportation technologies' features. Besides it separate messages can be as a part of the whole semantic information volume, and to represent the finished semantic load within one message. The pointed dualism also should be formalized and considered at development of the CTN messages streams model.

**The messages stream mode** is defined by distribution of the moments of separate messages receipt or time intervals between these moments, by information content in each message and by number of other factors. According to [14] for the description of streams variety and information content in them it seems expedient to implement concept of user information message (UIM), representing the final sequence of the data formed for transmission and having finished semantic value. In network UIM are transmitted in the form of switched information units (SIU): packets, datagrams, frames, cells etc. Thus, proceeding from a ratio of quantity of elements in UIM and SIU, it's possible to implement suitable modifications of messages stream and to characterize stream volume by means of quantity SIU containing in it.

Besides it it's possible to allocate the determined, stochastic and mixed messages streams. At the determined stream each message appears during definite in advance time moments and has beforehand dedicated volumes. At stochastic streams moments of messages occurrence or intervals between them and volumes of separate messages are stochastic.

**Requirements to messages delivery.** One of the most important indicators is time of messages delivery  $t_D$  – time from the moment of originating of requirement for information transfer till its reception by the user. Here it takes place the information component of the information delivery process - information handling by the

recipient's terminal equipment, for example, process of gathering of separate messages in one ordered messages stream identical to the sent one. The telecommunication component of the information delivery process is limited to information receipt in CTN terminal node.

Also it is possible to set admissible time of delivery  $T_D^A$  and to implement the characteristic of probability of the message delivery in time:

$$p(t \leq T_D^A) = \int_0^{T_D^A} \omega(t_D) dt,$$

where  $\omega(t_D)$  – density of message delivery time distribution function.

Taking into consideration features of the problem statement of this research, such characteristics as: response time, connection setup time, delay time and message transfer speed are excessive from the point of view of CTN messages streams' delivery time, as resulting criterion of requirements to messages delivery. In this connection the account of the pointed characteristics is optional.

In case of stochastic nature of time characteristics it's true to regulate dispersion of corresponding value.

Requirements to admissible probability of error occurrence can be presented at the consideration of the network processes coupled to session layer of OSI model, carrying out functions of establishment, maintenance, termination of session, and also to definite technologies of the information transportation.

The important characteristic of messages stream is value of the information - generally it's its consumer cost defined by that material effect which gives use of each message, for example, at management of object  $A$  during the moment  $t$ . In that case it can be both material prize and material losses in case if as a result of the received message it was necessary to make the expenses which have not given a positive effect. And also the ratio of the expenses received at realization of object management to achieve a goal depending on the received information. Besides it function of information value  $Q(t)$  is characterized by an information priority, as its personal importance for the user, timeliness of delivery, the validity of the received information, and also function of emotional adequacy of information transfer  $Sm(t)$ . The problem of functions  $Q(t)$  determination even for concrete systems, not speaking about the big system which is CTN, has no decision now.

CTN user as the information consumer isn't interested in technical tools providing realization of the pointed requirements at all. However their realization, especially taking into account economics and requirements on increasing of labour productivity of engineering-technical stuff, puts a number of complex technical-economical problems.

The messages streams circulating in CTN can be classified in the form of the N-dimensional matrix. Its dimension is defined by quantity of stream characteristics which are to be reflected. Matrix elements represent, accordingly, their coded designations for which it's possible to fix requirements to messages.

For example, as it's shown in [14] according to the information transfer mode, priorities and content types variety of CTN messages streams can be classified in the form of a three-dimensional matrix. Matrix elements  $a_{ij}^k$  are symbolic designations of messages, i.e.  $a_{ij}^k$  – code of the message of  $i^{th}$  content type,  $j^{th}$  priority on  $k^{th}$  switching mode. Each message, except the code, has characteristics  $p_0^A$ ,  $T^A$ ,  $D^A$  which can be fixed for each separate message where  $p_0^A$  – the maximum admissible probability of symbol distortion,  $T^A$  – the maximum admissible mean delay of UIM or SIU,  $D^A$  – the admissible dispersion of delay time.

By means of a message priority it is possible to point obviously, besides objective, subjective value of information message. It's necessary to note that the formal sign of the priority far is not always adequate from the point of

view of the user. For example, the long-distance incoming call (high priority: high cost of the call, the big connection path length) from the point of view of the called user at the certain moment of time can be much less important of the local call (low priority: one servicing SN, calls within a service area are free) «extremely important for me now».

One more possible variant of CTN messages streams classification is determination of the stream and its characteristics within the limits of spatio-temporal representation of internodes interaction in the CTN. For example, according to [15] it's possible to designate the messages stream as  $Fm$  and to consider requirements to messages delivery as the value depending on definite pair of CTN nodes, between which the messages stream circulates, and on time moment

$$Fm : I^2 \times T \rightarrow IR .$$

Values of this function, illustrated in fig. 1, can correspond both to values of real measurements between nodes at the definite time and to predicted parameters.

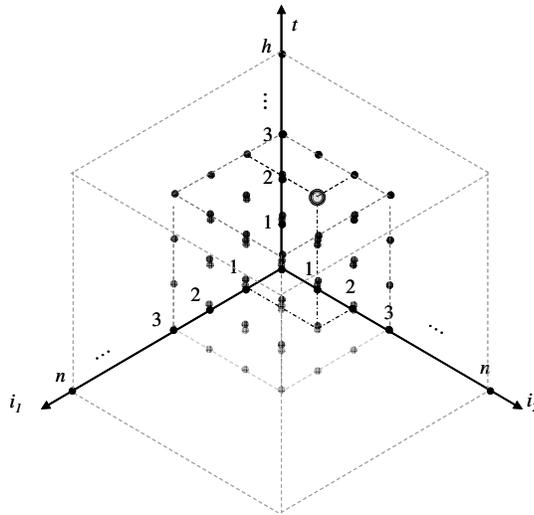


Fig. 1 Spatio-temporal representation of internodes interaction

At the spatial section of internodes interaction it's possible to fix the pair of nodes  $\langle i, j \rangle$  and to define its spatial section  $\zeta_{ij}$  as

$$\zeta_{ij} : T \rightarrow IR, \zeta_{ij}(t) = Fm(i, j, t) .$$

Thus, for each pair of nodes it's possible to define the function of one argument defining the messages stream, circulating between this pair of nodes during each moment of time. From this system it's simple enough to receive also the time cut. For these purpose we build square matrix of  $n^{\text{th}}$  order  $Fm(t)$  at some fixed moment of time  $t$  so that

$$Fm(t) = \|\zeta_{ij}(t)\| \in M_n(IR) ,$$

at the same time, considering discreteness and limitation of  $T$ , it's possible to speak about  $Fm$  as about final system of streams matrixes.

Process of the information messages stream delivery from its source is being splitted into stages:

- information delivery in CTN inlet point,

- forming of the message and its input in CTN,
- message transfer from inlet point to CTN outlet point,
- output from the CTN in kind convenient for further use,
- delivery to place of use.

Besides it justification of requirements to information delivery and handling is being essentially influenced by information transformation in the terminal equipment. However, considering assumptions of the given statement of the problem, this aspect hasn't been reflected meaningly.

At the researching of the messages streams circulating in CTN, in the course of network service process it's important to accurately define boundary of interaction between the network and information metastructure. Taking into consideration complexity and heterogeneity of CTN as big system, it seems expedient to authors at the development of CTN messages streams model to summarize these streams to definite streams modes, which are being defined by means of information content ratio in UIM and SIU. The question of development of appropriate apparatus of the formal description of messages streams and its modes is one of subtasks of the given research. At the same time for each special case of CTN service system it's necessary to specify characteristics of circulating messages stream and information metastructure, considering at that length of service path, possible recalls, etc.

Development of one unified model of CTN messages stream seems not possible in view of practical accounting impossibility of features of all number of the network service moment in CTN spatio-temporal cuts. If at the approximation of real statistics of messages streams it won't be possible to bring them directly to the modes of the messages streams apparatus, that is quite possible at research of CTN in real conditions, or it'll be necessity of development of messages streams model for big section of CTN it's possible to use superposition of the streams.

The messages stream model allows to define quantitative and qualitative characteristics of the streams circulating in CTN at: interaction between the CTN and information metastructure within the limits of processes of network service, transmission of messages streams through bypaths instead of the basic one, etc.

Thus, it's possible to determinate characteristics of mainly stochastic processes in CTN during the different moments and time intervals at different sections of the network. That is especially important, for example, at realization of interoperators interaction within the limits of sharing of common physical network's resource. Such special case can be result not only of market relations in infocommunication sphere, but also of pressing need of providers in the conditions of monopoly.

The question of CTN messages streams model's development, as a whole, and decisions of subtasks arising at that, in particular, is open and represents not trivial scientific problem.

---

## Conclusions

---

1. Calls stream – the stream of requirements for messages transfer service. Messages stream – the stream of information transformed into electromagnetic signals. The calls stream is defined by sequence of the calling moments, sequence of time intervals between the calling moments and sequence of the numbers defining quantity of calls, arriving during definite intervals of time. The messages stream, besides the mentioned time characteristics, is defined by information content – volume of separate messages. According to this it's necessary to develop the apparatus of the formal description of information content in messages stream. It's necessary to determine distribution function of messages stream in time and distribution function of information content in messages stream.

2. The messages stream consist of both useful, from the point of view of the user-information consumer, and control, necessary for technical realization of transfer, information. According to this it's necessary to develop the apparatus of the formal description of control information in CTN messages streams.
3. The information unit with finished semantic value, depending on its dimension and technology of transportation, can be presented either as the messages stream, or the separate message. According to this it's necessary to develop the formalized apparatus for determination whether is the separate message the finished semantic unit or represents a part of the whole.
4. The information containing in the messages stream, has various value for the information consumer. Value of the information is defined by set of mainly badly formalized factors. According to this it's necessary to develop a formalistic approach for determination of the information value and to define function and/or set of functions of the information value.
5. Characteristics of intensity and stream parameter are sufficient for the determination of the calls stream. Much more characteristics are necessary for determination of the messages stream. According to this it's necessary to develop the formal description and the mechanism of determination of messages stream characteristics.
6. The priority of messages stream is defined both by formal sign - stream priority from the CTN technological point of view, and by subjective sign - private priority from the point of view of the user-information consumer. According to this it's necessary to develop the mechanism of formal determination of messages stream priority, including also conditions of fuzzy statement.

Thus, it's necessary to develop mathematical model of the messages stream circulating in the CTN. Such model should consist of: distribution functions of messages in time; distribution function of information content in messages; function of the messages information value; mechanism for determination of messages priorities; mechanism for determination of messages information integrity. Model's features are defined by parameters of processes of interaction between the CTN and information metastructure and network service in CTN.

On the basis of such mathematical model of the messages streams circulating in CTN, it's necessary to develop imitating model of CTN messages streams. Its check of adequacy can be carried out by means of comparison of modeling results with the real statistical data of existing telecommunication networks.

---

## Acknowledgements

---

The paper is published with financial support by the project ITHEA XXI of the Institute of Information Theories and Applications FOI ITHEA Bulgaria [www.ithea.org](http://www.ithea.org), and the Association of Developers and Users of Intelligent Systems ADUIS Ukraine [www.aduis.com.ua](http://www.aduis.com.ua).

---

## Bibliography

---

1. Гайворонская Г.С. Анализ возможности использования математического аппарата теории телетрафика для описания взаимодействия конвергентной телекоммуникационной сети с внешней средой / Соломицкий М.Ю., Гайворонская Г.С. // Холодильна техніка і технологія. – Одеса: ОДАХ, 2011. – № 2 (103) – С. 61-67
2. Соломицкий М.Ю. Возможный подход к разработке модели трафика конвергентной телекоммуникационной сети / М.Ю. Соломицкий // *Applicable Information Models*. – Sofia: ITHEA, 2011. – № 22. – P. 189-198.
3. On the Self-Similar Nature of Ethernet Traffic (Extended version)/Will E. Leland, Murad S. Taqqu, Walter Willinger, Daniel V. Wilson// *IEEE/ACM Transactions on Networking* – 1994, February.
4. Statistical Analysis of CCSN/SS7 Traffic Data from Working CCS Subnetworks / Diane E. Duffy, Allen A. McIntosh, Mark Rosenstein, Walter Willinger // *IEEE Journal on Selected Areas in Communications* – 1994, April.

5. Crovella M. Self-Similarity in World-Wide Web Traffic: Evidence and Possible Causes / Crovella M., Bestavros A. // Proceedings, ACM Sigmetrics Conference on Measurements and Modeling of Computer Systems – 1996, May.
6. Long-Range Dependence in IEEE 802.11b Wireless LAN Traffic: An Empirical Study / Carlos Oliveira, Jaime Bae Kim, Tatsuya Suda // CCW 2003. Proceedings. 2003 IEEE 18th Annual Workshop on – Computer Communications, 2003.
7. Sergejs Ilnickis M/M/1 And G/M/1 Systems with a Self-Similar Input Traffic / Sergejs Ilnickis – 2004.
8. Geyong Min A Performance Model for Wormhole-Switched Interconnection Networks under Self-Similar Traffic / Geyong Min, Mohamed Ould-Khaoua // IEEE Transactions on Computers – Glasgow, 2004.
9. В. Столлингс. Современные компьютерные сети / В. Столлингс. – [2-е изд.] – СПб.: Питер, 2003. – 783 с.
10. Давыдов Г.Б. Сети электросвязи / Г.Б. Давыдов, В.Н. Рогинский, А.Я. Толчан. – М.: Связь, 1977. – 360 с.
11. Гайворонская Г.С. Объединение потоков нагрузки на сетях связи с обходными направлениями / Г.С. Гайворонская // Труды УГАС «Информатика и связь». – 1998. – С. 128 -136.
12. Гайворонская Г.С. Служба пакетной передачи данных общего пользования сети стандарта GSM / Г.С. Гайворонская, А.Н. Кальнев //Труды УНИИРТ. – 2001. – № 2 (26). – С.57-61.
13. Гайворонская Г.С. Проблема синтеза пространственно-временной структуры телекоммуникационной сети / Г.С. Гайворонская // Вісник ДУІКТ. – 2007. – №1. – С. 117-122.
14. Советов Б.Я. Построение сетей интегрального обслуживания / Советов Б.Я., Яковлев С.А.– Л.: Машиностроение, 1990. – 332 с.
15. Гайворонская Г. С. Метод представления пространственно-временной структуры модернизируемой телекоммуникационной сети / Г.С. Гайворонская // Зв'язок. – 2006. – №8 (68). –С. 57-60.

---

### Authors' information

---



**Galyna Gayvoronska** - Information technologies' institute of Odessa state academy of refrigeration, technical science's doctor, professor, chief of the information-communication technologies' department; Dvoryanskaya str., 1/3, Odessa-26, 65026, Ukraine; tel. (048)-720-91-48, e-mail: gayvoronska@osar.odessa.ua

*Major fields of scientific research: optimization of transient periods at telecommunication networks' evolution. Calls' streams, load and internodal inclination in nets. Problems of perspective access networks' development. Problem of fully optical switching systems' development.*



**Maxim Solomitsky** – Information technologies' institute of Odessa state academy of refrigeration, post-graduate of the information-communication technologies' department, Dvoryanskaya str., 1/3, Odessa–26, 65026, Ukraine; tel. (048)-720-91-48; e-mail: sage89@mail.ru

*Major fields of scientific research: problems of convergent telecommunication networks' creation.*

## MODELING TELECOMMUNICATIONS TRAFFIC USING THE STOCHASTIC MULTIFRACTAL CASCADE PROCESS

**Lyudmyla Kirichenko, Tamara Radivilova, Eias Kayali**

**Abstract:** *In this work the simulation of realizations of telecommunications traffic, which has multifractal properties. The mathematical model of traffic is based on a stochastic binomial multiplicative cascade process with beta-distributed weighting coefficients. There was carry out computer simulation of model multifractal traffic advancing over the communication channel. The emergence of queuing in the infinite buffer size and number of losses with limited buffer size has been studied.*

**Keywords:** *self-similar stochastic process, Hurst exponent, multifractal stochastic processes, scaling exponent, wavelet transform modulus maxima method, telecommunications traffic, stochastic binomial multiplicative cascade.*

**ACM Classification Keywords:** *: G.3 Probability and statistics - Time series analysis , Stochastic processes, G.1 Numerical analysis, G.1.2 Approximation - Wavelets and fractals.*

---

### Introduction

Experimental and numerical researches in recent decades indicate that traffic in many media networks has fractal properties. This traffic has a special structure, continuing on many scales – in effect, there is always presence of a number of extremely large bursts relative to a small average traffic. These bursts cause significant delay and packet loss, even when the total loading of all flows is more less than maximum allowable values. The reasons for this effect are features of distribution of files on servers, their sizes, the typical behavior of users, and to a large extent are due to changes in network resources and network topology. [Leland, 1994, Self-similar network traffic and performance evaluation, 2000, Stollings, 2002, Sheluhin, 2007, Loiseau, 2010, Шелухин, 2011].

Self-similar traffic properties led to a number of traffic models based on self-similar (monofractal) stochastic processes [Stollings, 2002, Sheluhin, 2007]. In the last decade, the multifractal properties of traffic have been intensively studied. Multifractal traffic is defined as an extension of similar traffic by taking into account the scaling properties of the statistical characteristics of the second and higher orders. The using multifractal stochastic processes for simulation telecommunications traffic is rather new, and the list of multifractal models is much shorter [Abry, 2002, Reidi, 2002, Veitch, 2005, Шелухин, 2011].

The purpose of this work is model development of telecommunications traffic, which has multifractal properties, based on a mathematical model of the stochastic binomial multiplicative cascade.

---

### Characteristics of self-similar and multifractal random processes

Consider the basic concepts of self-similar and multifractal random processes [Feder, 1991, Calvet, 1997, Reidi, 2002, Kantelhardt, 2008]. Self-similarity of stochastic processes is to conserve the statistical characteristics of a change of the time scale. The stochastic process  $X(t)$  is self-similar with the parameter  $H$ , if the processes  $a^{-H}X(at)$  and  $X(t)$  have same finite-dimensional laws of distributions:

$$\text{Law}\{a^{-H}X(at)\} = \text{Law}\{X(t)\}, \quad \forall a > 0, t > 0. \quad (1)$$

The parameter  $H$  ( $0 < H < 1$ ) is called the Hurst exponent and is a measure of self-similarity or a measure of long-range dependence of process. For values  $0,5 < H < 1$  time series demonstrates persistent behaviour. In other words, if the time series increases (decreases) in a prior period of time, then this trend will be continued for the same time in future. The value  $H = 0,5$  indicates the independence (the absence of any memory about the past) of values of time series. The interval  $0 < H < 0,5$  corresponds to antipersistent time series: if a system demonstrates growth in a prior period of time, then it is likely to fall in the next period.

One can show by choosing in (1)  $a = 1/t$ , that for the self-similar process, the following equality is held:

$$\text{Law}\{X(t)\} = \text{Law}\left\{\left(\frac{1}{t}\right)^{-H} X(1)\right\} = \text{Law}\{t^H X(1)\}. \quad (2)$$

Using (2), the moments of the self-similar random process can be expressed as

$$M\left[|X(t)|^q\right] = M\left[|t^H X(1)|^q\right] = t^{qH} M\left[|X(1)|^q\right] = C(q) \cdot t^{qH}, \quad (3)$$

where the quantity  $C(q) = M\left[|X(1)|^q\right]$ .

For multifractal processes, a more general relationship is considered:

$$\text{Law}\{X(at)\} = \text{Law}\{M(a) \cdot X(t)\},$$

where  $M(a)$  - is the random function independent of  $X(t)$ . In the case of the self-similar process  $M(a) = a^H$ . The multifractal processes are often more flexible scaling relationship for the moment characteristics:

$$M\left[|X(t)|^q\right] = c(q) \cdot t^{\tau(q)+1}, \quad (4)$$

where  $c(q)$  - is some deterministic function,  $\tau(q)$  - the scaling exponent, generically nonlinear function. The value  $\frac{\tau(q)+1}{q}$  at  $q = 2$  is the degree of self-similarity  $H$ . For time series, which are responsible monofractal process, the scaling exponent  $\tau(q)$  is linear.

---

### The wavelet transform modulus maxima method

---

One of the most popular mathematical technique of multifractal analysis is the method of continuous wavelet transform modulus maxima (MMWT). It is based on wavelet analysis, which is called a «mathematical microscope» because of the ability to maintain a good resolution at different scales. Because wavelet functions are localized in time and frequency, the MMWT method is a powerful tool for the statistical description of nonstationary processes. [Muzy, 1993, Mallat, 1998, Kantelhardt, 2008]

The continuous wavelet transform of function  $X(t)$  is defined as  $W(a,b) = \frac{1}{\sqrt{a}} \int_{-\infty}^{\infty} X(t)\psi_{ab}(t)dt$ , where  $\psi_{ab}(t)$  - is the wavelet function with the parameters of scale  $a$  and translation  $b$ . The function  $W(a,b)$  is called the wavelet spectrum and can be represented as the surface of the wavelet coefficients in three dimensions. The most important information is contained in the surfaces lines of local maxima  $W(a,x)$ , which are searched on each scale  $a$ . The MMWT method amounts to compute the following partition function:

$$Z(q, a) = \sum_{l \in L(a)} \left( \sup_{a' \leq a} |W(a', x_l(a'))| \right)^q,$$

where  $L(a)$  - is the set of all lines  $l$  modulus maxima of wavelet coefficients at scale  $a$ ;  $x_l(a)$  - is the location of the maximum on this scale. To calculate  $Z(q, a)$ , the absolute maximum value of the wavelet coefficients along each line is selected at scales smaller than the given value of the scale  $a$ . In this case the relationship is held:

$$Z(q, a) \approx a^{\tau(q)},$$

where  $\tau(q)$  is the scaling exponent from (4), which is defined for each value of  $q$ , by calculating the slope of  $\ln Z(q, a)$  from  $\ln(a)$ .

### Stochastic multifractal cascade processes

The simplest model of a multifractal process with the desired properties is a deterministic binomial multiplicative cascade [Feder, 1991, Calvet, 1997, Reidi, 2002,]. In its construction, the initial unit interval is divided into two equal intervals, which are assigned weights  $p_1$  and  $p_2 = 1 - p_1$ , respectively. Then the same procedure is repeated with each of the intervals. As a result, the second step has 4 intervals with weighting coefficients  $p_1^2$ ,  $p_1 p_2$ ,  $p_2 p_1$  and  $p_2^2$ . If the number of steps  $n \rightarrow \infty$  and  $p_1 \neq p_2$ , we arrive at a limit measure, which is a heterogeneous fractal set. Fig. 1 (a) shows the time series of values a binomial cascade for values  $p_1 = 0.6$  (top) and  $p_1 = 0.8$  (bottom). The number of iterations  $n = 10$ , i.e. the length of the realization equals  $2^{10}$ . It is obvious that with increasing the weighting coefficient  $p_1$  the heterogeneity increases.

In the deterministic case the scaling exponent  $\tau(q)$  of the binomial process depends only on the weighting coefficient  $p_1$ :  $\tau(q) = \frac{-\ln(p_1^q + p_2^q)}{\ln 2}$ . Fig. 1 (b) shows the theoretical scaling exponents  $\tau(q)$  for the values  $p_1 = \{0.6, 0.7, 0.8, 0.9\}$ .

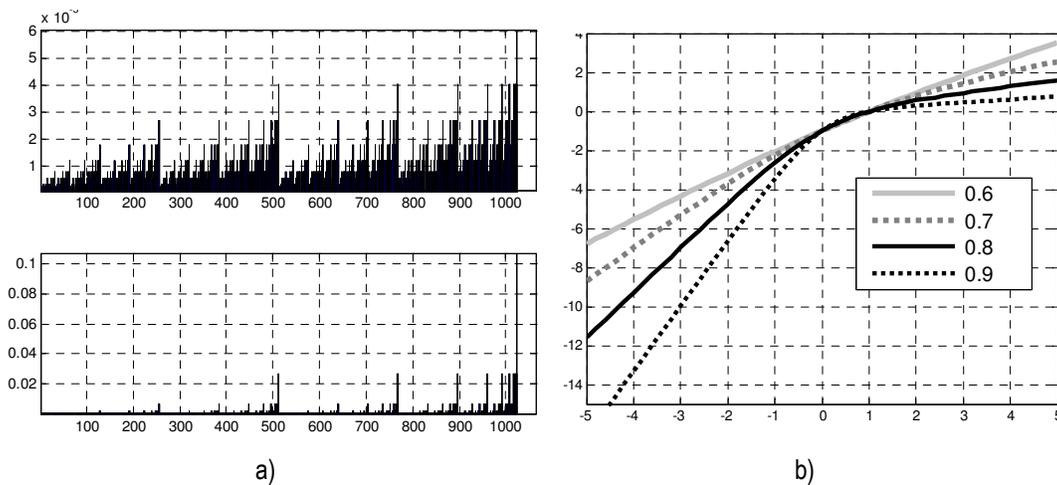


Fig.1. Realizations of the cascade (a) and the scaling exponent  $\tau(q)$  for different values of  $p_1$  (b)

Realizations of a deterministic cascade are completely determined by the value  $p_1$ , that is unacceptable for the simulation of random processes. When constructing the stochastic cascade, weighting coefficients are

independent values of a random variable  $W$  [Reidi, 2002, Calvet, 1997, Шелухин, 2011]. A random variable  $W$  is chosen so that at each iteration the expectation of the sum of weights amounts 1. If you select the random variable defined on an interval  $[0,1]$ , then the sum of the coefficients at each iteration will be equal to 1. In this case, the first two intervals would be assigned weights  $w_1$  and  $1 - w_1$ , respectively. In the second step two new independent random values  $w_2$  and  $w_3$  are added. We obtain four intervals with weights  $w_1 w_2$ ,  $w_1(1 - w_2)$ ,  $(1 - w_1)w_3$  and  $(1 - w_1)(1 - w_3)$ . When  $n \rightarrow \infty$  we come to the limit measure, which is a heterogeneous fractal set.

In this work we proposed a random variable that generates the weights, using a random variable having a beta distribution. The probability density function of the beta distribution with parameters  $a > 0$ ,  $b > 0$  is:

$$p(x) = \begin{cases} \frac{1}{B(a,b)} (1-x)^{b-1}, & x \in [0,1], \\ 0, & x \notin [0,1] \end{cases},$$

where  $B(a,b) = \int_0^1 x^{a-1} (1-x)^{b-1} dx$  - is the beta function. For the beta distribution with the equal parameter values  $a = b$ , for which the function of the density distribution is symmetric, you can analytically determine the scaling exponent  $\tau(q)$  [Calvet, 1997, Reidi, 2002]:

$$\tau(q) = -\log_2 \frac{\text{Beta}(\alpha+q, \alpha)}{\text{Beta}(\alpha, \alpha)} - 1, \quad (5)$$

Fig. 2 (a) shows the different types of probability density function of the symmetric beta distribution for values  $a = \{0.5, 1, 1.5, 3\}$ . For parameters  $a = b = 1$  we obtain a random variable having a uniform distribution on the interval  $[0,1]$ . Fig. 2 (b) shows plots of the scaling exponents  $\tau(q)$  for the corresponding values of the parameter  $a$  of the symmetric beta distribution.

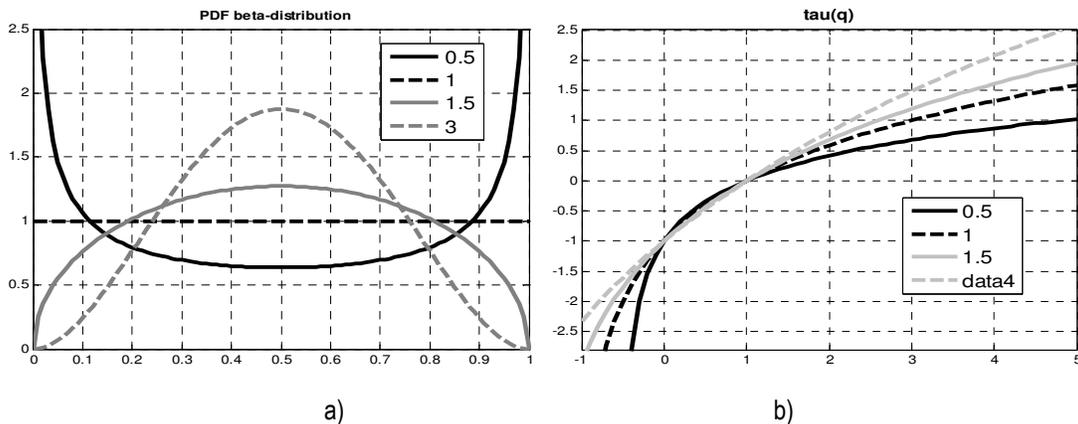


Fig.2. Density distribution and the scaling exponent  $\tau(q)$  for different values of the parameter  $a$

It is obvious that with increasing values of the parameter  $a$  is a weakening of the multifractal properties of the time series. Fig. 3 shows the corresponding realizations of binomial cascades.

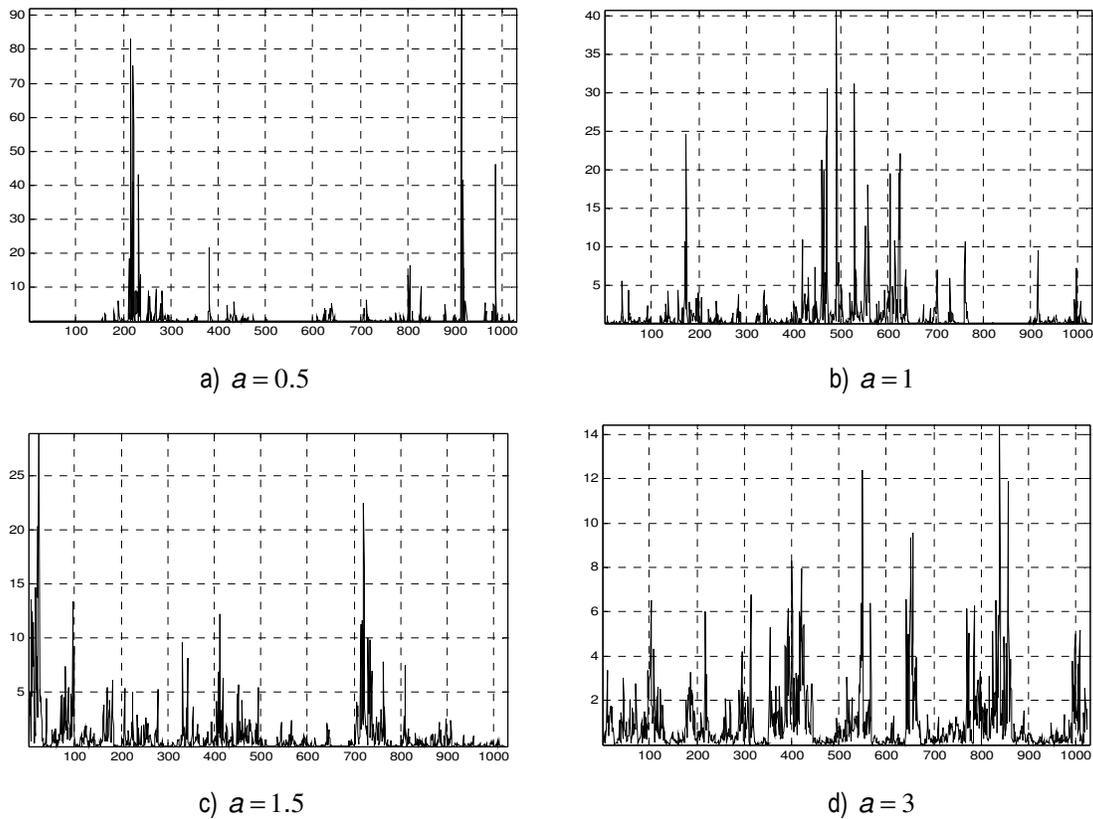
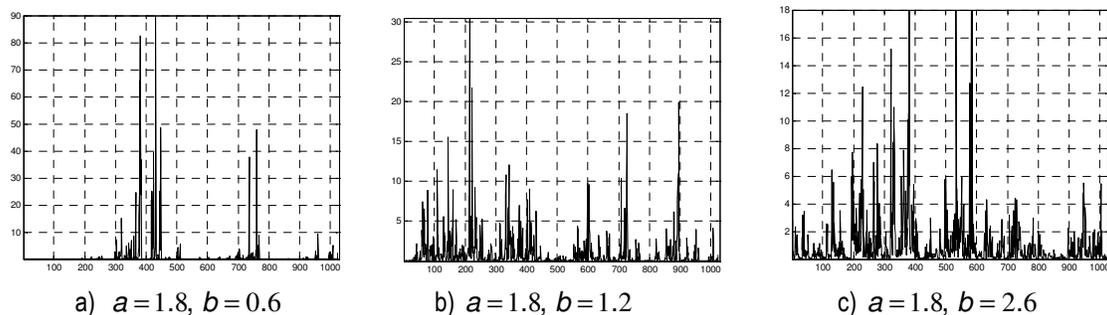


Fig.3. Realizations of the binomial cascade for different values of  $a$

In this case of a symmetric beta distribution, the multifractal properties of the cascade are completely determined by the parameter  $a$ . The Hurst exponent  $H$ , in consideration of (5), in this case is

$$H = \frac{\tau(2) + 1}{2} = -\log_2 \frac{\text{Beta}(\alpha+q, \alpha)}{2 \text{Beta}(\alpha, \alpha)}$$

In this work the properties of multifractal cascades generated by beta distributions with different values of the parameters  $a$  and  $b$  have been investigated. Numerical relationship between the values of the parameter  $H$  and the various scaling exponents  $\tau(q)$  were obtained. In this case, you can choose not only defined scaling exponent, but also defined Hurst exponent, which determines the degree of long-range dependence. Fig. 4 shows the realizations of cascade processes with the parameter  $H = 0.8$  (top) and different multifractal properties  $\tau(q)$  (middle), which are determined by the density of beta-distribution (bottom) of different values  $a$  and  $b$ .



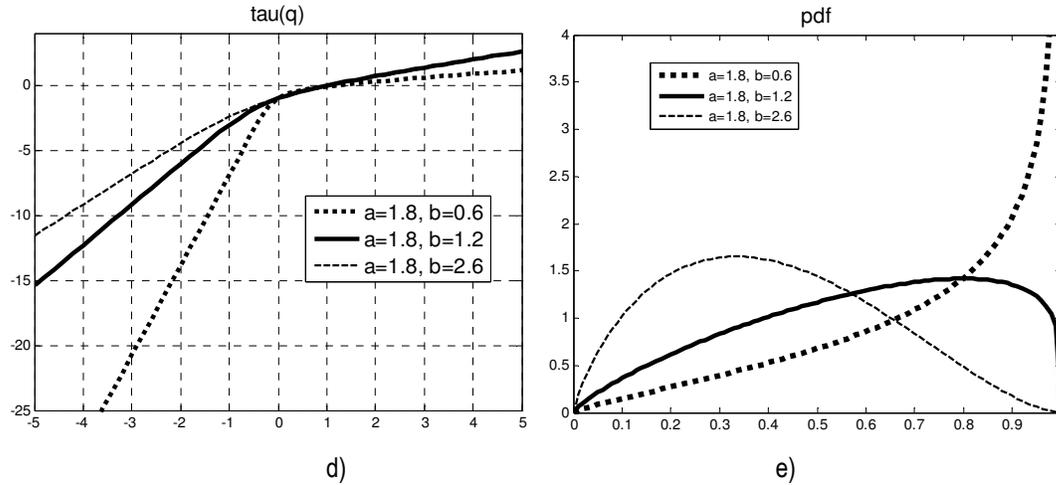
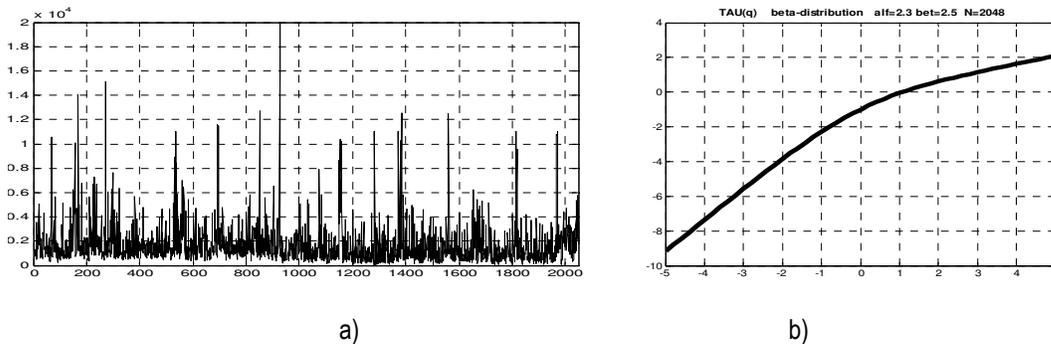


Fig. 4. Realization of the cascade for different values of  $a$  and  $b$  (a-c) the corresponding scaling exponents (d) and the densities of beta distributions (e)

### Construction of the model realizations TCP-traffic

The proposed in this work multifractal traffic model has three basic parameters  $(I, H, \tau(q))$ , where  $I$  - is the intensity (average) of the traffic,  $H$  - is the Hurst exponent, which determines the degree of long-range dependence,  $\tau(q)$  - is the scaling exponent, which determines the heterogeneity (bursts) of realization. To construct a model realization, it is necessary to estimate the parameters of telecommunication traffic and choose the appropriate beta distribution law, which generates a weighting coefficients of multifractal cascade.

In this work we have investigated traffic realizations of different protocols, which showed their apparent multifractal properties. Fig. 5 (a) shows a sample realization of the TCP-protocol traffic. Also calculated using the MMWT method scaling exponent  $\tau(q)$  is shown in fig. 5 (b). For this realization, the estimated value of the Hurst exponent equal to 0.83. Realizations of cascades with same multifractal properties can be derived from the beta distribution with parameters  $a = 2.3$ ,  $b = 2.5$ , the density of which is shown in fig. 5 (d). One of the realizations of the cascade model of the given multifractal properties is shown in fig. 5 (c).



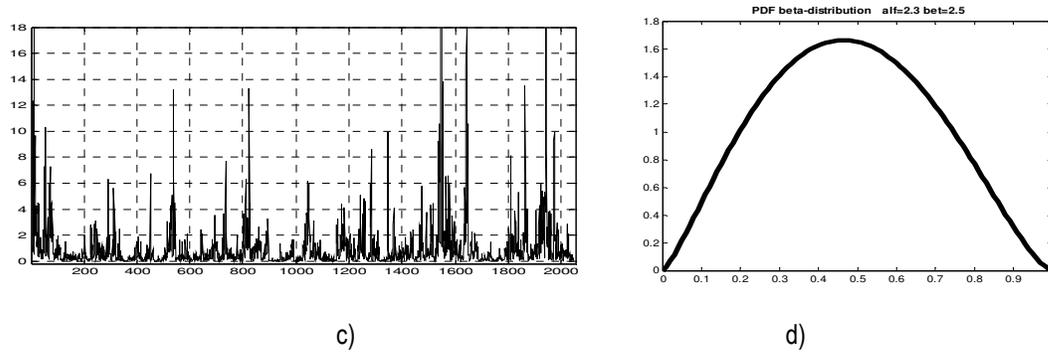


Fig.5. Realization of traffic (a), sample scaling exponent  $\tau(q)$ , the density of the beta distribution  $a = 2.3$ ,  $b = 2.5$  (d), model realization (c)

The paper presents the simulation of a channel loading and the emergence of queuing in the buffer for the realizations of network traffic. Taking into account the digital nature of modern high-speed communication networks, the communication system can be viewed as a queuing system (QS) of the form,  $G/D/C/B/d$ , where  $G$  means that the input traffic has an arbitrary distribution;  $D$  – a deterministic service time equal to one;  $C$  – the number of servers equal to the channel bandwidth;  $B$  means an infinite buffer size and  $d$  - discipline operating the system [Stollings, 2002].

The input buffer receives traffic  $Y = (Y_1, Y_2, Y_3, \dots)$ , where  $Y_t$  denotes the number of packets that arrive at a time moment  $t$ . It is assumed that in QS in every moment  $t$  the discipline decides which of the following alternatives should be applied to the package in the system: 1) to initiate the transmission (service) of the package at the time moment  $t$ ; 2) to store the package in a buffer until the moment  $t + 1$ ; 3) to reset (to lose) the package at the time moment  $t$ .

In each window  $t$  (a window is a time interval  $[t, t + 1]$ ), the channel can transmit no more than  $C$  packages, which are taken either from the buffer, or from  $Y_t$  new packages. The package of the buffer which is passed to the window  $t$ , leaves the channel and the system itself at a time moment  $t + 1$ .

The emergence of queuing in the infinite buffer size and number of losses with limited buffer size for self-similar input traffic has been studied sufficiently in many works. [Self-similar network traffic and performance evaluation, 2000, Stollings, 2002, Sheluhin, 2007]. They focused on the determination of the dependency of the queue lengths and the number of losses on the value of Hurst exponent. In this work, a numerical analysis of influence of multifractal properties traffic on the queue size and number of losses was performed.

During the simulation the average system loading was varied from 50 to 95 percent. We investigated the dependence the average queue size in an infinite buffer and a number of losses by limited buffer size on the channel loading for model realizations with the same Hurst exponent and varying degrees of nonlinearity of the scaling exponent  $\tau(q)$ .

Fig. 6 (a) shows the scaling exponents  $\tau(q)$  for model realizations obtained using the beta distribution. The value of parameter Hurst  $H = 0.77$ . Figure 6 (a) shows the average size of the queue in an infinite buffer and the number of losses in the buffer size  $B = 256000$  for realizations with an average traffic intensity  $I = 1000$ .

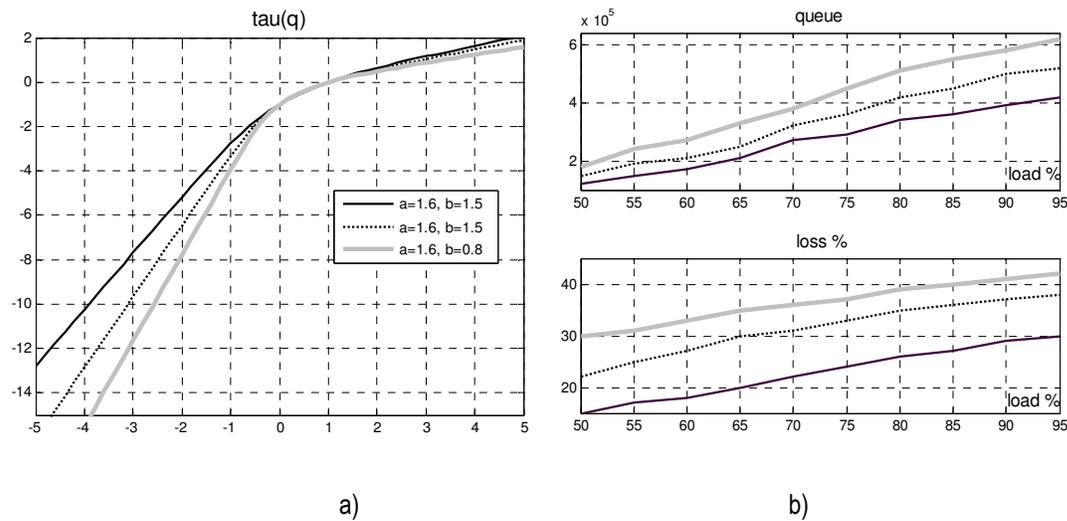


Fig. 6. Scaling exponent  $\tau(q)$  for the model realizations (a) the average queue length in buffer (top) and the percentage of losses (bottom)

## Conclusion

In this work were investigated the properties of stochastic multiplicative cascade processes with randomly weighted beta distribution functions. The proposed mathematical model of the traffic, which has three basic parameters: the average intensity of traffic, the Hurst exponent and scaling exponent. It is shown that traffic models obtained using the stochastic multiplicative cascades allow to flexible present the multifractal properties of actual telecommunication traffic. The offered model network traffic allows by using simulation to adjust the network parameters at the design stage or during its operation.

## Acknowledgements

The paper is published with financial support by the project ITHEA XXI of the Institute of Information Theories and Applications FOI ITHEA Bulgaria [www.ithea.org](http://www.ithea.org), and the Association of Developers and Users of Intelligent Systems ADUIS Ukraine [www.aduis.com.ua](http://www.aduis.com.ua).

## Bibliography

- [Abry, 2002] P. Abry. The multiscale nature of network traffic: discovery analysis and modeling / P. Abry, R. Baraniuk, P. Flandrin // IEEE Signal Processing Magazine. – 2002. – № 4 (2). – P. 5–18.
- [Calvet, 1997] L. Calvet. Large Deviations and the Distribution of Price Changes / L. Calvet, A. Fisher, B.B. Mandelbrot // Cowles Foundation Discussion Paper – 1997. – N.1165. – P. 1-30.
- [Feder, 1988] J. Feder. Fractals. J. Feder. Plenum, New York, 1988.
- [Kantelhardt, 2008] J.W. Kantelhardt. Fractal and Multifractal Time Series. – 2008 [Электронный ресурс]: <http://arxiv.org/abs/0804.0747>
- [Leland, 1994] W. E. Leland. On the self-similarity of ethernet traffic / W. E. Leland, M. S. Taqqu, W. Willinger, D. V. Wilson // IEEE/ACM Transactions of Networking. – 1994. – № 2(1). – P. 1-15.
- [Loiseau, 2010] P. Loiseau. Investigating self-similarity and heavy-tailed distributions on a large scale experimental facility Networking / P. Loiseau, P. Goncalves, G. Dewaele, P. Borgnat, P. Abry, P. Vicat-Blanc Primet // IEEE/ACM Transactions on. – 2010. – V. 18, – № 4. – P.1261 – 1274.

- [Mallat, 1998] S. Mallat. A wavelet tour of signal processing. S. Mallat. Academic Press, San Diego, London, Boston, N.Y., Sydney, Tokyo, Toronto, 1998.
- [Muzy, 1993] J.F. Muzy. Multifractal formalism for fractal signals: the structure-function approach versus the wavelet-transform modulus-maxima method / Muzy J.F., Bacry E., Arneodo A. // Phys. Rev. E. -1993. -V.47. -P.875–884.
- [Reidi, 2002] R.H.Riedi. Multifractal processes, in Doukhan P., Oppenheim G., Taqqu M.S. (Eds.), Long Range Dependence: Theory and Applications: Birkhuser. -2002. -P. 625–715,
- [Self-similar network traffic and performance evaluation, 2000] Self-similar network traffic and performance evaluation. Edited by K. Park, W. Willinger.- John Wiley & Sons, Inc. : 2000,-558 p.
- [Sheluhin, 2007] O. I. Sheluhin. Similar processes in telecommunications / O. I. Sheluhin, S. M. Smolskiy, A. V. Osin – John Wiley & Sons Ltd, England: 2007. – 337 p.
- [Stollings, 2002] W. Stollings. High-speed networks and Internets. Performance and quality of service. W. Stollings. New Jersey, 2002.
- [Veitch, 2005] D. Veitch. Multifractality in TCP/IP traffic: the case against / D. Veitch, N. Hohn, P. Abry // Computer Networks -2005. – № 48(3). – P. 293-313.
- [Шелухин, 2011] О. И. Шелухин. Мультифракталы. Инфокоммуникационные приложения / О. И. Шелухин . М.: Горячая Линия - Телеком, 2011. – 578 с.

---

## Authors' Information

---



**Lyudmyla Kirichenko** – Ph. D., Associate professor, Kharkiv National University of Radioelectronics; 14 Lenin Ave., 61166 Kharkiv, Ukraine; e-mail:

[ludmila.kirichenko@gmail.com](mailto:ludmila.kirichenko@gmail.com).

*Major Fields of Scientific Research: Time series analysis, Stochastic self-similar and multifractal processes, Wavelets , Chaotic systems*



**Tamara Radivilova** – Ph. D., Associate professor, Kharkiv National University of Radioelectronics; 14 Lenin Ave., 61166 Kharkiv, Ukraine; e-mail:

[tomachka\\_7@yahoo.com](mailto:tomachka_7@yahoo.com).

*Major Fields of Scientific Research: Wavelets and fractals, Computer systems and networks, NGN and MPLS technologies*



**Eias Kayali** – postgraduate, Kharkiv National University of Radioelectronics; 14 Lenin Ave., 61166 Kharkiv, Ukraine.

*Major Fields of Scientific Research: Computer systems and networks*

## STEPS IN THE DEVELOPMENT OF THE INFORMATION NETWORKS' USER MODEL AS BADLY FORMALIZED OBJECT

**Anastasia Smirnova**

**Abstract:** Steps of an information networks' creating through the formalization of one of their most important input parameters are proposed in the article. Stages of collecting information about users, the formalization of the data and analytical methods are described. The information networks' user model is used to improve the efficiency and reliability of information networks' modeling. In the proposed model a criterion for the formation is its applicability for the analysis and synthesis of information networks.

**Keywords:** information networks, information networks' user, poorly formalized objects, Global Information Infrastructure

**ACM Classification Keywords:** I.6 SIMULATION AND MODELING – I.6.5 Model Development, C.2 COMPUTER-COMMUNICATION NETWORKS – C.2.1 Network Architecture and Design, K. COMPUTING MILIEUX – K.6 Management of computing and information system

---

### Introduction

---

At a time when society is changing from an industrial to an information way of progress, issue of creating a network in which each person has the ability to produce information and knowledge, to find and distribute them, to have access to them, share them so that every individual has the opportunity to get and realize their full potential, is particularly acute in the spirit of the Universal Declaration of Human Rights. Indeed, the development of individuality is based on education, knowledge and information, that is why free access to them will lead to the well-being of society.

Existing info-communication and telecommunications networks were created, modified and optimized by means of analytical estimates and statistical calculations. However, their transformation into information networks (IN) can not be analyzed by such methods, but requires the modeling and the formalization of each of these steps [1-4]. Therefore, on the purpose of analysis, synthesis and optimization of IN it is necessary to solve the problem of conditional split of IN into its component parts, and to formalize each of them for the subsequent simulation of their relations and conditions within a complex system.

The concept of the Global Information Infrastructure (GII) has a dual nature. On the one hand, the global information infrastructure is the creation of the global communications network that combines national, regional and departmental communications networks. On the other hand, it assumes a fact of personalization of communication for each individual user [5-7]. In the concept of GII users are information sources, customers of IN services and creators of message flows with different forms and functions.

That is, users make requirements on the network for the delivery and processing of information in compliance with certain quantitative and qualitative indicators. Information network provides users with a set of different types of communications and services, such as information processing and other related relief of usage and getting different information. Given the above, it can be assumed that the central object of the IN is user.

Existing models used to formalize the IN are often tiered and based on the seven-layer Open Systems Interconnection (OSI) Model [4, 8]. But there is the four-level model used as well as the Stratified Reference Model (SRM), described in [2]. However, the precise definition – who is the user of information network, is still

there, so urgent task is to improve the efficiency and reliability of IN modeling through the formalization of one of the most important input parameters – the user model of IN.

---

### **Problem statement**

---

In the first stage of IN formalizing the level model be used to determine occurring at the network processes on each of it's levels in the network, and methods of mathematical, simulation and heuristic modeling can be used for the description of each of them. Then, processes in model should be described (if possible) in the whole IN. A formalized model of IN in general should be created on the basis of formalized process' models, which using the similar to used in the first stages methods and assumptions proves its value to reality. That is, all developed mathematical models of each of the levels are formalized and "introduced" in the super-system – in this case IN.

Currently, there are works about the concept of user access. The concept of services is formulated, services and platforms that represent the analysis of options for access lines are presented in [1, 3, 8], standardized interfaces, protocols of user access are developed (Recommendation ITU Series Y); the methods of distribution of information flows in the IN, how to develop the structure of IN depending on various factors [3], the methods for the classification of services, regulations and technical requirements to the underlying networks are developed. Regarding IN user his descriptions are observed from the perspective of the IN and its organization, the calculation of the flow of data and load on the network that he creates.

But the problem is the lack of a formalized description of the main figure of IN – the user – is still open.

Users are the sources of information and consumers who use the services of IN and create messages of different types and with appointments. That is, users make requirements on the network for the delivery and processing of information in compliance with certain quantitative and qualitative indicators.

The complexity of the object that represents the IN user, defines its versatility, the implicit relationship and the relationship of its characteristics, as well as the difficulty in the formalization of these parameters. However, the precise methods of analysis for the study of badly formalized objects domain has been proposed.

This paper deals with the development of formal models of the IN user, which will generate further research aimed at studying and modeling the problem of IN in general.

As already was stated in [9], a user of IN viewed as a badly formalized object for a lot reasons. After all badly formalized objects own not known a priori properties, which changes in the process of functioning [10]. IN user as badly formalized object, has to be turned under the system analysis, which in this case comes as a developing tool of badly formalized object facilities. However, it should take particular attention to fact, that the large number of develops in the field of system analysis of badly formalized objects' science can't say that an ideal tool for holding of system analysis already exists. Methods of various scientists and analysts (Stanford Optner, Spartak Nikanorov, Yuri Chernyak, Anatoly Katrenko, etc) differ, and one of the reasons of this is various subject areas in which the system analysis is used. To tell the truth, such method for information technologies is not created yet [11].

Researchers offer to present badly formalized object, in one hand as a set of parameters, claims and the criteria (which user sets), and in other hand – as patterns, dependence and relationship mechanisms of this parameters with previously condition of the facility (for example, a financial possibility of users and cost of IN services). Classification of facilities is a regulation and development of parameters scheme ratio of the facility, data about it and its behavior in result of various conditions.

---

### **Development stages of a Information networks' user model**

---

Considering the object of organizational, management point of view should be understood that the object will exist in the active area (supersystem), and will interact with it, so attempts to characterize it independently from it are

unreasonable, because, ultimately, it is super-system affects the stable operation and ensure normal functioning of the object [11]. From the above it follows the necessity of studying the behavior of both the user and the requirements that it imposes on IN.

The asymptotic analysis – approximation of complex objects – can be used for consideration of a complex system which is the badly formalized object. Therefore, the user will be presented as a discrete set of parameters and characteristics.

How to formulate the requirements for the formalization of IN users so that they relate only to "essential" that have a direct impact on user behavior aspects, discarding irrelevant and interchangeable? Keeping in mind the dual structure of badly formalized object, it is necessary to consider two complementary fields – internal and external environments for the object. In the specific case – the characteristics of IN users, their needs and requirements for information services (IS) and their characteristics.

The characteristics of IN users and their needs as the internal environment badly formalized object are discussed in the article. They are defined with the help of social research (survey), a sufficient sample of users of IN, market analysis IS users, as well as analysis of the sociological and marketological researches.

Everyone in the community chooses its behavior. Even being the IN user is also the result of choice. Every user action has its infarctions; each choice is a result of many personal factors for each person. Therefore, to understand how larger amount of people will operate, at first it is necessary to understand how an individual person makes decisions. Human behavior is the result of the choice of many alternatives. What, then, can be guided by the principles of the people in choosing their behavior? First, each person has a certain system of preferences, which determines what he likes more and less. Secondly, a person is considering all the alternatives of choice, which he has, and accurately assess the benefits and drawbacks of each. Thirdly, a person tends to the most favorable option for themselves.

In sociological and marketological practice there is developed structure of the classification parameters by the network and communication services [12-14]. But this structure is in terms of user information, communications services and user segmentation, and it is provided on the characteristics that describe a variety of user attitudes to the service as a commodity. There are a large number of papers on the classification of users of the services market, based on psychographic, geographic, cultural, behavioral, demographic, etc. sets the characteristics of users. But they all consider a user point of view of the market – as an object for which IS producers and providers want to implement some services (communication, additional, etc.).

In this paper we propose a number of user characteristics that describe its behavior in the IN. It should be noted that the aim of the studies conducted in the work is to create a model for the optimization of IN, but not for the introduction of services. There are a group of symptoms based on studies of user behavior and methods for separation of these features into groups and using them to classify users which are proposed by the author. These characteristics from the author's opinion are necessary for the formalization of the user model of IN from the point of view of the need to enter it into a model of IN to improve the efficiency of synthesis and control, which is consistent with the objectives of the study. Before developing of formalized user model of IN, it's necessary to collect and analyze information about the users, based on the proposed model.

The need to reduce the dimension of the data source is a major milestone in systems analysis, therefore, proposed by considering a number of features and characteristics of myocardial infarction by modern entrepreneurs, it was suggested on the fuzzy, but logically sound relationship between some characteristics. Note also that all these assumptions are the products of the heuristic and have a probabilistic nature. The obtained characteristics are minimized and presented in fig. 1.

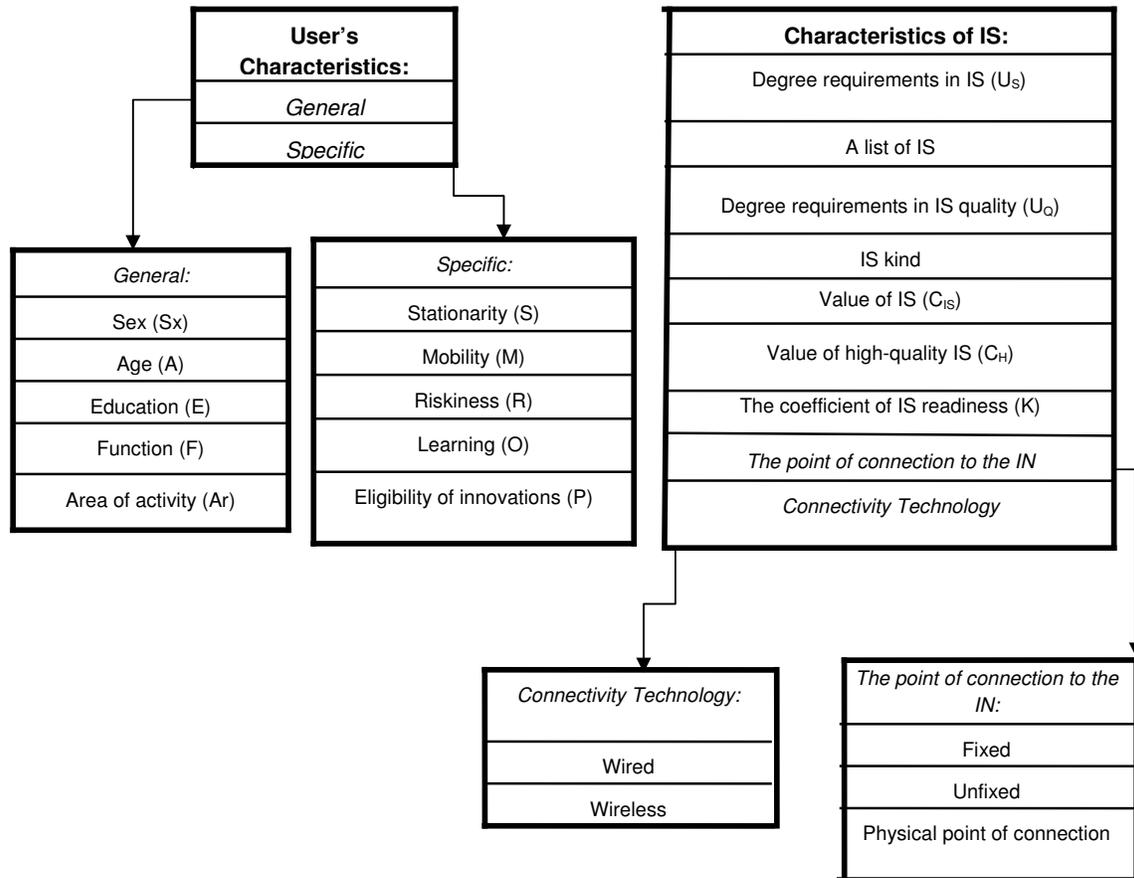


Figure 1 – Proposed set of characteristics.

Consider the following ones.

Stationarity and mobility of the user is directly connected with, first, the communication terminal and, secondly, the method of network connection. Therefore, the connection method (dynamic, fixed) proposes to be combined into a single characteristic with mobility and stationarity, respectively, excluding them from the list of characteristics of IN user. In turn, among the types of terminals for connection to the IS there are also conditionally selected group which includes all mobile devices, personal digital assistants, netbooks, tablets. That is to say that owner of one or more of described mobile devices, typical is inclined to mobility and dynamic method for connecting to IS, and, logically, to IN.

Referring to the mentality of people living in Ukraine, it should be noted that characteristics such as the acceptability of the innovations and risky, as well as the ability to learn will directly depend on the value of innovations and training courses.

Users who work in services, and representatives of the middle age groups (20...25 and 31...40) show a greater level of risk and learning than professionals in other areas.

*General characteristics.* Gender manual describes the parameter  $S_x$ , taking the value 1 when the user – man, and 0 – woman.

Age is determined by the parameter  $A$ , and describes the ranges 16 ... 19, 20 ... 25, 26 ... 30, 31 ... 40, 41 ... 50, 51 ... 60, 60 or more years.

Education describes parameter  $E$ , and takes the value "General", "Average", "Specialized Secondary", "High", "Science Degree", "No".

Occupation describes the parameter F and takes the value "disciple (student)", "civil servant", "employee of the firm (company)", "entrepreneur", "temporarily unemployed", "Retired", "unemployed".

Scope describes the parameter Ar, and takes the value "Production activities", "Services activities", "Science activities", "Education sphere", "Social sphere", "Engineering activities", "Organizational activities".

*Specific characteristics.* In this article the concept of stationarity (S) of the user is regarded as his need to connect to the IN in a fixed point in space. Thus S can take two values:

- $S = 0 \dots 0.5$ , if the user does not need a fixed point to connect to IN;
- $S = 0.51 \dots 1$ , if the user requires a fixed point for connecting to IN.

The parameter S is determined that the user terminal services (mainly fixed, but none that is able to provide information services and operates under the relevant protocol), his need for a stationary point of connection to IN and small need to use different terminals to connect to IN and use of information services.

The following description of the user at first glance is the inverse for stationarity. However, it is not. So the position of the person who can claim a need in fixed point in space and a need to connect to the unstable points in space is described by mobility (M) characteristic.

- $M = 0$ , if mobility is absent;
- $M = 0.01 \dots 0.20$ , if user moves in 100 km radius from central town.
- $M = 0.21 \dots 0.40$ , if user moves in 200 km radius from central town;
- $M = 0.41 \dots 0.60$ , if user moves in 200 km radius from central town;
- $M = 0.61 \dots 0.8$ , if user travels in homecountry;
- $M = 0.81 \dots 1$ , if user travels through the world.

Riskiness (R) of the user in this article called his ability to change technology, the operator or terminal, through which it gains access to IS, and the changes will not involve any financial cost. For riskiness users are divided into 3 groups:

- «Conservatives»:  $R = 0 \dots 0.4$ , the group assigned to users not risking to change technology they used, or operator, or terminal, through which it gains access to services before a critical situation (thus changing technology provider, the abolition of the operator terminal breakage, etc.);
- «Some risky»:  $R = 0.41 \dots 0.75$ , this group included people who risk change of operator or technology, if the change does not require financial expenses;
- «Innovators»:  $R = 0.76 \dots 1$ , the group included people who can change the technology or technology provider, even if it requires additional costs.

Eligibility of innovations (P) for the user in this work is the ability to replace outdated manual service at present or additions.

Other characteristics of IN users are formalized by analogy.

Later were suggested to hold a survey of users in order to obtain the training set of input data, using that in future you could get a concrete idea of IN user groups and their characteristics, as well as the subsequent feature extraction or groups of attributes specific to each class by applying the methods of classification.

By classifying the characteristics of IN users using the methods of cluster analysis, using different methods of association (the methods of single linkage, complete linkage, unweighted pair-group average, weighted pair-wise average, median, Ward) and the various measures the distance metric (Euclidean metric, squared Euclidean metric, the metric Chebyshev Manhattan metric), the author concluded that a formalized IN users' model can be refined description of the characteristics of relationships that are not clearly correlated.

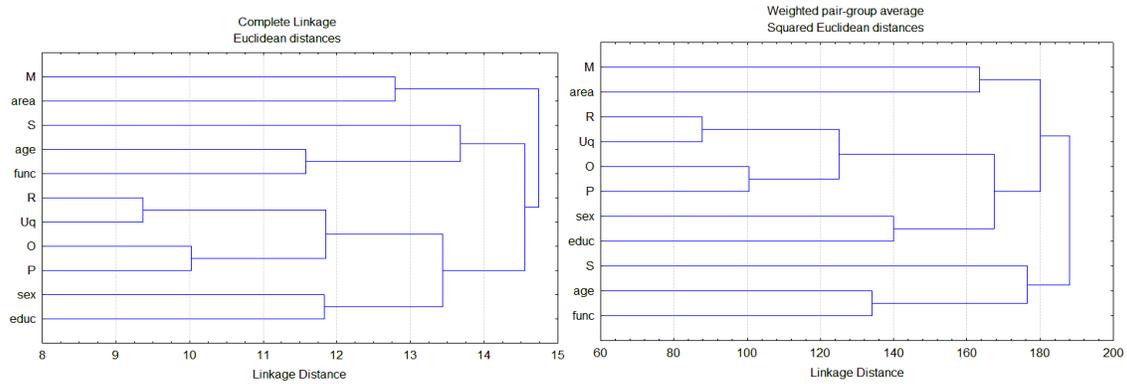


Figure 2 – Examples of provided cluster analysis result.

This will bring a formal model of user information network to the expression 1.

$$U = \overbrace{\{(M, Ar), (A, F), (Uq, R), (O, P), (Sx, E), S, Us, \dots\}}^{K \geq 0.99997, C_{IS} < C_H} \quad (1)$$

## Conclusion

The stages of development the information networks' user model are suggested in the article. The proposed steps are part of the way of forming a model of the central object of information networks in order to optimize the process of formalization of information networks in general. This model is flexible and dynamic to supplement with information, and compact to implement it in a model of an information network as a whole, reflecting both internal and external processes of interaction of these models, which will help in optimization, synthesis and management of information networks.

## Acknowledgements

The paper is published with financial support by the project ITHEA XXI of the Institute of Information Theories and Applications FOI ITHEA Bulgaria [www.ithea.org](http://www.ithea.org), and the Association of Developers and Users of Intelligent Systems ADUIS Ukraine [www.aduis.com.ua](http://www.aduis.com.ua).

## Bibliography

1. Гайворонская Г.С. Сети и системы телекоммуникаций (т.1) / Г.С. Гайворонская, М.В. Захарченко, А.И. Ещенко и др. // К.: Техника. – 2000. – 304 с.
2. Гайворонська Г.С., Інформаційна мережа як об'єкт аналізу і синтезу: навчальний посібник з дисципліни «Оптимальний синтез інформаційних мереж». ОДАХ – 2011. – С. 46-50.
3. Гайворонская Г. С. Уровневая модель представления инфокоммуникационных услуг // Зв'язок 2007. №1. – С. 49-55.
4. Пасечников И.И., Методология анализа и синтеза предельно нагруженных информационных сетей. Москва. И.: «Машиностроение-1». – 2004.
5. ITU-T Y.100 – 06.1998. *General overview of the Global Information Infrastructure standards development.*
6. ITU-T Y.101 – 03.2000. *Global Information Infrastructure terminology: Terms and definitions.*
7. ITU-T Y.120 – 06.1998. *Global Information Infrastructure scenario methodology.*

8. Гайворонская Г.С., Сетевая модель как метод анализа информационных сетей // VII Міжнародна науково-технічна конференція «Сучасні інформаційно-комунікаційні технології». COMINFO'2011-Livadia. 10-14.09.2011. – Київ. – С. 40.
9. Смирнова А.С. «Разработка модели пользователя информационных сетей как плохоформализованного объекта» // III International Conference «Information – Interaction – Intellect». 18-19.06.12 – Varna.
10. Кобозева А.А., Анализ информационной безопасности / А.А.Кобозева, В.А.Хорошко. – К.: Изд. ГУИКТ. – 2009. – С. 251.
11. Крисилов, А.Д., и др., Краткий методологический меморандум, ч.1 // XV Интернациональная конференция "Knowledge-Dialogue-Solution" KDS-2 2009. материалы конференции International Book Series "Information Science and Computing". – С. 257-267.
12. Резникова Н.П., Маркетинг в телекоммуникациях. – М.: Эко – Трендз, 2002. С. 336.
13. Голубицкая Е.А., Кухаренко Е.Г., Основы маркетинга в телекоммуникациях. Учебное пособие. – М.: Радио и связь, 2005. С. 320.
14. Зозулев А.В., Сегментирование рынка Учебное пособие –Х: Студцентр, 2003. С. 34-46.
15. Гайворонская Г.С.. Формализация модели эволюции телекоммуникационных сетей // *Applicable Information Models ITHEA XXI of the Institute of Information Theories and Applications FOI ITHEA and the Consortium FOI Bulgaria*. – С. 155-168
16. Гайворонская Г.С. Концепция пользовательского доступа. И.:ОГАХ. – Одесса. – 2008. – С. 26-34
17. Лившиц Б.С., Теория телетрафика / Лившиц Б.С., Пшеничников А.П., Харкевич А.Д., – М.: «Связь». – 1979.
18. Вятчинин Д.А., Нечеткие методы автоматической классификации. Изд.: УП «Технопринт». – Минск. – 2004. – С. 7-16.
19. Гладун В.П., Партнерство с компьютером. Человеко-машинные целеустремленные системы, К.: *Port-Royal*, – 2000. – С. 17.
20. Гладун В.П., Растущие пирамидальные сети // *Новости искусственного интеллекта*. – 2004. – С. 32-40.
21. Гладун В.П., Ващенко Н.Д., Величко В.Ю., Прогнозирование на основе растущих пирамидальных сетей // *Программные продукты и системы*, 2002. Вып. 2. – С. 26.
22. Смирнова А.С. «Построение модели пользователя конвергентной сети с помощью метода растущих пирамидальных сетей» // VI Международная научно-техническая конференция и IV студенческая научно-техническая конференция «Проблемы телекоммуникаций». 27.04.12. – Киев. – С. 325-327.

---

### Authors' Information



**Anastasia Smirnova** – *Odessa state academy of refrigeration; master of the information-communication technologies' department, Dvoryanskaya str., 1/3, Odessa–82, 65082, Ukraine.*

*E-mail: asya.smi@gmail.com.*

*Major Fields of Scientific Research: information networks, telecommunication networks, badly formalized objects, system analysis.*

## АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ АЛГОРИТМОВ РЕЗЕРВИРОВАНИЯ РЕСУРСОВ ОПТИЧЕСКОЙ СЕТИ

Юрий Гриньков

**Аннотация:** В работе проведен анализ алгоритмов установления канала связи в сети с оптической коммутацией блоков информации. В результате имитационного моделирования фрагмента оптической сети определены алгоритмы, являющиеся наиболее эффективными с точки зрения вероятности потерь блоков информации при их передачи по сети

**Ключевые слова:** коммутация блоков информации, алгоритмы установления канала связи, имитационная модель

**Ключевые слова классификации ACM:** 1.6 SIMULATION AND MODELING - 1.6.5 Model Development, C.2 COMPUTER-COMMUNICATION NETWORKS - C.2.1 Network Architecture and Design

---

### Введение

---

За последние несколько лет в области инфокоммуникаций наблюдается тенденция, которая характеризуется увеличением доли трафика данных в общем потоке информации, передаваемой по телекоммуникационной сети (ТС). При этом объемы трафика данных растут настолько стремительно, что на сегодняшний день перед сетевыми специалистами возникает задача создания качественно новых сетей, использующих технологии меточного мультиплексирования и характеризующихся высокой пропускной способностью [1]. Интенсивное развитие оптоволоконных технологий и распространение мультимедийных инфокоммуникационных услуг (ИКУ), требующих широкой полосы пропускания, внесли фундаментальные изменения в общую концепцию построения телекоммуникационных сетей. Вопреки достаточно стереотипному мнению, которое заключается в том, что телефонная сеть общего пользования (ТфОП) постепенно переходит в разряд устаревших сетей, современные телекоммуникации не могут полностью отказаться от принципов ее функционирования. В частности, фундаментальный принцип ТфОП – коммутация каналов, - в настоящий момент получает второе дыхание, эволюционируя в концепцию коммутации блоков информации, которая достаточно успешно адаптируется для использования в современных оптических сетях.

Ключевой тенденцией развития современных оптических сетей является существенное увеличение пропускной способности оптоволоконной линии связи за счет использования технологии мультиплексирования по длинам волн (*Wave Division Multiplexing, WDM*). Вместе с тем, важным фактором, который ограничивает рост производительности оптических сетей, являются современные узлы коммутации, подвергающие информационный сигнал многократному оптоэлектрическому и электрооптическому преобразованию [2,3]. Такое положение дел вынуждает специалистов в области связи искать новые решения, позволяющие интегрировать современные волоконнооптические системы передачи с существующими системами пространственной коммутации, построенными на базе микроэлектромеханических систем, с учетом необходимости коммутации трафика данных [4,5]. Одним из возможных путей решения этой задачи является применение концепции коммутации блоков, которая позволяет реализовать коммутацию блоков информации «на лету», без использования дорогостоящих оптических запоминающих устройств на узлах коммутации.

### Постановка задачи

Многолетняя история развития информационных технологий, в том числе вычислительной техники и средств связи, подтверждает тот факт, что характерным показателем эффективности использования любой системы является набор правил, определяющий порядок использования ресурсов этой системы. Следовательно, проводя исследование эффективности применения концепции коммутации блоков при построении оптической сети, важно провести сравнительный анализ алгоритмов резервирования ресурсов, которые используются в сети. Под алгоритмом резервирования ресурсов сети будем понимать систему правил, определяющих этапы установления и разрушения канала связи. Исходя из этого основной задачей настоящей работы является проведение сравнительного анализа эффективности использования различных алгоритмов резервирования сетевых ресурсов с учетом обеспечения качества обслуживания, выражающегося в минимизации вероятности потерь блоков информации на узлах коммутации в оптической сети.

### Анализ применения концепции Just-In-Time в оптических сетях

Концепция *Just-In-Time* («точно в срок», *JIT*) появилась в середине XX века в Японии. Основная суть этой логистической концепции заключается в такой организации движения материальных потоков, которая обеспечивает поступление всех материалов в необходимом количестве в нужное место в точно назначенный срок. Позднее концепция *JIT* была применена и в телекоммуникационных сетях, в том числе адаптирована для использования в оптической сети с коммутацией блоков информации [6,7]. Рассмотрим эту концепцию применительно к оптическим сетям более подробно.

Перед началом передачи оптического блока информации источник посылает установочное сообщение, которое, продвигаясь от узла к узлу, резервирует длины волн каналов *WDM* и переключает системы коммутации оптических сигналов (СКОС) для последующей передачи оптического блока информации пользователя (БИП). Управляющие сообщения подвергаются оптоэлектрическому преобразованию на каждом узле, в результате чего каждый узел затрачивает некоторое время на обработку служебных сообщений. Поскольку БИП передается в оптическом виде (без *O/E/O* преобразований) и не обрабатывается на промежуточных узлах, то отправитель должен обеспечить временное смещение между отправкой управляющего сообщения и непосредственно отправкой БИП. Кроме того, временное смещение должно также учитывать время, которое необходимо для переключения оптического коммутационного поля (1).

$$t_{cm} = nt_{yc} + t_k \quad (1)$$

где  $t_{cm}$  – временное смещение отправки БИП,

$n$  – количество узлов коммутации, участвующих в соединении,

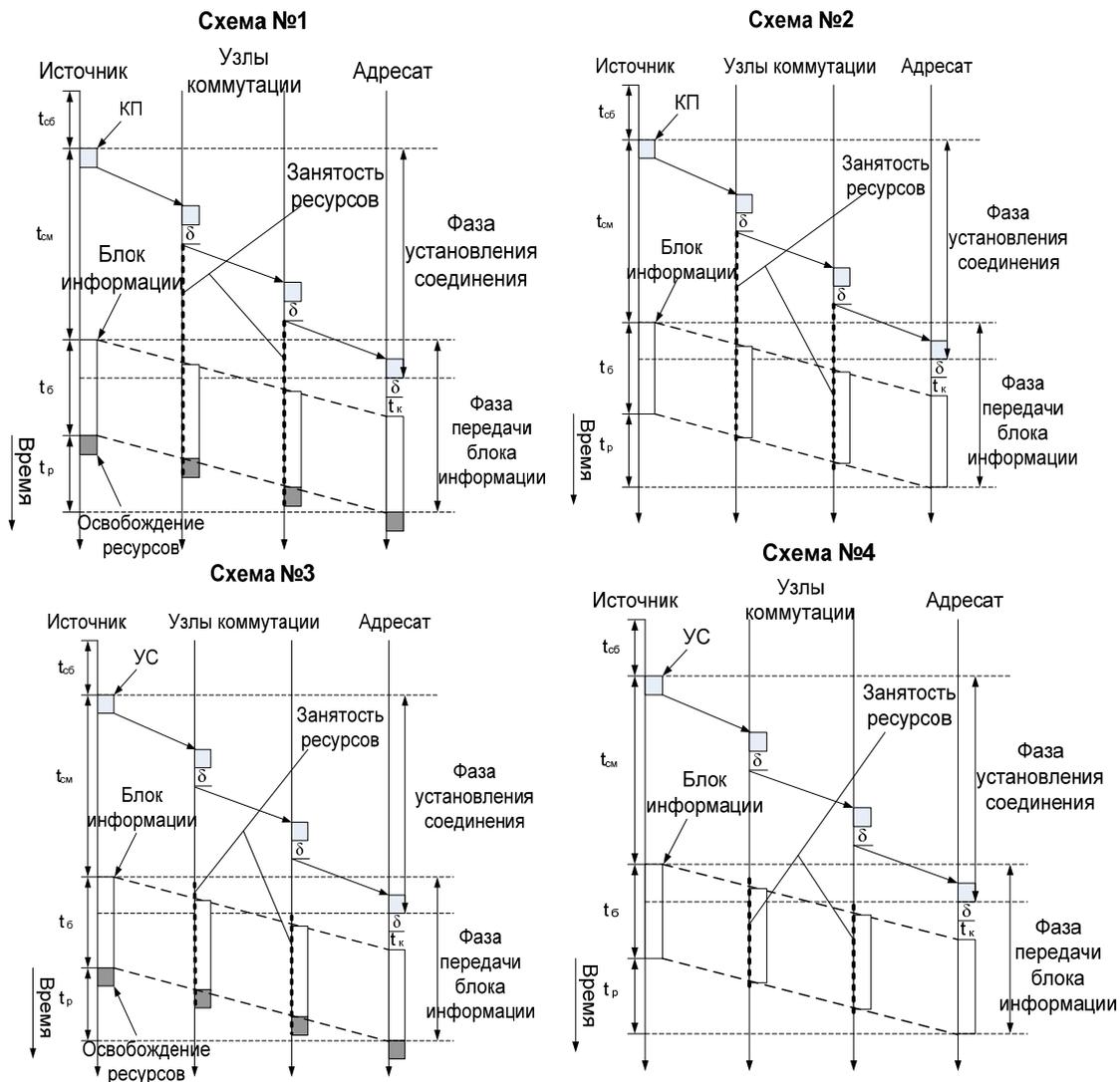
$t_{yc}$  – время, затраченное на обработку управляющего сообщения,

$t_k$  – время, затраченное на переключение оптического коммутационного поля.

В зависимости от метода установления и разрушения канала связи можно выделить следующие модификации (схемы) алгоритма резервирования ресурсов, реализующие концепцию *JIT* (рис.1).

1. Явное установление и завершение соединения: сигнальные сообщения, которые отправляет источник, указывают узлам коммутации немедленно настроить систему коммутации оптических сигналов (СКОС) для входного соединения и освободить ресурсы только при поступлении сигнала завершения передачи.

2. Явное установление и плановое завершение соединения: сигнал установления соединения, отправленный источником, указывает узлам коммутации на необходимость немедленной настройки СКОС, и одновременно этот же сигнал содержит информацию о длительности занятия коммутационного элемента СКОС, что приводит к автоматическому освобождению ресурсов.
3. Неявное установление и явное завершение соединения: сигнальное сообщение содержит информацию о времени начала передачи блока информации. Соответственно, узел коммутации может задержать переключение коммутационного элемента на это время. Освобождение ресурсов происходит только при поступлении сигнального сообщения окончания передачи.
4. Неявное установление и плановое завершение соединения: каждое сигнальное сообщение содержит в себе информацию для отложенной настройки СКОС и время передачи блока информации.

Рисунок 1 – Модификации алгоритма *Just-In-Time*

### Имитационное моделирование алгоритмов резервирования сетевых ресурсов

Для оценки эффективности применения модификаций алгоритма *Just-In-time* в оптической сети воспользуемся имитационной моделью оптической сети с коммутацией блоков информации,

предложенной автором в работе [8]. Разработанная модель использует принцип декомпозиции исследуемого объекта на следующие модули: модуль оптической линии *HDWDM*, модуль *СКОС* и алгоритм коммутации, модуль очереди управляющих сообщений, модуль источника блоков информации и, собственно, модуль протокола установления соединения. Все эти модули реализованы с использованием языков программирования *C+* и *Tool Command Language (TCL)* на базе сетевого симулятора *NS-2* [9].

На этапе инициализации модели синтезирована следующая структура оптической сети (рис.2)

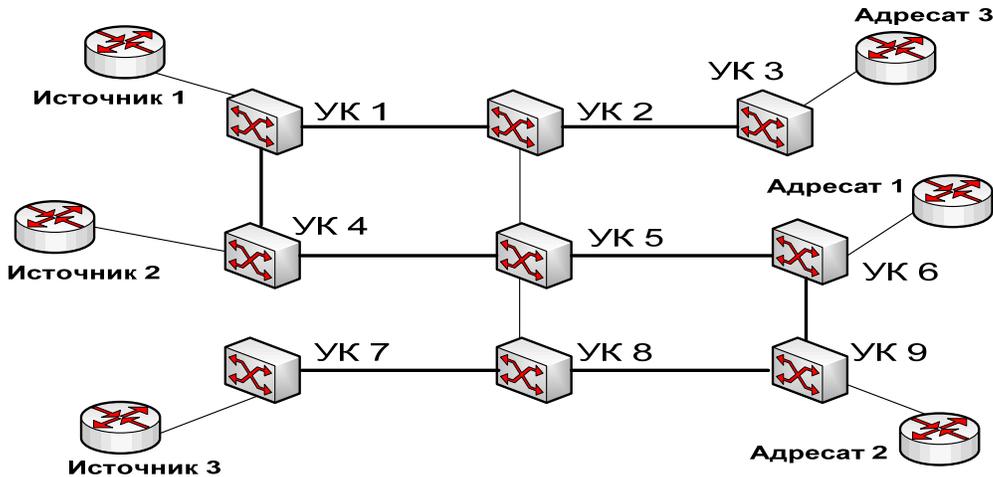


Рисунок 2 – Структура исследуемого фрагмента оптической сети

При моделировании рассматривался сценарий, когда каждый источник отправлял блоки информации только одному адресату (Источник 1 – Адресат 1, Источник 2 – Адресат 2 и т.д.). В модель изначально было заложено допущение, что размерность системы коммутации оптических сигналов в каждом узле достаточна для коммутации всех входных линий во все выходные. В качестве генератора сетевого трафика был выбран простейший поток вызовов. Остальные параметры инициализации имитационной модели приведены в таблице 1

Таблица 1 – Параметры инициализации модели

Параметр инициализации	Значение параметра
Алгоритм установления канала связи	Just-In-time
Тип маршрутизации	Статическая маршрутизация от источника
Средний размер блока информации	2 Мб
Время переключения СКОС	10 мкс
Емкость линии DWDM	32 канала
Пропускная способность канала DWDM	2 Гбит/с
Протяженность каждой линии DWDM	100 км
Скорость управляющего канала	622 Мбит/с

Процесс имитационного моделирования заключался в пошаговом изменении количества блоков информации пользователя, передаваемых за единицу времени узлом-источником и фиксации количества утерянных БИП на узлах коммутации для каждой из четырех модификаций алгоритма *JIT* [10,11]. Результаты имитационного моделирования приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты имитационного моделирования

Интенсивность потока	Количество утерянных БИП (схема 1)	Количество утерянных БИП (схема 2)	Количество утерянных БИП (схема 3)	Количество утерянных БИП (схема 4)
19942	0	0	0	0
21975	0	17	0	17
24023	0	76	0	76
25996	0	227	0	227
27978	13	476	13	473
30202	19	1015	19	1022
31915	94	1698	95	1701
33959	221	2680	224	2673
36003	725	4118	726	4115
38015	953	5415	960	5372
40021	1508	7033	1504	7014

Как видно из графического представления результатов моделирования (рисунок 3), при интенсивности генерирования трафика, превышающей 21000 БИП/с, наблюдается превосходство схем №1 и №3, что позволяет сделать вывод о рациональности их использования при построении фрагментов оптических сетей.

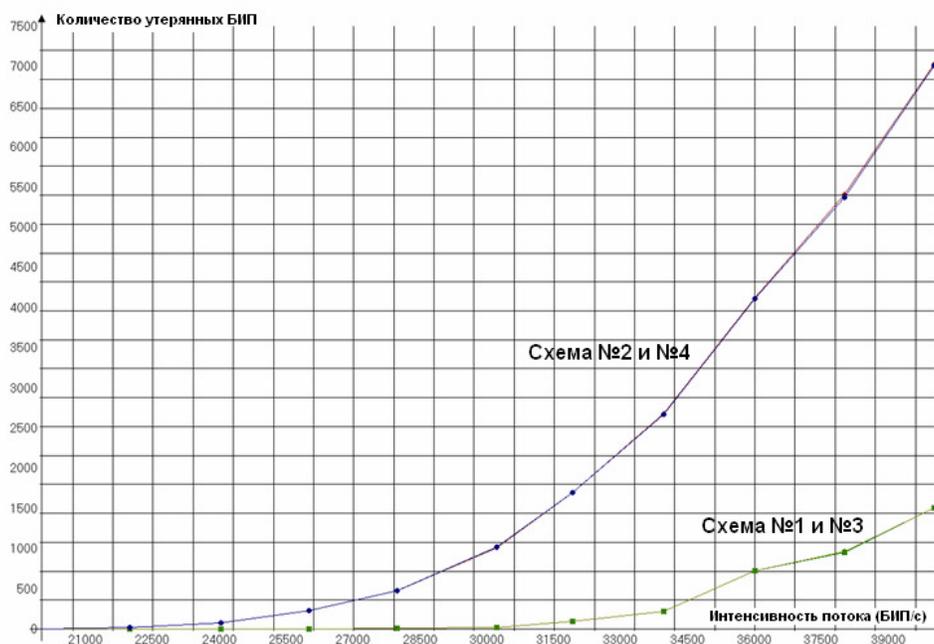


Рисунок 3 – Графическое представление результатов моделирования

## Заключение

В результате исследования функционирования алгоритмов установления канала связи в сети с оптической коммутацией блоков информации и, собственно, имитационного моделирования установлено,

что модификации алгоритма JIT с явным завершением соединения являются более эффективными, чем схемы с плановым завершением соединения. Кроме того, по результатам моделирования удалось определить, что тип установления соединения никоим образом не влияет на производительность и качество обслуживания в оптической сети.

Полученные результаты позволяют не только осуществить выбор алгоритма резервирования ресурсов оптической сети, но и предложить использовать аналогичный подход для исследования иных аспектов оптических сетей с коммутацией блоков информации, в частности использовать результаты настоящей работы на этапе инициализации имитационной модели.

---

### Благодарности

Работа опубликована при финансовой поддержке проекта **ITHEA XXI** Института информационных теорий и приложений FOI ITHEA Болгария [www.ithea.org](http://www.ithea.org) и Ассоциации создателей и пользователей интеллектуальных систем ADUIS Украина [www.aduis.com.ua](http://www.aduis.com.ua).

---

### Библиография

1. Гайворонская Г.С. Сети и системы телекоммуникаций (т.1) / Г.С. Гайворонская, М.В. Захарченко, А.И. Ещенко и др. // К.: Техника. – 2000. – 304 с.
2. Гайворонская Г.С. Особенности применения оптических коммутаторов в современных информационных сетях / Г.С. Гайворонская, А.В. Рябцов // *Applicable Information Models*. – Sofia: ITHEA, 2011. – № 22. – P. 169-181
3. Гайворонская Г.С. Проблема обеспечения полностью оптической коммутации в конвергентных сетях / Г.С. Гайворонская // *Збірник тез V МНТК «Проблеми телекомунікацій»*. – Київ. – НТУУ «КПІ». – 2011. – С.39
4. Y. Grynkov, "Some aspects of choice of switching scheme for construction of optical signals' switching system" - *KDS'2011*. – ITHEA. – pp. 34-41, Sep. 2011.
5. Гайворонская Г.С. Применение скалярных критериев выбора для определения оптимальной коммутационной схемы системы коммутации оптических сигналов / Г.С. Гайворонская, Ю.М. Гриньков // *Холодильна техніка і технологія*. – Одеса: ОДАХ. – 2011. – С.66-70
6. Jason P. Jue *Optical Burst Switched Networks* / Jue P. Jason, Vinod M. Vokkarane // Boston. – 2005. – 147 p.
7. Verma S. *Optical burst switching: a viable solution for terabit IP backbone* / S. Verma, H. Chaskar, R. Ravikanth // *IEEE Network*. - 14(6). – November. – 2000. – P.48–53
8. Юрий Гриньков Разработка имитационной модели для оптимизации функционирования полностью оптических сетей /Юрий Гриньков // *International Journal "Information Theories and Knowledge"*. – Sofia: ITHEA, 2012. – № 2 (Volume 6) – P. 178-183.
9. Материалы Интернет-сайта NS-2. – Режим доступа: <http://www.isi.edu/nsnam/ns> (дата обращения 26.06.2012)
10. Y. Grynkov *A Possible Approach to Increasing of the Telecommunication Network's Capacity*. – *Proceedings of the XI International Conference TCSET'2012*. – Lviv. – P.262
11. Гриньков Ю.М. Особенности применения концепции коммутации блоков информации при построении полностью оптических сетей / Ю.М. Гриньков // *Збірник тез COMINFO'11*. – Київ: ДУІКТ, 2011. – С. 184-185

---

### Информация об авторе



**Юрий Гриньков** – Одесская государственная академия холода; аспирант кафедры информационно-коммуникационных технологий – ул. Дворянская., 1/3, Одесса – 82, 65082, Украина; e-mail: [yugrinkov@gmail.com](mailto:yugrinkov@gmail.com)

Основные области исследований: полностью оптические сети, коммутация оптических сигналов

---

---

## Knowledge Engineering

---

---

### К ВОПРОСУ ЕСТЕСТВЕННО-ЯЗЫКОВОЙ АДРЕСАЦИИ

**Крассимира Иванова, Виталий Величко, Крассимир Марков**

**Аннотация:** В настоящей работе представлена идея естественно-языковой адресации. Это дополнительная возможность для представления онтологической информации в интеллектуальных системах. Естественно-языковая адресация имеет ряд преимуществ. На первом месте – это линейная алгоритмическая сложность, которая зависит от максимальной длины слов ( $max\_L$ ), а не от их количества. Во-вторых, это уменьшение объема занимаемой памяти – дополнительные индексы не используются. В-третьих, уменьшение времени обработки из-за полного отсутствия поиска – информация извлекается прямо по адресу. Необходимо отметить, что это универсальное представление информации одновременно доступной как для человека, так и для автоматизированных систем. Такой способ организации информации применим для ее хранения и использования в библиотеках онтологий, терминов, понятий, текстовых документов.

**Ключевые слова:** Естественно-языковая адресация, организация онтологических баз данных.

**ACM Classification Keywords:** D.4.2 Storage Management; E.2 Data Storage Representations

---

#### Введение

---

Растущее развитие средств для оперирования с онтологиями и базами знаний определяет устойчивую тенденцию увеличения объема мета-информации, создаваемой людьми и компьютерами. С момента появления Semantic Web [sw, 2012] практически любой объект в Интернете содержит значительное количество метаданных, описывающих различные семантические аспекты. Наличие стандартизированных языков для описания метаданных (XML, SHOE, DAML+OIL, RDF и RDFS и др.) делает мета-информацию доступной для анализа и интерпретации.

Увеличение количества метаданных является феноменом, который требует особого внимания и анализа. Бытует иллюзорное впечатление, что в глобальной сети уже есть все, что нас интересует, но пока не описано полностью мета-данными и является вопросом времени, чтобы это произошло. Когда это случится, семантико-поисковые системы будут находить для нас необходимую информацию, которая должна быть и "достаточной".

Более чем очевидно, что "Никто не обнимет необъятного" [Prutkov, 1863], особенно если к нему добавлено "мета-необъятное". Поэтому поиск эффективных решений для работы с естественными структурами языка и их смыслом остается серьезной проблемой. Наше внимание в этой работе направлено на поиск новых возможностей хранения онтологических структур, основанных на специфической "естественно-языковой адресации".

### Пример адресации в системе WordNet

**WordNet** — это семантическая сеть для английского языка, разработанная в Принстонском университете, и свободно доступная вместе с сопутствующим программным обеспечением [WordNet, 2012]. WordNet можно свободно использовать в коммерческих и научных целях. Для работы с ним существует несколько программ, множество интерфейсов и API, реализованное как на большинстве возможных языков, так и с помощью протокола DICT, программы GoldenDict и других. Пакеты WordNet присутствуют в некоторых репозиториях GNU ПО, Linux и их дистрибутивах.

Рассмотрим организацию информации в системе WordNet. Для примера мы выбрали слово „accession”.

На запрос о слове „accession”, система WordNet выдает следующую информацию (рис. 1):

The noun accession has 6 senses (no senses from tagged texts)

1. {13251723} <noun.process> accession#1 -- (a process of increasing by addition (as to a collection or group); "the art collection grew through accession")
2. {13170404} <noun.possession> accession1#2 -- ((civil law) the right to all of that which your property produces whether by growth or improvement)
3. {13082910} <noun.possession> accession#3, addition#4 -- (something added to what you already have; "the librarian shelved the new accessions"; "he was a new addition to the staff")
4. {07078650} <noun.communication> accession2#4, assenting#1 -- (agreeing with or consenting to (often unwillingly); "accession to such demands would set a dangerous precedent"; "assenting to the Congressional determination")
5. {05115154} <noun.attribute> entree#2, access#1, accession#5, admittance#1 -- (the right to enter)
6. {00232781} <noun.act> accession3#6, rise to power#1 -- (the act of attaining or gaining access to a new office or right or position (especially the throne); "Elizabeth's accession in 1558")

The verb accession has 1 sense (no senses from tagged texts)

1. {00989696} <verb.communication> accession#1 -- (make a record of additions to a collection, such as a library)

Рис. 1 Ответ системы WordNet на запрос о слове „accession”

Рассмотрим, как именно получен этот ответ в системе WordNet. Словарь WordNet состоит из 4 сетей для основных знаменательных частей речи: существительных, глаголов, прилагательных и наречий. Базовой словарной единицей в WordNet является не отдельное слово, а так называемый синонимический ряд («синсеты»), объединяющие слова со схожим значением и по сути своей являющимися узлами сети. Для удобства использования словаря человеком каждый синсет дополнен определением и примерами употребления слов в контексте. Слово или словосочетание может появляться более чем в одном синсете и иметь более одной категории части речи. Каждый синсет содержит список синонимов или синонимичных словосочетаний и указатели, описывающие отношения между ним и другими синсетами. Слова, имеющие

несколько значений, включаются в несколько синсетов и могут быть причислены к различным синтаксическим и лексическим классам.

WordNet хранит информацию в четырех основных файлах данных (существительные, глаголы, прилагательные и наречия). В каждом из этих файлов структура данных одинакова – для каждого слова хранится один или несколько наборов синонимических множеств (синсетов), доступ к которым осуществляется по адресу первого байта синсета, который задан явно с помощью восьми десятичных знаков записанных с первого байта синсета (рис. 2 и рис. 3). Данные в синсете разделены пробелами. После адреса синсета следуют три служебных поля, а вслед за ними само слово, после него следует другая лингвистическая информация. Необходимо отметить, что ссылки на другие синсеты задаются снова через их абсолютные адреса в файле. (Элементы, которые нас интересуют, выделены жирным шрифтом).

```

13251723 22 n 01 accession 0 001 @ 13323403 n 0000 | a process of
increasing by addition (as to a collection or group); "the art
collection grew through accession"

13170404 21 n 01 accession 1 002 @ 13070995 n 0000 ;c 08338303 n
0000 | (civil law) the right to all of that which your property
produces whether by growth or improvement

13082910 21 n 02 accession 0 addition 0 001 @ 13082742 n 0000 |
something added to what you already have; "the librarian
shelved the new accessions"; "he was a new addition to the
staff"

07078650 10 n 02 accession 2 assenting 0 002 @ 07076600 n 0000 +
00795631 v 0102 | agreeing with or consenting to (often
unwillingly); "accession to such demands would set a dangerous
precedent"; "assenting to the Congressional determination"

05115154 07 n 04 entree 0 access 0 accession 0 admittance 0 003 @
05113619 n 0000 + 02426186 v 0401 ~ 05119817 n 0000 | the right
to enter

00232781 04 n 02 accession 3 rise_to_power 0 003 @ 00060914 n 0000 +
01989112 v 0101 + 02358456 v 0101 | the act of attaining or
gaining access to a new office or right or position (especially
the throne); "Elizabeth's accession in 1558"

```

Рис. 2. Синсеты слова „accession” в WordNet файле с данными для существительных

```

00989696 32 v 01 accession 0 002 @ 00990286 v 0000 ;c 00897092 n
0000 01 + 08 00 | make a record of additions to a collection,
such as a library

```

Рис. 3. Синсеты слова „accession” в WordNet файле данных для глаголов

Для нас важно, как выполняется доступ к данному синсету. Очевидно, что необходимо где-то хранить информацию о том, где находятся синсеты для каждого слова. Это делается через WordNet индексные файлы, которых тоже четыре, в соответствии с файлами данных (существительные, глаголы, прилагательные и наречия). Они отсортированы в алфавитном порядке слов, каждому слову соответствует одна строка в индексном файле, содержащая слово, краткую служебную информацию и абсолютные адреса всех синсетов, в которые входит слово (рис. 4 и рис. 5).

```
accession n 6 4 @ ~ + ; 6 0 13251723 13170404 13082910 07078650
05115154 00232781
```

Рис. 4. Строка для слова „accession” в WordNet индексном файле с данными для существительных

```
accession v 1 2 @ ; 1 0 00989696
```

Рис. 5. Строка для слова „accession” в WordNet индексном файле с данными для глаголов

Чтобы прочитать все синсеты для данного слова, сначала выполняется бинарный поиск во всех индексных файлах, а затем через прямой доступ по абсолютным адресам читаются данные из файлов. Алгоритмическая сложность в данном случае  $O(n_n * \lg(n_n) + n_v * \lg(n_v) + n_a * \lg(n_a) + n_r * \lg(n_r))$ , где  $n_n$ ,  $n_v$ ,  $n_a$  и  $n_r$  представляют собой количества существительных, глаголов, прилагательных и наречий.

Существует и второй способ получения абсолютных адресов синсетов. Он выполняется с помощью т.н. индекса смыслов (sense index). Этот индекс тоже отсортирован, но каждое слово записывается в таком количестве строк, сколько синсетов существуют для этого слова во всех файлах данных. Например, слово „accession” имеет семь строк в индексе смыслов - шесть для его значений как существительное и одна - в качестве глагола. Каждая строка содержит только один абсолютный адрес синсета в соответствующем файле данных (рис. 6).

```
accession%1:04:03:: 00232781 6 0
accession%1:07:00:: 05115154 5 0
accession%1:10:02:: 07078650 4 0
accession%1:21:00:: 13082910 3 0
accession%1:21:01:: 13170404 2 0
accession%1:22:00:: 13251723 1 0
accession%2:32:00:: 00989696 1 0
```

Рис. 6 Строки слова „accession” в индексе смыслов

Для получения всех синсетов данного слова в индексе смыслов, выполняется сначала бинарный поиск, затем просматриваются все имеющиеся для данного слова строки, и, наконец, по всем полученным адресам непосредственно считывают синсеты из файлов данных. Алгоритмическая сложность в данном случае больше, чем  $O(n * \lg(n))$ , где  $n = n_n + n_v + n_a + n_r$ , т.е.  $n$  - общее количество слов в базе данных (существительные+глаголы+прилагательные+наречия), так как из-за множества значений, слова могут повторяться много раз, что приводит к увеличению количества операций по нахождению всех строк этого слова.

### Естественно-языковая адресация

Организация информации в системе WordNet позволяет быстро получить необходимую информацию, используя „одновременный” бинарный поиск в четырех стандартных индексах или в одном индексе смыслов, а затем выполнить позиционирование непосредственно в соответствующих файлах данных.

В данном случае необходимо отметить некоторые недостатки такой организации:

- 1) абсолютная адресация удобна для компьютерной обработки, но не удобна для пользователя;
- 2) ручное формирование абсолютных адресов невозможно, а их использование не может быть реализовано без поддержки соответствующей программы;
- 3) пользователю предоставляется статическая ("скомпилированная") версия базы данных, которую невозможно развивать - она пригодна только для чтения.

Любые изменения, приводящие к изменению количества байтов в основном файле данных, делает его непригодным для использования из-за абсолютных адресов, являющимися указателями. Например, на рис. 7 показан синсет слова „accession” из (а) настоящей и (б) более ранней версии WordNet файлов данных для существительных. Более ранняя версия синсета опубликована в [Palagin et al, 2011]. На рис. 7 (а) и (б) видна разница в адресах.

```
13082910 21 n 02 accession 0 addition 0 001 @ 13082742 n 0000 |
something added to what you already have; "the librarian
shelved the new accessions"; "he was a new addition to the
staff"
```

а)

```
00047131 04 n 02 accession 0 addition 0 001 @ 09536731 n 0000 |
something added to what you have already; "the librarian
shelved the new accessions"; "he was a new addition to the
staff"
```

б)

Рис. 7 Синсет слова „accession” из (а) настоящей и (б) более ранней версии файла для существительных. Это означает, что любое изменение в информации, даже на один байт, требует полной рекомпиляции соответствующей части базы данных – основного файла, его индекса, индекса смыслов, который соответствует всем основным файлам.

Если проанализируем структуру синсета, увидим одну очень важную особенность.

В памяти компьютера все символы представляются цифровыми кодами (занимающими один, два или четыре байта, в зависимости от системы кодирования - ASCII или Unicode). Таким образом, один уникальный цифровой код (абсолютный адрес) указывает на другой, тоже уникальный цифровой код (компьютерное представление слова, например в ASCII-кодировке слово „accession” имеет следующее представление: 97 99 99 101 115 115 105 111 110).

Этого можно избежать, если использовать другой тип организации информации.

Внутреннее представление (код) слова может быть непосредственно использовано при построении онтологии. Этот код можно рассматривать как пространственный адрес (в девятимерном пространстве в случае со словом „accession”). По адресу слова можно сохранить всю информацию синсета и получить ее снова через этот адрес.

Для людей адрес слова „accession” будет представлен самим словом „accession”, а для компьютера через вектор (97, 99, 99, 101, 115, 115, 105, 111, 110).

Этот способ адресации назовем „естественно-языковая адресация”.

Учитывая, что в естественном языке слова имеют разную длину, а некоторые словосочетания являются понятиями, возникает требование возможности одновременной работы с взаимосвязанными

информационными пространствами различной размерности. Такую возможность предоставляет „Мультидоменная информационная модель” [Markov, 2004] и соответствующее программное обеспечение, названное - „Мультидоменный метод доступа” [Markov, 1984].

Если применить эту возможность к WordNet базе данных, получим результат более понятный для человека (Рис.8. б) и в тоже самое время – полностью понимаемый компьютером.

```
13082910 21 n 02 accession 0 addition 0 001 @ 13082742 n 0000 |
something added to what you already have; "the librarian
shelved the new accessions"; "he was a new addition to the
staff"
```

а)

```
accession 21 n 02 ; 0 addition 0 001 @ acquisition n 0000 |
something added to what you already have; "the librarian
shelved the new accessions"; "he was a new addition to the
staff"
```

б)

Рис. 8 Синсет слова „accession” из (а) настоящей и (б) NL-версии WordNet файла для существительных

## Заключение

В настоящей работе была представлена идея естественно-языковой адресации. Это дополнительная возможность для представления онтологической информации в интеллектуальных системах. Она имеет ряд преимуществ. На первом месте это линейная алгоритмическая сложность, которая зависит от максимальной длины слов ( $\max\_L$ ), а не от их количества, т.е.  $O(\max\_L)$ . Во-вторых, это уменьшение объема занимаемой памяти из-за полного отсутствия дополнительных индексов, абсолютных адресов и дополнительных файлов. Можно указать на уменьшение времени обработки вследствие полного отсутствия поиска – информация извлекается по прямому адресу. И не на последнем месте – универсальное представление информации одновременно доступной как для человека, так и для автоматизированных систем.

Этот способ организации информации используется в „Инструментальном комплексе онтологического назначения” (ИКОН) [Palagin et al, 2011], который разрабатывается в Институте кибернетики им. В.М.Глушкова НАНУ, Киев. Естественно-языковая адресация предусмотрена для хранения и использования информации в библиотеках онтологий, терминов и понятий, текстовых документов.

## Благодарности

Работа опубликована при финансовой поддержке проекта **ITHEA XXI** Института информационных теорий и приложений FOI ITHEA Болгария [www.ithea.org](http://www.ithea.org) и Ассоциации создателей и пользователей интеллектуальных систем ADUIS Украина [www.aduis.com.ua](http://www.aduis.com.ua).

## Библиография

[Markov, 1984] Kr.Markov. A Multi-domain Access Method. // Proceedings of the International Conference on Computer Based Scientific Research. Plovdiv, 1984. pp. 558-563.

[Markov, 2004] Markov, K. Multi-domain information model. Int. J. Information Theories and Applications, 11/4, 2004, pp.303-308.

- [Palagin et al, 2011] А.В. Палагин, С.Л. Кривый, Н.Г. Петренко. Онтологические методы и средства обработки предметных знаний: монография/Луганск: изд-во ВЛУ им. В. Даля, 2011. – 323 с.
- [Prutkov, 1863] Прутков Козьма Петрович: Сочинения. 1863г. [Электронный ресурс] // URL: [http://az.lib.ru/p/prutkow\\_k\\_p/](http://az.lib.ru/p/prutkow_k_p/) (дата обращения 04.08.2012).
- [sw, 2012] Semantic Web: [Электронный ресурс] // URL: <http://www.w3.org/2001/sw/> (дата обращения 04.08.2012).
- [WordNet, 2012] WordNet®. A lexical database for English. Princeton University. [Электронный ресурс] // URL: <http://wordnet.princeton.edu/> (дата обращения 04.08.2012).

---

### Информация об авторах

---



**Krassimira Ivanova** – *University of National and World Economy, Sofia, Bulgaria*  
e-mail: [krazy78@mail.bg](mailto:krazy78@mail.bg)  
Major Fields of Scientific Research: *Data Mining*



**Vitalii Velychko** – *Institute of Cybernetics, NASU, Kiev, Ukraine*  
e-mail: [velychko@aduis.com.ua](mailto:velychko@aduis.com.ua)  
Major Fields of Scientific Research: *Data Mining, Natural Language Processing*



**Krassimir Markov** – *Institute of Mathematics and Informatics at BAS, Sofia, Bulgaria;*  
e-mail: [markov@foibg.com](mailto:markov@foibg.com)  
Major Fields of Scientific Research: *Multi-dimensional information systems, Data Mining*

## ИНТЕЛЛЕКТУАЛИЗАЦИЯ ЭКСПЕРТНЫХ СИСТЕМ С ПОМОЩЬЮ ОНТОЛОГИЙ

Глибовец Н.Н., Красиков Д.С.

**Аннотация:** В данной работе разработана методология построения онтологических экспертных систем с использованием правил вывода продукционного типа. В прикладной части описана реализация экспертной системы с использованием организационной онтологии.

**Keywords:** база знаний, семантическая сеть, фреймворк, экспертные системы (ЭС), онтологические ЭС (ОЭС).

**ACM Classification Keywords:** D.2.2 Design

---

### Введение

---

Одним из современных подходов совершенствования экспертных систем (ЭС) является использование онтологий [Gruber, 1993]. Явная спецификация предметной области храниться в виде иерархии понятий и связей между ними в базе знаний ЭС совместно с правилами вывода, например, в формате OWL [OWL] или СуsL [OpenСуs]. Заданная иерархия объектов используется во время общения экспертов и инженеров знаний, построения правил логического вывода, во время проверки конфликтов в базе знаний.

В данной работе рассмотрим разработанную методологию построения онтологических ЭС (ОЭС) с использованием правил вывода продукционного типа. В прикладной части опишем реализацию ЭС для торговой организации с использованием организационной онтологии.

В работах [Cheng, 2008, Trausan-Matu, 2008, ZONG-YONG, 2007] описано некоторые подобные предложения объединения онтологий и продукционных правил. Но в них невозможно устранение противоречий в онтологии во время поддержки ЭС. Кроме того в них используются несовершенные форматы сохранения правил.

В работе [PARK, 2008] предложена концепция использования правил вывода продукционного типа для построения интеллектуальных систем. В описанных тут исследованиях не используют всех возможностей продукционных систем (императивных команд и команд, которые имеют возможность изменять структуру содержания онтологии). В подобных работах не предлагается ни методологии, ни фреймворка построения ОЭС в общем случае.

---

### 1. Методология построения ОЭС

---

Методологию построения (ОЭС) можно отобразить в виде следующего процесса.

#### 1. Создание онтологии предметной области [MARK, 1993]

1.1. *Накопление знаний о предметной области.* Проводится экспертиза соответствующих информационных ресурсов, при этом формально определяются основные термины которыми будет описана выбранная предметная область. Эти определения должны быть собраны с учетом возможности их представления на общем языке, выбранном для описания онтологии.

1.2. *Формирование онтологии.* Для этого разрабатываются полную понятийную структуру предметной области. Вероятно, это потребует распознавания главных, ключевых понятий предметной области и их свойств, определение связей между понятиями, создание абстрактных понятий, выделение понятий, содержащих экземпляры, а также, возможно, привлечение вспомогательных онтологий.

1.3. *Расширение и конкретизация онтологии.* Понятие связи, атрибуты, экземпляры, аксиомы добавляются тех пор, пока уровень детализации обеспечит удовлетворение целей онтологии.

1.4. *Проверка выполненной работы.* На этом этапе устраняются синтаксические, логические и семантические несогласованности элементов онтологии и происходит проверка достоверности информации. Это можно выполнить с помощью машин вывода [Pellet].

## 2. Внедрение онтологии путем интеграции онтологических объектов с объектами и правилами вывода в ЭС

2.1. Классы и экземпляры онтологии переносятся в среду ЭС. Как правило, они отображаются на классы и экземпляры языка программирования, на котором реализуется ЭС

2.2. Аксиомы, построенные на этапе создания онтологии, отражаются частично в структуре классов среды программирования ЭС, а частично в правила ЭС. После выполнения каждого правила, которое изменяет, удаляет или добавляет факты, в онтологии происходит контроль противоречий, что будет защищать ее от вхождения в противоречивое состояние (рис.1).

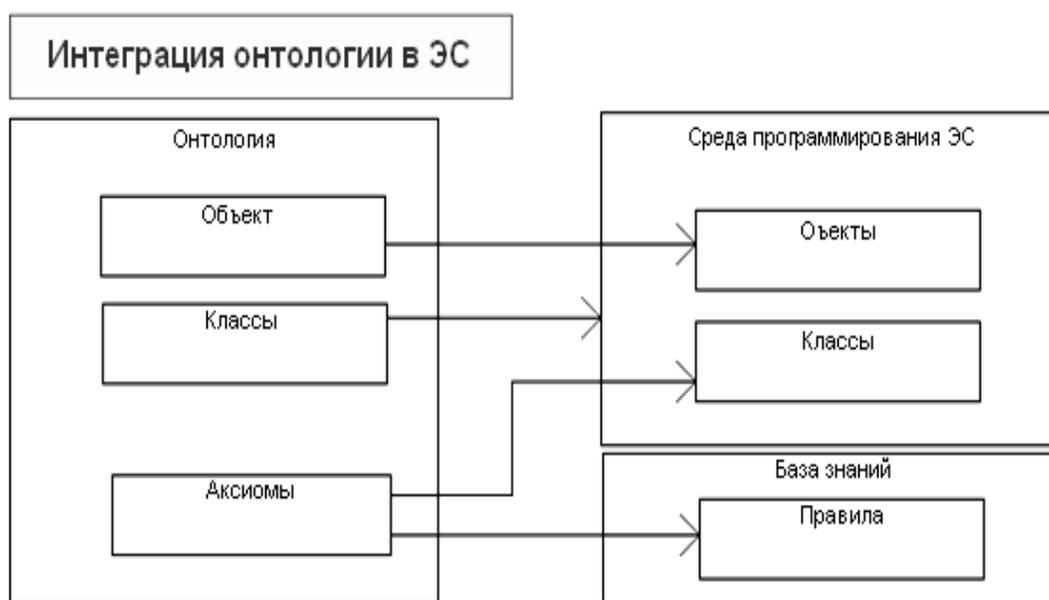


Рис.1. Интеграция онтологии в ЭС.

## 3. Согласование

3.1. Во время выполнения ЭС, перед каждой попыткой изменить базу знаний, будет консультироваться с метаданными, которые хранятся в онтологии, на непротиворечивость. В случае выявления конфликтов, изменения не происходят.

Предлагаемая архитектура ОЭС приведена на рис. 2.

Использование указанной методологии позволяет преодолеть традиционные недостатки ЭС.

Наличие стандартизированного словаря концептов предметной области упрощает общение между экспертом и инженером знаний при проектировании базы знаний. Использование онтологии делает возможным представления родовых / структурных понятий в продукционных системах представления знаний. Онтология как концептуальная схема предметной области поможет глубже анализировать поставленные задачи, принимать более точные решения, а иногда отвечать на принципиально новые вопросы. Существенно упрощается интеграция различных ЭС. Теперь для интеграции достаточно создать

соответствие между концептами двух онтологий, т.е. нет необходимости искать и выделять концепты продукционных правил. Кроме того, если онтология задается одним из общепринятых языков описания, то соответствие можно задавать с помощью стандартных утилит редактирования онтологий (Protégé, Ontolingua, MetaMaker). Использование онтологии создает дополнительную возможность контроля противоречий для сущностей базы знаний, упрощая контроль конфликтов у базе знаний.

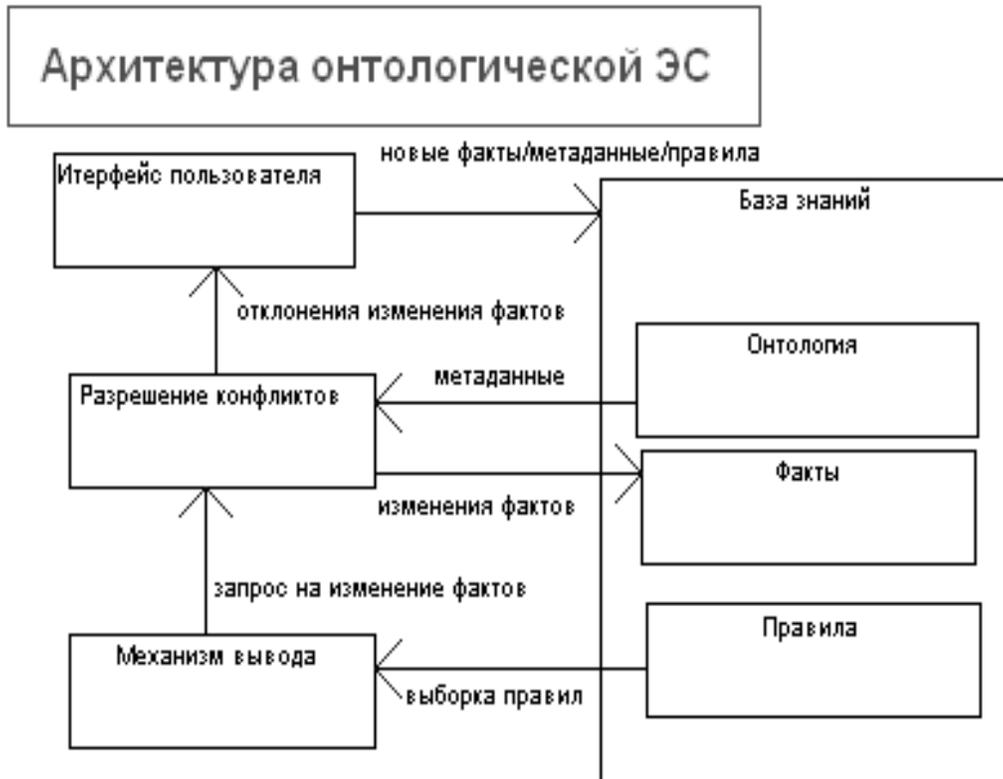


Рис. 2. Структура онтологической ЭС.

При наличии формального описания предметного домена в ЭС упрощается модификация и пополнение БЗ. Так как онтологии неплохо изучены, инженеры знаний могут использовать стандартные языки для описания онтологий (OWL, DC, CycL, KIF) и утилиты (Protégé [Protégé], Pellet) для редактирование базы знаний и логического вывода.

Понятно, что привнесение онтологий в ЭС приводит и к определенным недостаткам. Использование онтологической структуры вызывает потребность в дополнительном анализе и контроле противоречий, что приводит повышению требований к мощности ЭВМ. На этапе проектирования добавляется дополнительный шаг "создание онтологии», что также требует дополнительных затрат.

## 2. Организационные онтологии и ЭС

В качестве прикладной части данной работы предлагается рассмотреть построение ЭС продукционного типа для торговой организации с использованием организационной онтологии.

### Выбор инструментария построения

Мы считаем наиболее эффективной моделью представления знаний гибридную модель – сочетание семантической сети (в данном случае роль семантической сети выполняет онтология) и продукционных правил. Поэтому, выбор фреймворка разработки существенно упростился. Было решено использовать

Drools (JBoss Rules) [Drools] для обработки производственных правил и язык OWL вместе с библиотекой OWL API для задания обработки онтологии.

Выбор Drools обусловлен хорошей реализацией следующих возможностей. Можно использовать любую операционную систему, поддерживающую Java. Наличие Web-интерфейса упрощает работу пользователя. Поддержка DSL (Domain Specific Language) и деревьев принятия решений в формате Excel-файла (XLS) значительно облегчает создание правил и позволяет редактировать БЗ не только инженерам по разработке знаний, но и обычным пользователям. Проект находился в стадии активной разработки и поддержки, имеет открытый код.

Среди недостатков Drools отметим низкое быстродействие по сравнению с ЭС написанными на C, CLIPS и отсутствие подсистемы объяснений (кроме логирования).

Поэтому мы можем утверждать, что разработанная нами ЭС отвечает основным требованиям к ЭС нового поколения.

### **Библиотека**

Созданная библиотека состоит из двух частей. Первая содержит программный код, который интегрирует онтологию и производственную систему (считывает с помощью библиотеки OWL API файл онтологии; с помощью Javassist воспроизводит структуру классов в среде Java Virtual Machine; создает соответствующие экземпляры класса, заполняя атрибуты и устанавливая связи между экземплярами). Код второй части, перед каждой сменой в базе данных (изменение, удаление, добавление объектов) считывает метаданные онтологии, проверяет правомерность изменения и производит смену или отклоняет ее.

### **Обзор предметной области**

Рассмотрим построение ЭС для оптимизации розничной торговли некоторой организации. Ключевыми объектами которой являются:

- *Продавец (Seller)* - это организация, которая продает товары в розницу и использует данную ЕС для обслуживания продаж. Главной целью продавца является увеличение прибыли, которая зависит от оборота продаж.
- *Конкурент продавца (SellerRival)* - организация, которая является конкурентом продавца (возможно множество объектов этого класса).
- *Продукт (Product)* - товар, который доступен в продаже для *Покупателя*. Имеет тип, название и количество (единицы или килограммы).
- *Ассортимент (Assortment)* - коллекция товаров и их доступные количества у продавца или в *Конкурента* продавца.
- *Покупатель (Buyer)* - человек, осуществляющий покупки в *Продавцов*, которые оформляются в виде *Заказов*, что в свою очередь формируют *Историю Заказов*.
- *Заказ (Order)* - список товаров и его количество.
- *История Заказов (OrderHistory)* - список *Заказов* с соответствующими датами.

Структуру взаимодействия в организации описывает диаграмма, представленная на рисунке 3.

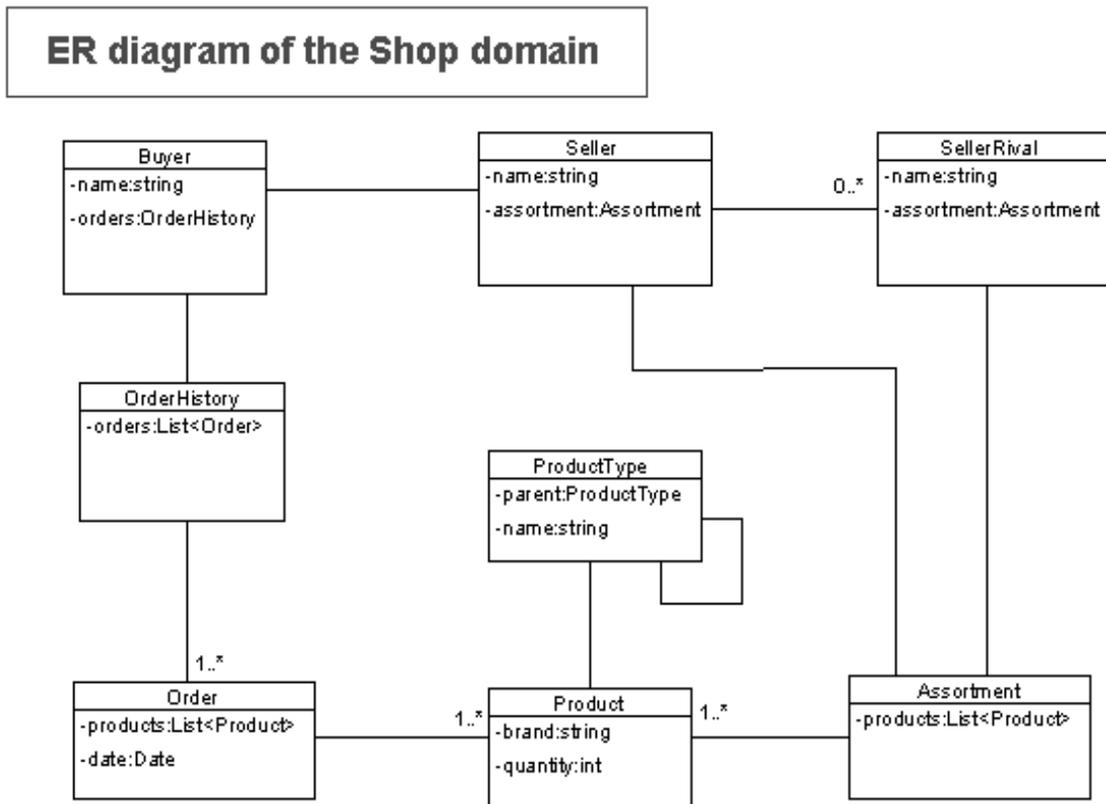


Рис. 3. Структура взаимодействия в организации.

### Сценарии использования

Покупатель заходит в магазин, выбирает определенные товары. Его выбор анализируется на основе данного Заказа, а также истории Заказов. Основываясь на этих данных, система:

- выбирает акционную скидку (пример Drools-правил):

```

rule "Apply 5% Discount"
    agenda-group "checkout"
    dialect "mvel"
    when
        $order : orderOriginal( grossTotal >= 10 && < 20 )
    then
        $order.discountedTotal = $order.grossTotal * 0.95;
        textArea.append( "discountedTotal total=" +
            $order.discountedTotal + "\n" );
    end

rule "Apply 10% Discount"
    agenda-group "checkout"
    dialect "mvel"
    when
        $order : orderOriginal( grossTotal >= 20 )
    then
        $order.discountedTotal = $order.grossTotal * 0.90;
        textArea.append( "discountedTotal total=" +
            $order.discountedTotal + "\n" );
    end
  
```

- напоминает о *Товарах* которые он, возможно, забыл купить (пример Drools-правила):

```

rule "Free Caviar Sample"
    agenda-group "evaluate"
    dialect "mvel"
    when
        $order : orderOriginal()
  
```

```

        not ( $p : Product( $type : productType &&
eval($type.get(0). equals("Caviar"))) && PurchaseOriginal( product ==
$p ) )
        $caviar : Product( $type : productType &&
eval($type.get(0)..equals("Caviar")) )
        then
            System.out.println( "Adding free caviar to cart " );
            $caviar.price.set(0,0);
            System.out.println( $caviar.price.get(0) );
            PurchaseOriginal purchase = new PurchaseOriginal($order,
$caviar);
            insert( purchase );
            $order.addItem( purchase );
        end

```

Система дает советы *Продавцу* по закупке, учитывая ассортимент конкурентов продавца и спрос на данную продукцию (*История заказов*), акциях и скидках (что надо делать, чтобы увеличить товарооборот и, соответственно, прибыль организации).

### Сценарий построения ЭС

Эксперт (в данном случае это менеджер по продажам) и инженер знаний создают организационную онтологию в Protégé. Помимо классов в OWL будут заданы и экземпляры, которые будут представлять ассортимент магазина. Инженер знаний загружает Eclipse, создает производные правила на Drools и графический интерфейс на Java. Фреймворк импортирует онтологию с Protégé в рабочую память производственной системы Drools и контролирует изменение фактов в базе знаний – наличие противоречий.

---

### Выводы

---

В данной работе было предложено улучшение классической архитектуры ЭС добавлением онтологии в ее базу знаний. Это придало ЭС следующие преимущества:

- улучшило коммуникацию между экспертами и инженерами созданием на этапе проектирования словаря терминов;
  - углубило знания о предметной области до уровня объектов и связей между ними;
  - позволило лучше контролировать противоречия, которые появляются во время эксплуатации;
  - использование языка описания онтологии OWL улучшило интероперабельность базы знаний и подготовило необходимые технологический базис ЭС для использования в семантическом вебе (Web 3.0);
- Кроме создания методологии построения и разработки архитектуры онтологических ЭС, был сделан прототип фреймворка (Drools + Javassist + OWL API). Продемонстрировано его применение. Разработанная библиотека считывает онтологию, заносит ее в базу знаний производственной системы и отслеживает изменения в базе знаний, чтобы предотвратить создание противоречий.

---

### Библиография

---

- [Gruber, 1993] Gruber T. R. A translation approach to portable ontologies. Knowledge Acquisition, 5(2):199-220, 1993
- [OWL] Web ontology Language (OWL) [http://www.w3.org/2007/OWL/wiki/OWL\\_Working\\_Group](http://www.w3.org/2007/OWL/wiki/OWL_Working_Group)
- [OpenCyc] Open Source version of top-level ontology Cyc. <http://www.cyc.com/cyc/opencyc/>
- [Cheng, 2008] Cheng Gang, Du Qingyun. The Design and implementation of ontology and rules based knowledge base for transportation. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. Vol. XXXVII. Part B2. Beijing 2008
- [Trausan-Matu, 2008] Trausan-Matu, Stefan. A Framework for an Ontology-Based Information System for Competence Management. Economy Informatics, 1-4/2008, p.105

- [Park, 2008] Park Han-Saem , Cho Sung-Bae. A Fuzzy Rule-Based System with Ontology for Summarization of Multi-camera Event Sequences. L. Rutkowski et al. (Eds.): ICAISC 2008, LNAI 5097, pp. 850–860, Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- [Zong-yong, 2007] Zong-yong Li, Zhi-xu Wang, Ai-hui Zhang, Yong Xu. The Domain Ontology and Domain Rules Based Requirements Model Checking. 2007.
- [Mark, 1993] Mark S. Fox, John F. Chionglo, Fadi G. Fadel. A Common-Sense Model Of The Enterprise. In Proceedings of the 2nd Industrial Engineering Research Conference, volume 1, pages 425-429, Norcross GA, USA, 1993.
- [Pellet] OWL-reasoner. <http://pellet.owldl.com/>
- [Protégé] OWL-editor. <http://protege.stanford.edu/>
- [Drools] Business Rules Management System. <http://www.jboss.org/drools/>
- 

### Информация о авторах

---



**Глибовец Николай Николаевич** – доктор ф.-м. н., проф., декан Факультета информатики Национального университета "Киево-Могилянська Академія", 04655, Украина, Киев, ул. Сковороды; e-mail: [glib@ukma.kiev.ua](mailto:glib@ukma.kiev.ua)

Основные области научных исследований: искусственный интеллект, облачные вычисления, WEB 3.0



**Красиков Дмитрий** – разработчик в компании Midnight Coders, Россия, e-mail: [dkrasikov@gmail.com](mailto:dkrasikov@gmail.com)

Основные области научных исследований: облачные вычисления, разработка мобильных приложений, компьютерные алгоритмы

## К ВОПРОСУ РАЗРАБОТКИ ИНФОРМАЦИОННО-СПРАВОЧНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОГО КОМПЛЕКСА ОНТОЛОГИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Палагин А.В., Петренко Н.Г., Величко В.Ю., Тихонов Ю.Л.  
Семенков В.В., Митрофанова А.Е.

**Аннотация:** В работе описана программная модель модуля информационно-справочного обеспечения, функционирующего как в составе инструментального комплекса автоматизированного построения формальных онтологий, так и в качестве отдельного приложения. В последнем случае (с точки зрения пользователя) модуль функционирует как информационно-справочная система для работы с энциклопедиями, толковыми словарями и тезаурусами в произвольных предметных областях. Формализация разработки программной модели выполнена по UML-технологии.

**Ключевые слова:** онтологический подход, инструментальный комплекс автоматизированного построения формальных онтологий, информационно-справочная система.

**ACM Classification Keywords:** D.2 SOFTWARE ENGINEERING: D.2.10 Design.

---

### Введение

---

Интеллектуальные информационные технологии стали едва ли не главным определяющим показателем развития во всех сферах научно-технической деятельности человеческого общества. Центральным их звеном является технология инженерии знаний, которая реализует процессы управления знаниями, и успехи в этом направлении во многом определяют интеллектуальный уровень и общую эффективность компьютерных систем. К сожалению, по ряду причин многие идеи направления искусственного интеллекта сегодня так и остаются не реализованными как полностью, так и частично. Одной из причин является недостаточная эффективность большинства современных компьютерных систем: последние в процессе управления знаниями должны оперировать не примитивными данными (в традиционном понимании), а знаниями, представленными в соответствующей формальной теории. Разработка и использование новых информационных технологий, таких как GRID-вычисления, многоагентные системы и др., со своей стороны, также требует знание-ориентированного подхода. При этом следует отметить необходимость междисциплинарных научных исследований и соответствующего инструментария их компьютерной поддержки. Со своей стороны методология системной интеграции должна включать, в том числе, формальную теорию (или теории) представления информации, которая обрабатывается на разных стадиях, методологию автоматизированного построения баз знаний предметных областей, архитектуры компьютерных систем новых поколений и многое другое.

Сказанное выше в равной степени относится и к “электронному образованию” вообще, и к созданию электронных курсов (ЭК) предметных дисциплин (ПдД). Онтолого-ориентированная автоматизированная система разработки (общезначимых) ЭК по различным ПдД должна включать в себя СУБД, являющуюся библиотекой справочной информации (БСИ). Помимо того, что основная функция такой СУБД – поддержка процесса проектирования онтологии заданной предметной области в инструментальном комплексе онтологического назначения (ИКОН) [1], БСИ является одним из основных блоков при наполнении ЭК. Таким образом, задача разработки БСИ является актуальной.

## Постановка задачи

На современном этапе перехода к стадии информационного общества происходит содержательное наполнение парадигмы “электронного образования”, направленное на улучшение качества и доступности образования, расширение его форм и методов, интеграцию в общеевропейские образовательные программы [2].

В настоящее время осуществляется широкомасштабный процесс информатизации образования, однако педагогическая эффективность ЭК остается низкой, так как разработка технического задания (ТЗ) спецификации и требований к ЭК не имеет четкой регламентации. Внедрение ЭК в образовательный процесс не носит системного характера, не опирается на четкий аксиоматический и семантический базис общей логической теории и междисциплинарных связей, не учитывает возможности развития ЭК [3]. Только с использованием базовой системы категорий можно дать основу для построения онтологической модели действительности на том уровне, который отражён современной наукой [4], т.е. построить адекватный ЭК для данной ПдД. Онтология как представление концептуальной системы с помощью логической теории и как словарь, используемый логической теорией, является естественной составляющей системы автоматизированного построения ЭК.

Одним из самых трудоемких процессов при создании электронных курсов является построение библиотеки справочной информации ЭК, содержащей концептуальные знания ПдД.

ИКОН, предназначенный для автоматизированного построения онтологических баз знаний предметных областей (ПдО), предоставляет возможность автоматизации этого процесса и делает возможным построение онтолого-ориентированной автоматизированной системы разработки (общезначимых) ЭК по различным ПдД. На рис.1 представлена обобщенная архитектура ИКОН, при этом хранилища информации и управление их функционированием показано детально.

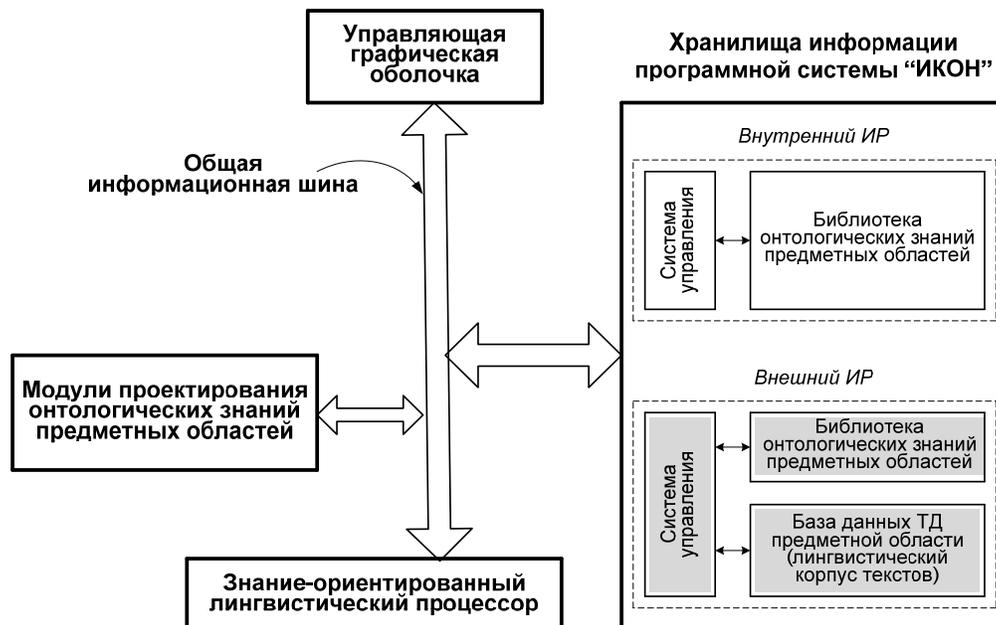


Рис. 1. Обобщенная архитектура ИКОН

ИКОН выполняет анализ и обработку больших объемов неструктурированных данных, в частности лингвистических корпусов текстов на украинском и/или русском языке, извлечение из них предметных

знаний с последующим их представлением в виде системно-онтологической структуры или онтологии предметной области.

Выделенный блок “*Внешний информационный ресурс*” создается на основе первоисточников. Создание “*Внешнего информационного ресурса*” - (электронные коллекции (ЭлК) энциклопедических словарей, толковых словарей и тезаурусов) предшествует процессу автоматизированного построения онтологии ПдО.

БСИ состоит из системы управления (СУ) и самой библиотеки энциклопедических знаний. СУ реализует функции, необходимые для обработки различных запросов пользователя и инженера по знаниям.

Модуль БСИ может функционировать в двух режимах: 1) как самостоятельное приложение; 2) в составе ИКОН. В первом режиме пользователь может самостоятельно наполнять систему новыми концептуальными знаниями, или добавлять к уже имеющимся в системе энциклопедии, толковые словари и тезаурусы по интересующим его ПдО. Во втором режиме основной функцией модуля БСИ является информационная поддержка работы модуля формирования множества понятий ИКОН.

---

### **Функциональная модель модуля БСИ**

---

Онтология ПдО и, следовательно, онтология ПдД является открытой, общезначимой системно-онтологической структурой, доступной для адаптации к конкретному кругу задач. Как следствие, формальная онтология ПдД допускает многократное использование для различных наборов типовых задач (использование в учебных дисциплинах для разных специальностей, факультетов). Другими словами, один раз построенная формальная онтология ПдД пригодна для построения обширного набора ЭК. *Электронные коллекции энциклопедий, толковых словарей и тезаурусов* являются (по определению) общезначимыми ресурсами знаний в заданном домене прикладных областей.

Основные функции, выполняемые с помощью модуля БСИ, следующие:

- вывод описания терминов (понятий) на русском и/или украинском языке;
- связь с внешней БД;
- формирование связей между понятиями;
- поиск понятий;
- наполнения и организация словарей.

Для проектирования функциональной модели использована общепринятая стандартная методология и язык функционального моделирования UML (англ. Unified Modeling Language – унифицированный язык моделирования) – язык графического описания для объектного моделирования в области разработки программного обеспечения [6].

UML технологии стали основой для разработки и реализации во многих инструментальных средствах: в средствах визуального и имитационного моделирования, а также в CASE-средствах самого различного целевого назначения. Более того, заложенные в языке UML потенциальные возможности могут быть использованы не только для объектно-ориентированного моделирования систем, но и для представления знаний в интеллектуальных системах, которыми, по существу, являются перспективные сложные программно-технологические комплексы. Принимая во внимание все преимущества языка UML, на его основе была спроектирована функциональная модель модуля БСИ.

Функциональная модель ИНИТ представляет собой набор диаграмм трех видов:

- диаграмма вариантов использования (рис. 4);
- диаграмма активности (рис. 5);
- диаграмма классов (рис. 6).

Целями разработки диаграммы вариантов использования являются:

1. Определить общие границы и контекст моделируемой системы на начальных этапах проектирования модуля цифровой БСИ;
2. Сформулировать общие требования к функциональному поведению проектируемого модуля цифровой БСИ;
3. Разработать исходную концептуальную модель модуля цифровой БСИ для ее последующей детализации в форме логических и физических моделей.

Суть данной диаграммы состоит в следующем: проектируемая система представляется в виде множества сущностей или акторов (actor), взаимодействующих с системой с помощью так называемых вариантов использования. При этом актором или действующим лицом называется любая сущность, взаимодействующая с системой извне. Это может быть человек, программа или любая другая система, которая может служить источником воздействия на моделируемую систему. В свою очередь, вариант использования служит для описания сервисов, которые система предоставляет актору.

Для использования модуля БСИ в системе онтолого-ориентированной автоматизированной подготовки ЭК добавляется возможность экспорта в словарь ЭК.



Рис. 4 Диаграмма вариантов использования модуля БСИ

С помощью диаграммы активности (рис. 5) можно изучать поведение модуля цифровой БСИ с использованием моделей потока данных и потока управления. Диаграмма активности отображает некоторый алгоритм, описывающий жизненный цикл объекта, состояния которого могут меняться.

Диаграмма активности, в отличие от блок-схемы, имеет более широкую нотацию. Например, на ней можно указывать состояния объектов.

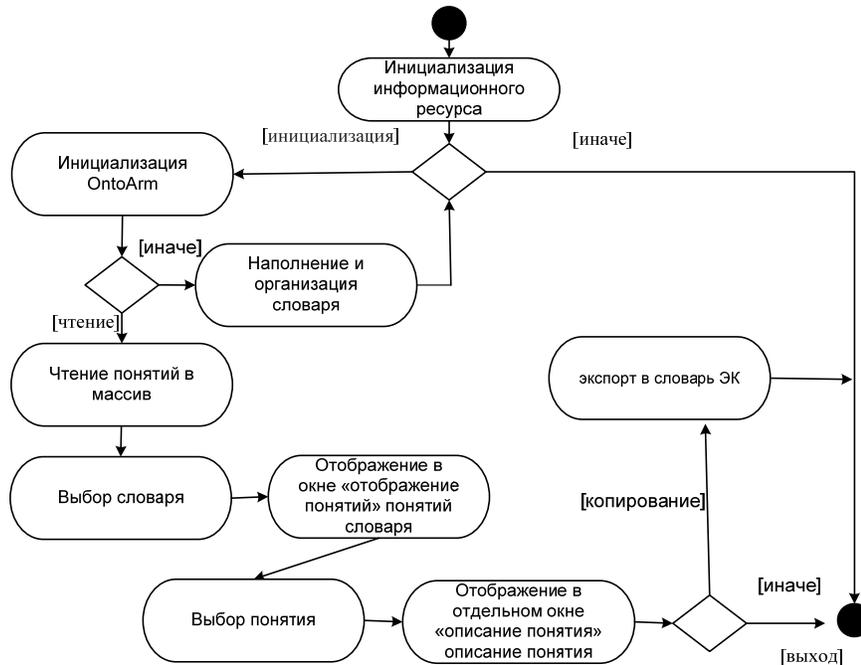


Рис. 5. UML-диаграмма активности программной модели модуля БСИ

Диаграмма классов описывает структуру объектов программной модели информационного ресурса: их индивидуальность, отношения с другими объектами, атрибуты, функции и процедуры. Модель классов создает контекст для диаграмм состояний и взаимодействия. На рис. 6 представлен фрагмент UML-диаграммы классов программной модели модуля БСИ (класс Dictionary - основной класс программы, реализует логику программы). Остальные классы: класс DictionaryItem, класс DictMap.

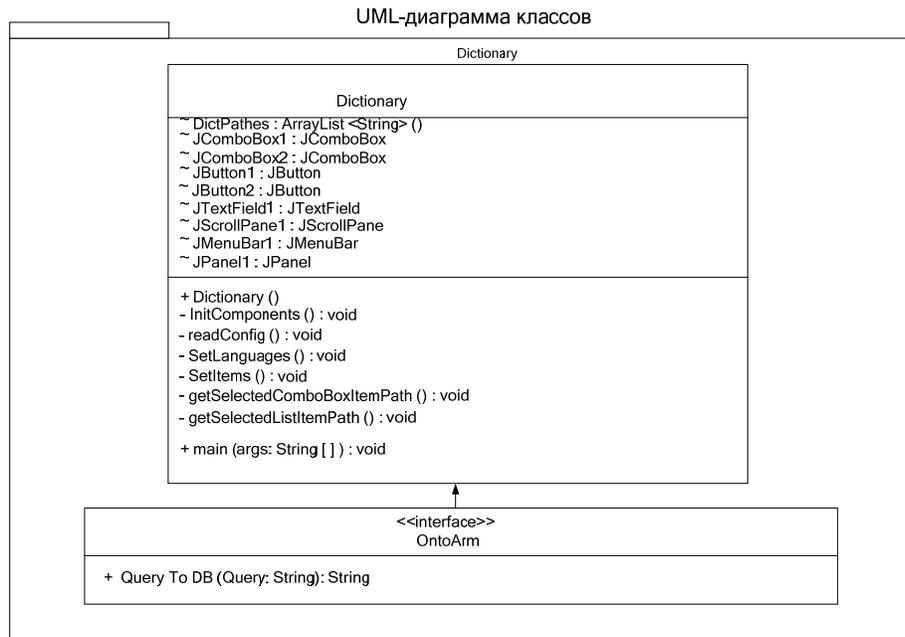


Рис. 6. Фрагмент UML-диаграммы классов программной модели модуля БСИ.

### Описание работы программного модуля БСИ

- В начале работы модуля БСИ на экране появляется главное окно программы, в котором находится: строка меню (MenuBar) – содержит подменю Файл, Правка, Вид, Помощь, выпадающее меню «Выбор словаря», выпадающее меню снабжено всплывающей подсказкой «Выбор словаря» (ComboBox – строка выбора словаря), из которого можно выбрать необходимый тематический словарь, области для отображения списка ключевых терминов (List) – окно «общий список». Также есть кнопка Поиск и к ней строка набора искомого текста.
- После ввода термина в строку поиска и нажатия кнопки «Поиск» в окне «общий список» первой строкой будет искомое понятие.
- Для выбора тематического словаря, необходимо нажать на выпадающее меню «Выбор словаря», откроется весь список имеющихся словарей, после это необходимо выбрать нужный словарь – в результате в окне «Общий список» отобразится содержимое выбранного словаря в алфавитном порядке.
- Для получения описания термина нужно сделать двойной клик на нем, в результате откроется новое окно «Описание термина» в котором отобразится словарное описание термина на русском и украинском языках.
- Для экспорта понятия и его описания в файл словаря ЭК нужно нажать на кнопку экспорта, добавленную в окно модуля БСИ.

Для реализации хранения и обработки информации со словарей используется оригинальный метод организации доступа к информации и программное обеспечение - OntoArm [5].

На рис. 2 представлено главное окно программного модуля БСИ.

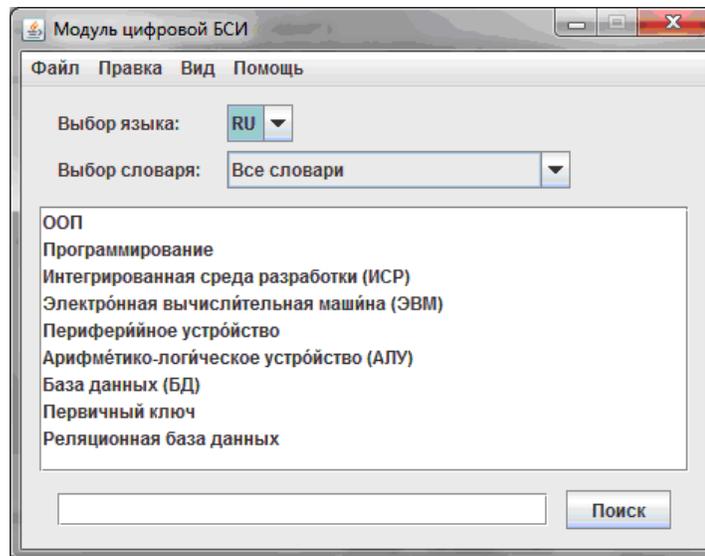


Рис.2. Главное окно модуля БСИ

Для системы автоматизированной подготовки ЭК в это окно добавляется кнопка «Экспорт».

Для выбора языка отображения имен словарей и содержащихся в них терминов используется выпадающий список «Выбор языка». Эта функция может быть использована при создании ЭК. Для выбора тематического словаря используется выпадающий список «Выбор словаря». Для вывода описания термина используется двойной щелчок кнопкой мыши по имени термина. Режим наполнения

выполнен в виде отдельной программы, которая позволяет вводить термины с клавиатуры или извлекать их из лингвистических корпусов оцифрованных текстов.

---

## Выводы

---

В работе предложена программная модель цифровой библиотеки справочной информации и модуля управления библиотекой, входящих в оригинальный инструментальный комплекс онтологического назначения, дополненная средствами обеспечения функционирования БСИ как отдельного приложения. Определения и толкования библиотеки участвуют в формировании онтологии ПдД. Приведены UML-диаграммы, описывающие функциональную модель программного модуля БСИ ИКОН.

Электронные библиотеки являются общезначимыми ресурсами знаний в заданном домене близких прикладных областей и в этом смысле они инвариантны при адаптации и оптимизации онтологической системы к целевому применению, в частности, при адаптации к задаче автоматизации разработки ЭК по определенной предметной дисциплине.

Предлагаемая программная модель предназначена для поддержки процесса онтолого-ориентированного автоматизированного проектирования ЭК заданной предметной дисциплины в рамках архитектурно-структурной организации ИКОН.

---

## Благодарности

---

Работа опубликована при финансовой поддержке проекта **ITHEA XXI** Института информационных теорий и приложений FOI ITHEA Болгария [www.ithea.org](http://www.ithea.org) и Ассоциации создателей и пользователей интеллектуальных систем ADUIS Украина [www.aduis.com.ua](http://www.aduis.com.ua).

---

## Библиография

---

1. Палагин А.В. Онтологические методы и средства обработки предметных знаний / А.В. Палагин, С.Л. Крывый, Н.Г. Петренко. – [монография] – Луганск: изд-во ВНУ им. В. Даля, 2012. – 323 с.
2. Бухарестская декларация (общеевропейская конференция в Бухаресте по подготовке всемирной встречи на высшем уровне по вопросам информационного общества). – Доступно на [www.itu.int/dms\\_pub/itu-s/md/03/wsispc2/doc/S03-WSISPC2-DOC-0005!!MSW-R.doc](http://www.itu.int/dms_pub/itu-s/md/03/wsispc2/doc/S03-WSISPC2-DOC-0005!!MSW-R.doc).
3. А.В. Палагин, Ю.Л. Тихонов, Н.Г. Петренко, В.Ю. Величко. Об онтологическом подходе в образовании //Сучасні тенденції розвитку інформаційних технологій в науці, освіті та економіці. (м. Луганськ, квітень 2011.)
4. Палагін О.В., Петренко М.Г. Модель категоріального рівня мовно-онтологічної картини світу // Математичні машини і системи. – 2006. – №3. – С. 91–104
5. К вопросу естественно-языковой адресации. Крассимира Иванова, Виталий Величко, Крассимир Марков // Problems of Computer Intellectualization. Kyiv, Ukraine - Sofia, Bulgaria, - 2012. (В печати)
6. C. Marshall, Enterprise Modelling with UML, ISBN 0-201- 43313-3, Addison-Wesley, Reading, MA, 2000.

---

## Информация об авторах

---



**Палагин Александр Васильевич** – академик НАН Украины; заместитель директора Института кибернетики имени В.М. Глушкова НАН Украины; Киев-187 ГСП, 03680, просп. акад. Глушкова, 40; e-mail: [palagin\\_a@ukr.net](mailto:palagin_a@ukr.net)

Основные области научных исследований: системная интеграция трансдисциплинарных научных знаний, онтологический инжиниринг



**Петренко Николай Григорьевич** – к.т.н., старший научный сотрудник, Ин-т кибернетики им. В.М. Глушкова НАН Украины, Киев-187 ГСП, 03680, просп. акад. Глушкова, 40; e-mail: petrng@ukr.net

Основные области научных исследований: методология и инструментальные средства автоматизированного проектирования онтологий предметных областей, системная интеграция трансдисциплинарных научных знаний



**Величко Виталий Юрьевич** – к.т.н., старший научный сотрудник, Ин-т кибернетики им. В.М. Глушкова НАН Украины, Киев-187 ГСП, 03680, просп. акад. Глушкова, 40; e-mail: velychko@aduis.com.ua

Основные области научных исследований: индуктивный логический вывод, обработка естественно-языковых текстов.



**Тихонов Юрий Леонтьевич** – к.т.н., доц., доцент кафедры ИТС, Луганского национального университета им. Тараса Шевченко; e-mail: t2003i@mail.ru

Основные области научных исследований: разработка онтологизированных электронных курсов

**Семенков Виталий Владимирович** – ассистент кафедры ИТС, Луганского национального университета им. Тараса Шевченко; e-mail: semenkov@mail.ru

Основные области научных исследований: методы и алгоритмы построения СУБД справочного характера

**Митрофанова Анна Евгеньевна** – Ин-т кибернетики им. В.М. Глушкова НАН Украины, Киев-187 ГСП, 03680, просп. акад. Глушкова, 40; e-mail: amitrofanova@inbox.ru

Основные области научных исследований: методы и алгоритмы построения толковых словарей онтологического характера

## ОНТОЛОГОУПРАВЛЯЕМАЯ СИСТЕМНАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ

Юрий Чаплинский, Елена Субботина

**Abstract:** Показана актуальность использования онтологического подхода к описанию технологии системной оптимизации. Описаны ситуации и этапы системной оптимизации. Представлена структура знаний для описания системной оптимизации. В работе определена структура онтологического описания принятия решений в рамках системной оптимизации. Рассмотрено множество онтологий, которое реализует описание задач принятия решений и процесс их решения. Представлены основные характеристики составных частей онтологоуправляемого принятия решений на основе системной оптимизации.

**Keywords:** системная оптимизация, принятие решений, онтология

**ACM Classification Keywords:** H.1 Models and Principles; H.4.2 Types of Systems – Decision support; H.4.2 Information Systems Applications: Types of Systems: Decision Support; H.1.1 Systems and Information; Knowledge Representation

---

### Введение

Комплексная и системная поддержка принятия решений сегодня является доминирующей динамической деловой средой. В такой среде процессы и системы реализуются для координации распределенных организационных процессов принятия решений. Деятельность как отдельных людей, так и предприятий все в большей степени зависит от имеющихся у них знаний как одного из самых ценных ресурсов и способности их эффективно использовать. В этих условиях на уровне предприятий характерными чертами являются: интеграция научных знаний, рост количества междисциплинарных проблем, комплексность проблем и необходимость их изучения в единстве технических, экономических, социальных, психологических, управленческих и других аспектов; усложнение рассматриваемых проблем и объектов; динамичность ситуаций принятия решений; дефицитность ресурсов; повышение уровня стандартизации и автоматизации элементов производственных и управленческих процессов; глобализация конкуренции, производства, кооперации, стандартизации и т.д.; повышение роли человеческого фактора в управлении и др. Учет таких особенностей позволяют выделить основные моменты, необходимые для качественного выполнения подготовки и принятия решений: системность; альтернативность; многокритериальность; несовместность (противоречие); учет мнений аналитиков и экспертов.

С другой стороны принятия решений в системах управления описываются взаимосвязанными задачами. При чем, как правило, такие задачи оказываются несовместными из-за их структуры, которая сложилась, и ограничивающих факторов, так называемыми "узкими местами", к которым относят объемы финансирования; наличие достаточных человеческих ресурсов, производственные возможности предприятий, нормативные или фактические часовые этапы жизненного цикла производства продукции и т.д. Таким особенностям задач принятия решений удовлетворяет технология системной оптимизации [Глушков, 1980].

Поэтому весьма актуальна поддержка принятия решений в проблемных ситуациях с использованием систем поддержки принятия решений (СППР), разработанных на принципах инженерии знаний в рассматриваемой предметной области. Инженерия знаний определяется как совокупность методов и средств извлечения, накопления, обработки, представления и синтеза знаний. Кроме того, в виду слабой

формализованности решаемых в СППР задач, очень важно иметь детальное описание предметных и проблемных областей, в рамках которых лицо, принимающее решение (ЛПР), решает свои задачи.

Для обеспечения такого принятия решений необходимы соответствующие средства, отражающие упомянутые особенности принятия решений и позволяющие идентифицировать, анализировать и манипулировать всем многообразием объектов и отношений, имеющих в системе управления.

Реализация информационных технологий, которые базируются на использовании знаний, дает возможность внести в организацию процесса принятия решений ряд важных свойств, прежде всего дает возможность перейти к непрерывному анализу ситуаций и планированию действий, обеспечивает проведение коррекции процесса принятия решений без нарушения технологической целостности и взаимосвязанности, допускает многовариантность вариантов решений и возможность их получения по разным критериям и моделям, строит взаимосвязанную систему подготовки и выбора решений, как для данной проблемы, так и по взаимодействию с другими комплексами проблем и задач, позволяет принимать решение с учетом последствий их реализации. При этом в рамках таких технологий удастся учесть взаимозависимость решений, негативные последствия реализации, ограничения поведения, информационные ограничения, время и среду, которая постоянно изменяется, определенность, риск, неопределенность и т. д.

---

### **Системная оптимизация и принятие решений**

---

Под предметной областью будем понимать фрагмент реальной (виртуальной) действительности, которая представляется некоторой совокупностью сущностей, которые принадлежат ему. Как правило, задачи принятия решений по дисциплинарному признаку формулируются как монодисциплинарные (внутри отдельной научной дисциплины или прикладной области) или как многодисциплинарные (на стыке двух и больше дисциплины или области). Поэтому будем рассматривать проблемную область принятия решений как множество предметных областей и задач, которые решаются в них.

Принятия решений можно представить в виде многоуровневой иерархической системы, которая состоит из совокупности задач, которые находятся на разных уровнях иерархии и отвечают за определенную функцию или деятельность и связаны соответствующей логической структурой. Каждая задача, которая отвечает соответствующему направлению(ям) деятельности, может иметь подзадачи. Задачи и подзадачи описываются соответствующими формализованными задачами, которые описываются комплексами взаимосвязанных моделей. Формализованные модели реализуются соответствующими методами, алгоритмами. Сам процесс будем рассматривать как систему, которая состоит из некоторого набора подсистем (этапов) и их элементов (процедур, действий, операций), которые взаимодействуют между собой, количество и состав которых может варьироваться в зависимости от условий и решаемых задач.

При этом интеграция решений, которые принимаются, в рамках подсистем достигается за счет принятия согласованных решений в функциональных задачах, а интеграция управления всей системой в целом будет получена путем согласования управляющих действий между связанными подсистемами, которые принадлежат одному или разным уровням.

Реализация такого подхода происходит через взаимодействие соответствующих систем поддержки принятия решений (СППР), которые реализуют целостную систему принятия решений и могут функционировать распределено [Волкович, 1982].

Отметим, что между разными подсистемами, задачами (подзадачами), моделями возможны разные виды взаимодействия. Такое взаимодействие может реализовываться на основе отношений прямого подчинения; информационного обмена; функционального подчинения; функционального согласования и

координации. Это предопределяет между соответствующими объектами приоритеты взаимодействия, которые описываются иерархией или временем выполнения.

Наличие в задачах принятия решения собственных целей и приоритетов взаимодействия приводит к разным ситуациям взаимодействия между соответствующими задачами. Эти ситуации определяются взаимным расположением областей относительно друг к другу.

Рассмотрим модель локальной задачи принятия решения в многоуровневой организационной системе, которая имеет следующий общий вид:  $M_i = \{C^x, X_0, X(u^{i-1}), X(u^i), U(x), U(x^{i+1})\}$ , где  $i$  - индекс рассматриваемой задачи ( $i \in I = \overline{1, M}$ ),  $C^x$  - множество оценок выбора решения задачи  $M_i$ ;  $X_0$  - область возможных решений, которая определяется локальными ограничениями задачи;  $X(u^{i-1})$  - область желаемых решений, которая определяется ограничениями, называемые директивными;  $X(u^i)$  - область решений, которая определяется с учетом компромиссных связей с задачами, которые владеют одинаковыми с данной задачей приоритетами взаимодействия;  $U(x)$  - область переменных  $u$ , которая зависит от решения  $x^*$  данной задачи;  $U(x^{i+1})$  - область переменных, которые характеризуют влияние данной задачи на связанные с ней задачи с меньшим приоритетом взаимодействия. Наличие в задачах принятия решения локальных целей и приоритетов взаимодействия приводит к разным ситуациям взаимодействия между соответствующими задачами. Если допустимых решений в локальной задаче не существует, то возникает необходимость в целенаправленном изменении области  $X_0$  или  $X(u^i)$  для выполнения требований из  $X(u^{i-1})$ , где  $u^{i-1}$  получено при решении более приоритетных задач. Такая задача коррекции решается с помощью технологии системной оптимизации.

Таким образом, процесс принятия решений может состоять из последовательности этапов, каждый из которых включает следующие элементы: определение решений локальных задач с учетом результатов, полученных на предыдущих этапах; согласование решений связанных локальных задач.

Первый этап заключается в анализе моделей локальных задач. Если допустимых решений в локальной задаче не существует, то возникает необходимость в целеустремленном изменении области  $X_0$  для выполнения директивных требований из области  $X(u^{i-1})$ . Такая задача коррекции  $X_0$  интерпретируется как задача системной оптимизации. Суть которой заключается в целеустремленном изменении моделей принятия решений для достижения совместности и в выборе наиболее приемлемого решения поставленной задачи [Чаплинский, 2007].

Таким образом решение локальной задачи (локальное допустимое решение) будет найдено непосредственно или будет получено в результате решения задачи системной оптимизации, то есть

$$X_0 \cap X(u^{i-1}) \neq \emptyset.$$

Поскольку решение определено без учета области связей  $X(u^i)$ , то значение параметра  $u$  определены независимо в каждой из связанных задач и могут не сходиться. Тогда согласование решений заключается в нахождении таких локально допустимых (оптимальных, компромиссных) решений, для которых значения параметров связи равны. Возможные подходы к реализации алгоритмов согласования решений по параметрам связи приведены в [Волкович, 1990].

В случае отсутствия таких согласованных решений необходимо коррекции моделей связанных задач для достижения совместности в пространстве параметров, которая может быть возведена к задаче системной оптимизации. Основной проблемой при этом является выбор направления и величины коррекции областей  $X_0, X(u^{i-1})$ .

Полученное решение определит значение параметра  $u^{i+1}$ , что характеризует влияние данной задачи на связанные с ней задачи с меньшим приоритетом.

В общем виде принятия решений в рамках технологии системной оптимизации может быть описано набором следующего вида:  $SO = \langle M, R(M), A(M), F(M), F(SO) \rangle$ , где  $M = \{M_1, \dots, M_n\}$  – множество прикладных, предметно-формальных и формальных моделей, которые описывают определенные этапы системной оптимизации;  $R(M)$  – множество правил выбора необходимой модели или совокупности моделей для выполнения этапа, то есть правил, которые реализуют отражение  $R(M): S \rightarrow M$ , где  $S$  – множество возможных ситуаций (состояний), или  $S' \in M$ , где  $S'$  – некоторое множество ситуаций (состояний), при возникновении которых происходит изменение модели;  $A(M) = \{A(M_1), \dots, A(M_n)\}$  – множество методов решения задач на основе моделей  $M_i$ ,  $i = 1, \dots, n$ ;  $F(M) = \{F(M_1), \dots, F(M_n)\}$  – множество правил модификации моделей  $M_i$ ,  $i = 1, \dots, n$ . Каждое правило  $F(M_i)$  определяет отображение  $F(M_i): S'' \times M_i \rightarrow M'_i$ , где  $S'' \subseteq S'$ ,  $M'_i$  – некоторая модификация модели  $M_i$ ;  $F(SO)$  – правило модификации  $SO$  – ее базовых конструкций  $M$ ,  $A(M)$ ,  $R(M)$ ,  $F(M)$  и, возможно, самого правила  $F(SO)$ , т.е.  $F(SO)$  реализует целый ряд отражений (комплексное отражение)  $F(SO): S''' \times M \rightarrow M'$ ,  $S''' \times A(M) \rightarrow A'(M)$ ,  $S''' \times R(M) \rightarrow R'(M)$ ,  $S''' \times F(M) \rightarrow F'(M)$ ,  $S''' \times F(SO) \rightarrow F'(SO)$ , где  $S''' \subseteq S$ ,  $S''' \cap S'' = \emptyset$ ,  $S''' \cap S' = \emptyset$ , то есть правила модификации этого типа используются в ситуациях, когда имеющихся множеств моделей, методов, правил выбора и правил модификации недостаточно для поиска решения (решений) в определенной ситуации.

Таким образом, представление знаний о решении задачи с помощью технологии системной оптимизации необходимо описать:

- модели, которые описывают исходную задачу и возникают в процессе реализации технологии системной оптимизации;
- методы и алгоритмы решения сформированных моделей;
- процесс решения задачи с помощью технологии системной оптимизации Данный процесс реализуется через определенные этапы [Чаплинский, 2007].

Отметим, что модель задачи, методы и алгоритмы решения задач могут быть не только из области математического программирования (формализованных задач), но и описываться в области информационных и логических моделей.

Таким образом, для реализации системной оптимизации необходимо описать и использовать подходы и средства для

- формирования решений на основе данных. Здесь рассматривается область детализированных данных, т.е. поиск информации с использованием средств СУБД как в отдельных базах данных, так и в общем хранилище данных, область агрегированных показателей, т.е. сбор в хранилище данных соответствующей информации, ее обобщение и агрегация, гиперкубическое представление и многомерный анализ (оперативная аналитическая обработка данных (OLAP)), область закономерностей, т.е. поиск функциональных и логических закономерностей в накопленной информации, построение моделей и правил, которые объясняют найденные аномалии и/или прогнозируют развитие некоторых процессов (интеллектуальная обработка данных (Data Mining));

- формирования решений на основе логических моделей и правил (принятие решений на основе продукционных моделей, семантических сетей и т. д.);
- формирования решений на основе математических моделей (оптимизация через использование аналитических формул, оптимизация через алгоритмы, оптимизация выбора из множества альтернатив и т. д.);
- формирования решений на основе типичных решений или прецедентов (типичные решения и модели, прецеденты проблемных ситуаций).

При этом необходимо рассматривать разные аспекты принятия решений [Смирнов, 2002]. Такими могут быть, например, поведенческий аспект (описывает ситуации принятия решений и порядок, в котором рассматриваются задачи и в котором выполняются соответствующие действия), организационный аспект (описывает структуру среды принятия решений, ресурсы и средства и определяет организационную структуру, в которой решение задачи выполняется или будет выполняться, и отношения между элементами структуры), информационный аспект (описывает информацию, которая используется при принятии решений, как она представляется и как она может применяться).

---

### **Онтологии для описания технологии системной оптимизации**

---

Современным инструментом для создания такого описания технологии системной оптимизации являются онтологии, представляющие собой компьютерную форму представления знаний о проблемных областях (ПрО) в виде семантических информационно-логических сетей взаимосвязанных объектов, где в качестве главных элементов выступают понятия (или классы объектов, наблюдаемых в ПрО) с их свойствами и отношения между ними (объектами, классами объектов). Онтологии выполняют интегрирующую функцию, обеспечивая общий понятийный базис в процессах принятия решений и единую платформу для объединения разнообразных информационных систем в ПрО. Каждый из элементов принятия решений может обладать свойствами, значениями. Отношения определяют связь между двумя терминами и указывают на термины или свойства и объекты знаний. При этом онтология должна охватывать весь перечень терминов и определений, которые дают возможность описания и обработки составляющих: организационной структуры; функциональной структуры; функциональных задач; технологий коммуникации и принятия решений.

Как правило, онтология описывается четверкой вида  $\langle C, D, R, A \rangle$ , где  $C$  - множество понятий конкретной предметной или проблемной области;  $D$  - множество определений понятий;  $R$  - множество отношений (связей) между понятиями;  $A$  - множество аксиом [Guriano, 1997].

То есть, онтология является системой, которая описывает структуру определенной проблемной области и состоит из множества классов понятий, связанных отношениями, их определений и аксиом, которые задают ограничения на интерпретацию этих понятий в рамках данной проблемной области.

Область принятия решений будем рассматривать как многоуровневую структуру, которая включает область проблем, область моделей, область метода и область реализаций. Область принятия решений можно декомпозировать на элементарные объекты, каждый из которых описывается совокупностью атрибутов. В рамках такого рассмотрения необходимо определить понятия и конструкции, которые определяют природа, структура и представление процесса формирования и принятия решений и соответствующих составных областей, которые описывают такой процесс. Такие области определяют четыре уровни рассмотрения проблемы принятия решений.

Самый верхний уровень отвечает проблеме. Другие уровни - формирование и реализация модели, разработка и выполнение метода и реализация. Уровни связываются друг с другом из-за отношения: "представление/ограничения". Проблема - это задача, что характеризуются существенностью,

необходимостью, достаточностью содержания, множественностью возможных способов решения и вариантноностью результатов. Проблема определяет постановку задачи принятия решений, которая базируется на семантической основе и определяет требования для разработки модели. Модели используют систему понятий и формулируются, чтобы представить проблемную ситуацию или задачу некоторым определенным языком. Модели состоят из предложений или операторов, которые выражают отношение между понятиями или терминами. Модели реализуются и используются через методы. Методы определяют процессы принятия решений на основе построенной модели и обеспечивают направление решения задачи. Для использования метода необходимо знать, как метод был спроектирован, для чего, почему, где и когда. Описание метода определяет контексты, в которых метод может быть использоваться. Методы в широком смысле представляются через схемы и сценарии, методы в узком смысле (определенные методы) и соответствующие алгоритмы. Реализация определяет, как, какими средствами, в какой среде модели или методы могут быть реализованы в СППР.

Онтологическое представление предназначено для описания иерархии задач и связей между задачами, которые определяют порядок и условия их выполнения: объединение, выбор, порядок.

Онтологическое представление может быть расширено рядом дополнительных возможностей: задача взаимодействия (задача взаимодействия связана с логикой процесса принятия решений и предназначена для автоматизации функций управления наборами начальных и результирующих данных); начальные и результирующие данные, которые необходимы для установления связи между элементами модели, этапами, задачами с учетом логики взаимодействия.

При этом отношения рассматриваются через, например, задача - отношения - объект, задача - отношения - значения, объект - отношения - значения, значения - отношения - свойство.

Онтологическое представление описывает множества возможных состояний и переходов из состояния в состояние. К таким характеристикам относим:

- переменные задач. Переменные определяют динамический контекст задач, который формируется в процессе ее выполнения. Переменные могут хранить промежуточные результаты процесса принятия решений и влиять на сценарии выполнения задач. Типами переменных могут быть: логические, символьные, целочисленные, действительные и дискретные. Переменные определяются разработчиками моделей и могут содержать множество допустимых значений для каждого типа данных. Дискретные данные могут принимать одно из множеств значений, которые относятся к этому типу.
- состояние задачи. Состояние может принимать соответствующие значения, например, при анализе случаев взаиморасположения областей [Чаплинский, 2007]: полное согласование, директивные требования не согласуются с целями задачи, требования лишь частично согласуются с целями задачи.
- правило выполнения задач является парой вида: <условие действие>. Действие является набором инструкций, которые выполняются только в том случае, если условие истинно. В условиях указываются значения атрибутов задач и переменных, в зависимости от значений которых производятся действия: изменение значений атрибутов задач и переменных, вызовы функций анализа или функций логики взаимодействия.

Для представления процессов (этапов) технологии системной оптимизации используются: событие, действие, процесс, подпроцесс.

При этом онтология позволяет представить принятие решений, включая составляющие и взаимосвязи между элементами процесса принятия решений, и используются при формировании и выборе решений и для спецификации горизонтальных/вертикальных связей между задачами, моделями, методами, реализациями и разными слоями принятия решений. Для этого все знания, которые описывают принятие

решений, рассматриваются в разрезе знаний, которые описывают контекст, и знаний, которые описывают контент. Контекстные знания описывают связь задачи (этапа) с другими задачами (этапами) технологии, а контентные знания описывают содержимое задачи (этапа).

Таким образом, под онтологией для представления задач принятия решений и процесса принятия решений в рамках системной оптимизации будем понимать взаимосвязанное множество онтологий, которое представляет собой многоуровневую ассоциативную структуру следующего вида:

$O = \langle O_{meta}, O_{core}, O_{cnxt}, \{O_{DM}\}, O_R, O_{user}, Inf \rangle$ , где  $O_{meta}$  – метаонтология;  $O_{core}$  – базовая онтология;  $O_{cnxt}$  – контекстная онтология;  $\{O_{DM}\}$  – множество онтологий представления процесса принятия решений, которое включает представления задач и их решения на уровне проблемной области, онтологии предметно-формального и формального представления и реализаций этого процесса;  $O_R$  – онтология реализаций, которая включает описание программного обеспечения для поддержки принятия решений;  $O_{user}$  – онтология представления пользователя и взаимодействия с ним;  $Inf$  – модель машины вывода, которая ассоциируется с множеством онтологий  $O$ .

Метаонтология рассматривается как интегрирующая компонента. Поскольку при принятии решений используются знания из разных предметных областей, то одним из заданий метаонтологии есть межпредметная интеграция, как базу для нахождения рационального и адекватного решения задачи принятия решений. Сущностями метаонтологии являются такие понятия, как объект, атрибут, значение, отношение и т. п., например, описывать метаинформацию на основе модели Захмана [Zachman, 2008].

Цель базовой онтологии  $O_{core}$  заключается в том, чтобы обеспечить ключевые понятия и конструкции для того, чтобы определить, понять, структурировать и представить основные принципы области принятия решений, в рамках которой реализуется решение поставленной задачи. Базовая онтология обеспечивает общие понятия, из которых все другие понятия могут быть получены конкретизацией и/или специализацией. При этом определяются понятия, которые нужны, чтобы описать объекты принятия решений через понятие, признак и объект ссылки. В рамках данной онтологии возможна конкретизация понятия и определения их семантических значений. Также данная онтология определяет понятия для описания синтаксиса и семантики языков, которые используются для поддержки процесса принятия решений. Базовая онтология также включает понятия и конструкции для представления принятия решений с точки зрения состояний, изменений состояния и событий. При этом принятие решений может быть представлено и определено с точки зрения состояния задачи, поведения задачи и решения задачи. Также определяются понятия и конструкции для классификации, обобщения, агрегации и группирования.

Контекстная система [Dey, 2001, Leppänen, 2007] помогает распознать, понять и представить соответствующие элементы принятия решений как контексты и в рамках контекстов. Контекстом является любая информация, которая может быть использована или характеризует соответствующую проблемную область. Контекстная онтология  $O_{cnxt}$  с учетом результатов [Dey, 2001, Смирнов, 2002, Leppänen, 2007] включает в себя компонентные онтологии: онтология контекста, онтология слоев и онтология точек зрения. Онтология контекста определяет следующие контекстные области: область цели/результата, область актера (человек или программное обеспечение), область процесса/действия, область объекта, область среды, область возможностей, область средств, область представления, область расположения и область времени. Каждая контекстная область определяется соответствующими понятиями и конструкциями. Онтология слоев поддерживает структуру принятия решений и описывает отношения на общем уровне составляющих принятия решений и их реализацию на соответствующих уровнях: проблема, модель, метод и реализация в рамках системы результатов, системы объектов, системы

использования и системы управления. Онтология точек зрения поддерживает множество определенных аспектов рассмотрения для конкретного представления процесса принятия решений и структуризацию восприятия составляющих принятия решений, в частности из системной, концептуальной, функциональной, информационной и реализационной точек зрения.

В работе [Gangemi, 1999] приводится классификация, в которой выделено семь уровней иерархии: онтология представления, общая онтология, промежуточная онтология, онтология верхнего уровня, онтологии предметной области, онтологии заданий и онтологии приложений.

Используя результаты работ [Gangemi, 1999, Fensel, 2002, Staab, 2001, Maedche, 2003], будем представлять множество онтологий представления процесса принятия решений  $\{O_{DM}\}$  как многоуровневую систему онтологий, как представлено на рис. 1.

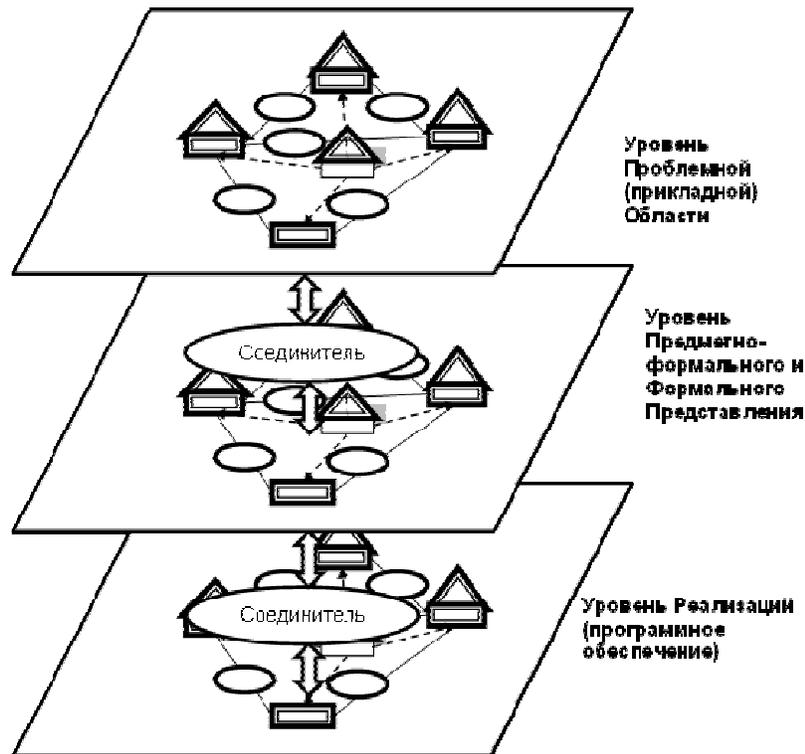


Рис. 1. Уровни онтологического рассмотрения поддержки процессов принятия решений.

Множество онтологий представления процесса принятия решений рассматривается как компонента базы знаний при работе с конкретной проблемной областью и является, в свою очередь, шаблоном для построения динамической компоненты базы знаний, которая изменяется при переходе от одной конкретной задачи к другой. То есть в разрезе моделей реализует эффект триады : от реальной прикладной модели (прикладная задача) построить (с помощью восприятия и концептуализации) концептуальную модель и с помощью знаков или языка создать модель представления (символьная модель). Такая онтология включает представление задач предметной области (формулировка проблемы и соответствующей ее модели, определения схемы/сценария/метода решения), онтологии предметно-формального и формального представления (превращения моделей в формальную и каноническую запись, определение сценария, метода и алгоритма решения) и реализаций этого процесса (превращения с учетом требований программной реализации и требований пользователя). В [Fensel, 2002] принятие решений представляется через предметную модель, задачу и метод, однако не всегда такого представления достаточно для адекватного описания принятия решений (в рамках одной предметной

модели можно сформулировать разные задачи, для них могут быть разные модели решения и для моделей могут быть разные методы), поэтому будем представлять внутриуровневое принятие решений, как показано на рис.2.

Уровень проблемной области представляется онтологией проблемной области, как компоненты, которая описывает понятия, термины, объекты, процессы проблемной области. Эта онтология описывает специфические механизмы, методы, технологии принятия решений данной проблемной области.

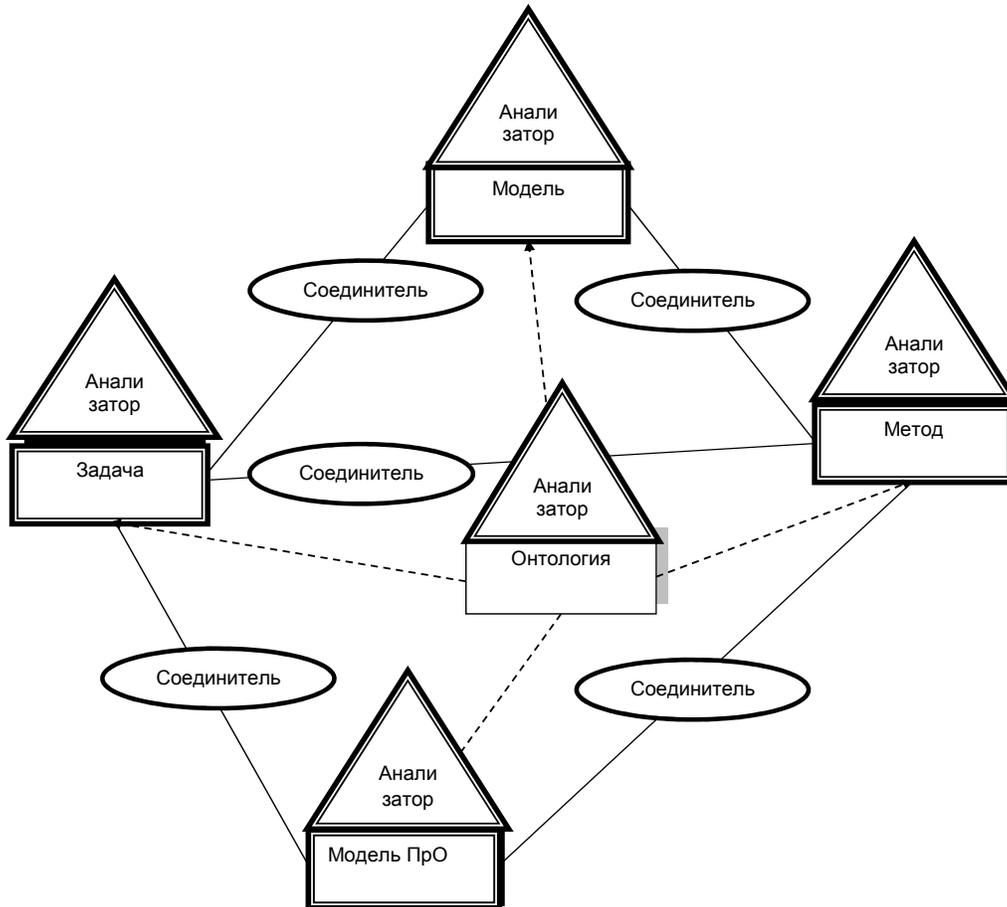


Рис.2. Представление внутриуровневого принятия решений

Уровень предметно-формального и формального представления реализуется через формализованную онтологию, как компоненты что реализуют информационные, математические, логические модели, методы, технологии, алгоритмы и их взаимодействие в процессе принятия решений. На этом уровне, используя общий принцип построения онтологии и связь с проблемной онтологией, определяется формализованное описание математических, информационных и логических зависимостей для построения предметно-математических, информационных и логических моделей решения соответствующих задач. Вид и тип таких моделей зависит от данных и возможных методов решения. Формализованная онтология или онтология формальных методов и алгоритмов - содержат сценарии, методы, алгоритмы реализации и анализа построенных математических, информационных и логических моделей. При этом терминам и понятиям могут быть поставлены в соответствие как модели, так и отдельные математические расчетные формулы, информационные запросы. Если в модели задачи проблемного уровня заменить термины предметных областей абстрактными обозначениями, то можем получить спецификацию задачи и системы соотношений в абстрактных обозначениях. Переход от задач

проблемной области  $k$ , например, математическим моделям и математическим задачам позволяет определять разные классы прикладных задач, которые им отвечают, исследовать их свойства и разрабатывать методы формирования интеллектуального решения прикладных задач для каждого конкретного класса математических задач. Это позволяет представлять и накапливать знания о соответствующих составляющих этой онтологии и использовать их при решении прикладных задач.

Описание реализованных методов, алгоритмов представляет уровень реализаций.

Онтология реализаций  $O_R$ , которая включает описание программного обеспечения для поддержки принятия решений: функциональный, поведенческий, организационный и информационный. При этом описание основывается на функциональных (то, что делает программное обеспечение) и нефункциональных требованиях (ограничение использования). Эта онтология реализует описание, обработку и использование имеющихся программно-алгоритмических средств, которые дают возможность завершить компьютерную поддержку реализации соответствующих процессов принятия решений, моделей, методов и алгоритмов.

Онтология представления пользователя и взаимодействия с ним реализует формирование модели сценария и компонентов диалога (автоматически или автоматизировано). Онтология предназначена для описания множества возможных состояний диалога и переходов. Состояния диалога и условия переходов описываются в терминах интерфейсных элементов модели представления. Онтология абстрактного представления позволяет описывать представление интерфейса в терминах абстрактного интерфейса пользователя, независимого от среды выполнения и типов входных/выходных данных интерфейса. Элементы абстрактного интерфейса позволяют определять структуру представления информации, не уточняя их конкретное представление. Онтология конкретного представления реализует формирование конечного представления диалога как типичного, так и динамического в зависимости от роли/компетентности пользователя, требований конкретной проблемы, требований платформы и тому подобное. Такая онтология необходима для реализации персонализированного подхода к построению интерфейса для поддержки всех этапов принятия решений. На этом уровне реализуется учёт интересов пользователей, что осуществляется за счёт создания определенных профилей пользователей, что способствует более эффективному и адекватному ведению диалога.

Для интеграции компонентов используются соединители. Соединитель реализует принцип "моста" [Fensel, 2002] между соответствующими уровнями и онтологией. Это предопределено тем, что онтологии создаются независимо одна от другой. Поэтому необходимо поставить в соответствие определенные понятия и термины, которые используются в разной онтологии. Это прежде всего необходимо при работе с онтологией, когда необходимо сделать дополнительные предположения для уточнения и конкретизации, например, формулировки задачи с целью в дальнейшем правильного выбора модели, метода, алгоритма и реализации прикладной задачи. С другой стороны необходимо знать, что формальная онтология, онтология уровня реализаций и онтология уровня представления пользователя создается как предметно независимые и которые могут быть повторно использованы. В этом случае для решения специфической предметной задачи используются соответствующие аксиомы, при этом гарантируется правильность выбора понятий и терминов и их атрибутов (свойств).

В соответствии с построенной теоретико-множественной моделью представления онтологий строятся и реализовываются конкретные средства принятия решений в СППР.

---

## Заключение

---

Разработанное онтологическое представление позволяет создать единое интегрированное информационное пространство [Chaplinskyu 2006], в котором интегрированы разные модели представления данных и знаний в области принятия решений, которые представлены онтологической моделью, правила классификации ситуаций и их решения в соответствии с технологией системной оптимизации в конкретных прикладных областях и ситуациях принятия решений и которое базировалось бы на современной парадигме информационных технологий: поддержка принятия решений в любое время и в любом месте, любыми средствами и в любой прикладной сфере.

Предложенное онтологическое представление было положено в основу реализации прототипа информационно-аналитической системы в рамках Украинско - Индийского проекта "Разработка интегрированной среды поддержки процессов консультирования и принятия решений для аграрных консультационных служб".

---

## Благодарности

---

Работа опубликована при финансовой поддержке проекта **ITHEA XXI** Института информационных теорий и приложений FOI ITHEA Болгария [www.ithea.org](http://www.ithea.org) и Ассоциации создателей и пользователей интеллектуальных систем ADUIS Украина [www.aduis.com.ua](http://www.aduis.com.ua).

---

## Литература

---

- [Волкович, 1982] Михалевич В.С., Волкович В.Л. Вычислительные методы исследования и проектирования сложных систем. – М.: Наука, 1982. – 286 с.
- [Волкович,1990] Волкович В.Л., Коленов Г.В. Метод раздельного решения взаимосвязанных оптимизационных задач. // Изв. АН СССР. Сер. Техн. Киберн. – 1990. – № 6. – С. 28 – 43.
- [Глушков, 1980] Глушков В.М. О системной оптимизации. // Кибернетика. – 1980. - № 5. - С.89-90.
- [Смирнов, 2002] Смирнов А.В., Пашкин М.П., Шилов Н.Г., Левашова Т.В. Онтологии в системах искусственного интеллекта: способы построения и организации. Часть 1 // Новости искусственного интеллекта. – 2002. – №1. – С.3-13.
- [Чаплінський, 2007] Чаплінський Ю.П. Алгоритми системної оптимізації для різних припустимих варіацій параметрів. // Проблеми інформатизації та управління. - 2007. - №1 - с. 163-168.
- [Chaplinskyu 2006] Yuriy Chaplinskyu, Olena Subbotina Ram Bahal, Monika Wason. Decision support to farmers on heterogeneous farming aspects through IT environment // The fifth conference of the Asian Federation for Information Technology in Agriculture , November 9-11, 2006, Bangalore, India – P. 91-98.
- [Dey, 2001] Dey A.K., Salber D., Abowd G.D. A Conceptual Framework and a Toolkit for Supporting the Rapid Prototyping of Context-Aware Applications // Context-Aware Computing. – A Special Triple Issue of Human-Computer Interaction / T.P. Moran, P. Dourish (eds.). – Lawrence-Erlbaum, 2001. – Vol. 16. – P. 97 - 166.
- [Fensel, 2002] Dieter Fensel, Enrico Motta, V. Richard Benjamins, Monica Crubezy, Stefan Decker, Mauro Gaspari, Rix Groenboom, William Grosso, Frank van Harmelen, Mark Musen, Enric Plaza, Guus Schreiber, Rudi Studer, Bob Wielinga. The Unified Problem-solving Method Development Language UPML // Knowledge and Information Systems. – 2002. – V.5. – №1 – P. 83-131.
- [Gangemi, 1999] Gangemi A., Pisanelli D. M., Steve G. An Overview of the ONIONS Project: Applying Ontologies to the Integration of Medical Terminologies // Data & Knowledge Engineering. – 1999 – V. 31 – P. 183-220.

- [Guriano, 1997] Guriano N. Understanding, Building, and Using Ontologies / A Commentary to "Using Explicit Ontologies in KBS Development" // International Journal of Human and Computer Studies. – 1997. – V. 46. – № 2/3. – P. 293-310.
- [Leppänen, 2007] Leppänen M. Towards an Ontology for Information Systems Development - A Contextual Approach. In K. Siau (Ed.), Contemporary Issues in Database Design and Information Systems Development. - IGI Global, 2007. - P. 1-36.
- [Maedche, 2003] Maedche A., Motik B., Stojanovic L., Studer R. and Volz R. Ontologies for Enterprise Knowledge Management // IEEE Intelligent Systems. – 2003. – V. 18. – № 2. – P. 26-33.
- [Staab, 2001] Staab S., Studer R., Schnurr H.-P., Sure Y. Knowledge Processes and Ontologies // IEEE Intelligent Systems. – 2001. – V. 16. – № 1. – P. 26-34.
- [Zachman, 2008] Zachman J.A. The Zachman Framework: The Official Concise Definition. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.zachmaninternational.us/index.php/the-zachman-framework>
- 

### Информация об авторах

---



**Юрий Чаплинский** – к.т.н., с.н.с., Институт кибернетики им. В.М. Глушкова НАН Украины, Киев, Украина. E-mail: [cyuriy60@hotmail.com](mailto:cyuriy60@hotmail.com)



**Елена Субботина** – н.с., Институт кибернетики им. В.М. Глушкова НАН Украины, Киев, Украина. E-mail: [olenas2011@gmail.com](mailto:olenas2011@gmail.com)

---

---

## Mathematical Foundation of Artificial Intelligence

---

---

### 'FEATURE VECTORS' IN GROUPING INFORMATION PROBLEM IN APPLIED MATHEMATICS: VECTORS AND MATRIXES

Donchenko V., Zinko T., Skotarenko F.

**Abstract:** *The grouping information problem manifests itself in two main forms. Namely these are: recovering function, represented by empirical data (observations) and problem of classification (clusterization). In both forms the choice of fundamental "representatives" are of principal importance: arguments – function characteristics for the first case and "feature vector" in the second one case. Vector variants of representatives selection, namely choice of  $R^n$ , are practiced as a rule. This choice is determined by availability of a highly developed technique for processing of objects in Euclidean spaces. This technique includes, particularly, SVD and Moore-Penrose inversion for the matrixes of linear operators between Euclidean spaces of  $R^n$ -type. Realization of selection step or  $R^n$  case by the standard recurrent procedures is represented in the article as well as development of processing technique for Euclidean space of  $R^{m \times n}$  type (Euclidean space all matrixes of fixed  $m \times n$  dimension). It is turn out that selection procedure for  $R^n$  in both cases can be designed on the base of so called neurofunctional transformations (NfT-transformations). As to  $R^{m \times n}$  SVD and Moore-Penrose technique are proposed in this case.*

**Keywords:** *Feature vectors, information aggregating, generalized artificial neuronets, vector corteges, matrix corteges, linear operator between cortege spaces, Single Valued Decomposition for cortege linear operators.*

**ACM Classification Keywords:** *G.2.m. Discrete mathematics: miscellaneous, G.2.1 Combinatorics. G.3 Probability and statistics, G.1.6. Numerical analysis I.5.1. Pattern Recognition H.1.m. Models and Principles: miscellaneous.*

---

#### Introduction

---

The problem of grouping the information (grouping problem) is the fundamental problem of applied investigations. It appears in various forms and manifestations. All of them eventually are reduced to two forms. Namely, these are: the problem of recovering the function represented by their observations and the problem of clustering, classification and pattern recognition. State of art in the field is represented perfectly in [Kohonen, 2001], [Vapnik, 1998], [Haykin, 2001], [Friedman, Kandel, 2000], [Berry, 2004]. It's opportune to mark what the information regarding the object or a collection of similar object is exposed to aggregating is. It is of principal importance that an object is considered as a set of its main components and fundamental for the object ties between them. Such consideration and only this one enable application of the math in object description, namely, for math modeling. It is due the fact that after Georg Cantor the objects of investigation in math (math structures) are the sets plus "ties" between its elements. There are only four (may be, five) fundamental mathematical means to describe these "ties". Namely, these are: relations, operations, functions and collections of subsets (or combinations of

mentioned above). Thus, the mathematical description of the object (mathematical modeling) can not be anything other than representing the object structure by the means of mathematical structuring. It is applicable to the full extent to that objects which indicated by the term “complex system”. A “complex system” should be understanding and, correspondingly, determined, as an objects with complex structure (complex “ties”). Namely, when reading attentively manuals by the theme (see, for example, [Yeates, Wakefield, 2004], [Forster, Hölzl, 2004]) one could find correspondent allusions. It is reasonable understanding of “complex systems” instead of the its understanding as the “objects, consisting of numerous parts, functioning as an organic whole”.

So, math modelling is designing in math “parts plus ties”, which reproduce “part plus ties” in reality.

So it is principal question in math modeling which math objects represents “part” of the object and which the “ties” ones. The math object - representative should be chosen in such a way that variety of math structuring means were sufficient to convey the object structure.

It is commonly used approach for designing objects - representative to construct them as an finite ordered collection of characteristics: quantitative (numerical) or qualitative (non numerical). Such ordered collection of characteristics is determined by term cortege in math. Cortege is called vector when its components are numerical. In the function recovering problem objects - representatives are vectors and functions are used as a rule to design correspond mathematical “ties”. In clustering and classification problem the collection may be both qualitative and quantitative. In last case correspond collection is called feature vector. It is reasonable to note that term “vector” means more, than simply ordered numerical collection. It means that curtain standard math “ties” are applicable to them. These “ties” are adjectives of the math structure called Euclidean space denoted be  $R^n$ . Namely these are: linear operations (addition and scalar multiplying), scalar product and correspond norm.

Just the belonging to the base math structure (Euclidean space) determines advantages of the “vectors” against “corteges”. It is noteworthy to say, that this variant of Euclidean space is not unique: the space  $R^{m \times n}$  of all matrixes of a fixed dimension  $m \times n$  may represent alternative example. The choice of the  $R^n$  space as “environmental” structure is determined by perfect technique developed for manipulation with vectors. These include classical matrix methods and classical linear algebra methods. SVD-technique and methods of Generalized or Pseudo Inverse according Moore – Penrose are comparatively new elements of linear matrix algebra technique [Nashed, 1978] (see, also, [Albert, 1972], [Ben-Israel, Greville, 2002]). Outstanding impacts and achievements in this area are due to N.F Kirichenko (especially, [Кириченко, 1997] [Kirichenko, 1997], see also [Кириченко, Лепеха, 2002]). Greville’s formulas: forward and inverse -for pseudo inverse matrixes, formulas of analytical representation for disturbances of pseudo inverse, - are among them. Additional results in the theme as to furter development of the technique and correspondent applications one can find in [Кириченко, Лепеха, 2001], [Donchenko, Kirichenko, Serbaev, 2004], [Кириченко, Крак, Полищук, 2004] [Kirichenko, Donchenko, Serbaev, 2005], [Кириченко, Донченко, 2005] [Donchenko, Kirichenko, Krivonos, 2007], [Кириченко, Донченко, 2007], [Кириченко, Кривонос, Лепеха 2007], [Кириченко, Донченко, Кривонос, Крак, Куляс, 2009].

As to technique designing for the Euclidean space  $R^{m \times n}$  as “environmental” one see, for example [Донченко, 2011]. Speech recognition with the spectrograms as the representative and the images in the problem of image recognition are the natural application area for the correspond technique.

As to the choice of the collection (design of cortege or vector) it is necessary to note, that good “feature” selection (components for feature vector or cortege or an arguments for correspond functions) determines largely the efficiency of the problem solution. As noted above, the efficiency of problem solving group, the choice of representatives of right: space arguments or values of functions and suitable families past or range of convenient features vectors. This phase in solving the grouping information problem must be a special step of the correspondent algorithm. Experience showed the effectiveness of recurrent procedures in passing through

selection features step. For correspond examples see, [Ivachnenko,1969] with Ivachnenko's GMDH (Group Method Data Handling), [Vapnik, 1998] with Vapnik's Support Vector Machine. Further development of the recurrent technique one may find in [Donchenko, Kirichenko,Serbaev, 2004], [Кириченко, Крак, Полищук, 2004] [Kirichenko, Donchenko, Serbaev,2005], [Кириченко, Донченко, 2005], [Donchenko, Kirichenko, Krivonos, 2007], [Кириченко, Донченко, 2007], [Кириченко, Кривонос, Лепеха, 2007]. The idea of nonlinear recursive regressive transformations (generalized neuron nets or neurofunctional transformations) due to Professor N.F Kirichenko is represented in the works referred earlier in its development. Correspondent technique has been designed in this works separately for each of two its basic form of the grouping information problem. The united form of the grouping problem solution is represented here in further consideration. The fundamental basis of the recursive neurofunctional technique include the development of pseudo inverse theory in the publications mentioned earlier first of all due to Professor N.F. Kirichenko and his disciples.

The essence of the idea mentioned above is thorough choice of the primary collection and changing it if necessary by standard recursive procedure. Each step of the procedure include detecting of insignificant components, excluding or purposeful its changing, control of efficiency of changes has been made. Correspondingly, the means for implementing the correspondent operations of the step must be designed. Methods of neurofunctional transformation (NfT) (generalized neural nets, nonlinear recursive regressive transformation: [Donchenko, Kirichenko, Serbaev, 2004] [Кириченко, Крак, Полищук, 2004], [Кириченко, Донченко, Сербаев, 2005]).

---

### Neurofunctional transformation in recovering function problem

---

The fundament of the Math truth is the conception of deducibility. It means that the status of truth (proved statement) has the statement which is terminal in the specially constructed sequence of statements, which called its proof. The peculiarity in sequence constructing means, that a next one in it produced by previous by special admissible rules (deduction rules) from initial admissible statements (axioms and premises of a theorem). As a rule, corresponded admissible statements have the form of equations with the formulas in both its sides. So, each next statement in the sequence-proof of the terminal statement is produced by previous member of sequence (equation) by changing some part of formulas in left or right it side on another: from another side of equations-axioms or equations premises. The specification of the restrictions on admissible statements and the deduction rules are the object of math logic.

As it was already marked, the idea of neurofunctional transformation (NfT-) or neurofunctional transformation in recovering function problem in the variant of inverse recursion was offered in [Кириченко, Крак, Полищук, 2004], and in variant of forward recursion - in [Donchenko, Kirichenko, Serbaev, 2004], [Кириченко, Донченко, Сербаев, 2005]. References on neuronets is determined by the fact that NfT generalizes artificial neuronets: in possibilities of the standard functional elements (ERRT(elementary recursive regression transformation) in NfT): in topology of its connection; in adaptive design of NfT structure in the whole; in adequate math for its description. Just this forward variant will considered below. Namely, NfT- is the transformation built by recursive application of the certain standard element, which will be designated by abbreviation ERRT (Elementary Recursive Regression Transformer). Process of construction of the NfT- transformation consists in connection of the next ERRT (or certain number of it) to already constructed during previous steps transformer according to one of three possible types of connection (connection topology). Types of connection which will be designated as "parinput", "paroutput" and "seq", realize natural variants of use of an input signal: parallel or sequential over input, - and parallel over output. An input of the Output of current step of recursion is input of the next step.

The basic structural element of the NfT-transformer is ERRT - an element [Кириченко, Донченко, Сербаев, 2005], which is determined as mapping from  $R^{n-1}$  in  $R^m$  of a kind:

$$y = A_+ \Psi_u \left( C \begin{pmatrix} x \\ 1 \end{pmatrix} \right),$$

which approximates the dependence represented by training sample  $(x_1^{(0)}, y_1^{(0)}), \dots, (x_M^{(0)}, y_M^{(0)})$ ,  $x_i^{(0)} \in R^{n-1}$ ,  $y_i^{(0)} \in R^m$ ,  $i = \overline{1, M}$ ,

where:

- $C$ — $(n \times n)$  - matrix, which performs affine transformation of the vector  $x \in R^{n-1}$  - an input of the system; it is considered to be given at the stage of synthesis of ERRT;
- $\Psi_u$  – nonlinear mapping from  $R^n$  in  $R^n$ , which consists in component-wise application of scalar functions of scalar argument  $u_i \in \mathfrak{S}$ ,  $i = \overline{1, n}$  from the given final set  $\mathfrak{S}$  of allowable transformations, including identical transformation: must be selected to minimize residual between input and output on training sample during synthesis of ERRT;
- $A_+$  – solution  $A$  with minimal trace norm of the matrix equation

$$AX_{\Psi_u C} = Y,$$

in which matrix  $X_{\Psi_u C}$  formed from vector-columns  $\Psi_u \left( C \begin{pmatrix} x_i^{(0)} \\ 1 \end{pmatrix} \right) = \Psi_u(z_i^{(0)})$ , and  $Y$  – from columns,  $y_i^{(0)}$ ,  $i = \overline{1, M}$ .

In effect, ERRT represents empirical regression for linear regression  $y$  on  $\Psi_u \left( C \begin{pmatrix} x \\ 1 \end{pmatrix} \right)$ , constructed with method of the least squares, with previous affine transformation of system of coordinates for vector regressor  $x$  and following nonlinear transformation of each received coordinate separately.

Remark 1. Further we shall assume that functions of component-wise transformations from  $\mathfrak{S}$  would have a necessary degree of smoothness where it is necessary.

Task of synthesis of ERRT by an optimal selection of nonlinear transformations of coordinates on the given training sample was introduced and solved in already quoted above work [Кириченко, Донченко, Сербаяев, 2005]. The solution of a task of synthesis is based on methods of the analysis and synthesis of the pseudoinverse matrices, developed in [Кириченко, 1997]. Particularly, reversion of Grevil's formula [10] was proved in these works, that recurrently allows to recalculate pseudoinverse matrices when a column or a row of the matrix changed by another one.

---

### Recurrent procedure in NfT- design: topology and mathematics

---

Recursion in construction of the NfT--transformer in variant of forward recursion offered below will be considered in the generalized variant in which several ERRTs is used in recurrent connection to NfT-structure has been already designed. Total quantity of recurrent references we shall designate through  $N$ , and quantity of ERRTs used on a step  $m$  – by  $k_m$ ,  $m = \overline{1, N}$ . The common number of ERRTs, used for construction of whole transformer will be designated by  $T$ :  $T = \sum_{m=1}^N k_m$ . Three basic variant of topology connection can be used in a step of the

recurrent procedure: parallel respectively input, parallel respectively output and sequential. All of them are represented below on the pictures of Figures 1 - Figures 3.

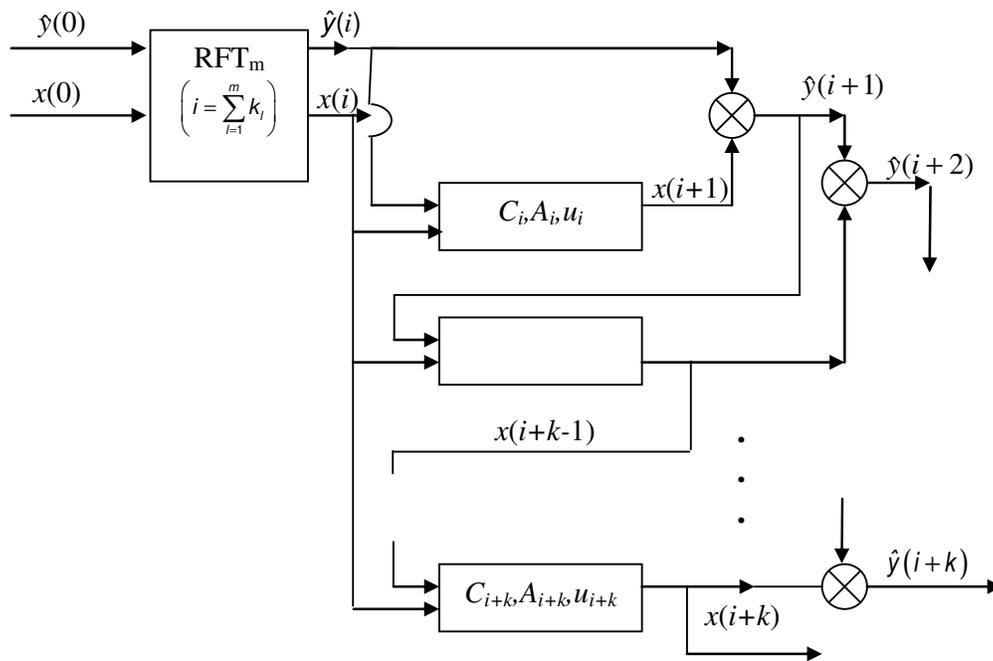


Figure 1. Topology: parinput type – forward recursion.

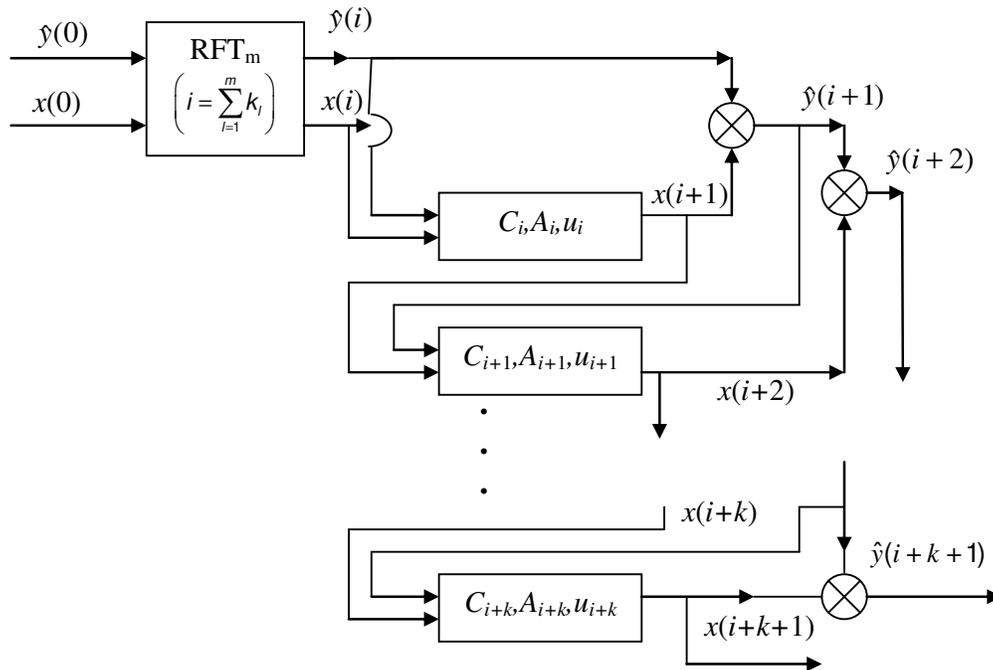


Figure 2. Topology: paroutput type (forward recursion).

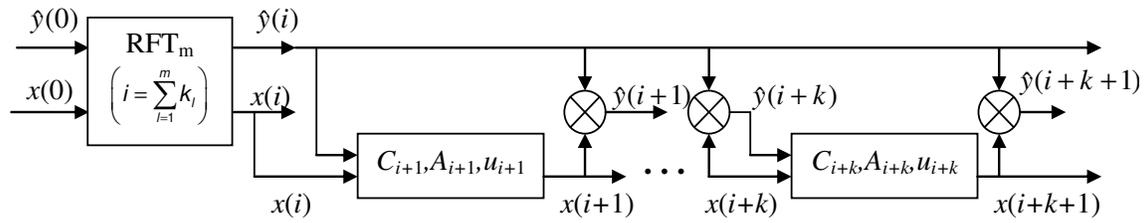


Figure 3. Topology: seq-type ( forward recursion)

In these schemes of connection  $RFT_{m+1}$  approximates an output part of training sample by input part, and set of ERRTs approximates residual which depends from an output of the previous ERRTs.

Entry conditions for all types of connections are described by equations:

$$x(0) = x - \text{an input of whole NFT--transformer,} \quad (1)$$

$$\hat{y}(0) = 0, \hat{y}(1) = x(1) \text{ for all types of connections.}$$

According to (1) in a training mode the inputs of NFT--transformer are  $x_i^{(0)} : x_i^{(0)} \in R^{n-1}, y_i^{(0)} \in R^m, i = \overline{1, M}$  and outputs are  $-y_i^{(0)} \in R^m, i = \overline{1, M}$ .

Connections of recursive construction of the NFT--transformer are determined so, that standard functional of the least squares method is minimized during its construction, i.e.

$$\sum_{i=1}^M \|y_i^{(0)} - RFT(x_i^{(0)})\|^2. \quad (2)$$

About mathematics: equations for an each of the next step of recursion, one may find, for example in the items has been already cited earlier or find in [Donchenko, Krak, Krivonos, 2012] and also efficiency functional (2) - represent quality functional. In the works, cited earlier including last one, one may find math model for optimization problem. This model is realized by the Hamilton function for the special case of the dynamical systems with delay [Kirichenko, Donchenko, Serbaev, 2005].

### Neurofunctional transformation in classification problem

Clusterization and classification problem as the variant grouping problem will be discussed according [Кириченко, Кривонос, Лепеха, 2007], see also [Donchenko, Krak, Krivonos, 2012] for two classes  $\Omega_x(1), \Omega_x(2) \subseteq R^m$  and, correspondingly, with two correspondent learning samples  $x(j) \in \Omega_x(1), j \in J_1, x(j) \in \Omega_x(2), j \in J_2 : J_1 \cup J_2 = \{1, \dots, n\}, J_1 \cap J_2 = \emptyset$ . The classification problem will be interpreted as the problem of designing function  $\varphi : R^m \rightarrow R^1$  (discriminate function), which would "Δ-differentiate" classes for some  $\Delta > 0$ , in the sense, that:

$$\varphi(x(j)) \geq \Delta, j \in J_1, \varphi(x(j)) \leq -\Delta, j \in J_2$$

We will find correspond  $\varphi, \Delta$  for linear case: when  $\varphi(x) = a^T x, a = (a_1, \dots, a_m)^T \in R^m$  (Linear Discrimination Problem (LD -problem) )

Theorem 1. Under matrix denotation:

$$X = (x(1) : \dots : x(n)) = \begin{pmatrix} x_{(1)}^T \\ \dots \\ x_{(m)}^T \end{pmatrix}, x(j) \in R^m, j = \overline{1, n}, x_{(i)} \in R^n, i = \overline{1, m},$$

$$y = (y(1), \dots, y(n))^T \in R^n$$

LD-problem is reducible to the solving of conditional system of linear equations (SLAE)

$$X^T a = y : y \in \Omega_y(\Delta) \subseteq R^n, \Delta > 0,$$

under constraint  $y \in \Omega_y(\Delta)$ :

$$\Omega_y(\Delta) = \{y = (y(1), \dots, y(n))^T \in R^n : y(j) > \Delta, j \in J_1, y(j) < -\Delta, j \in J_2\},$$

and for some  $\Delta > 0$ .

Due to results of [Kirichenko, 1997], [Кириченко, Лепеха, 2002], see also [Кириченко, Донченко, 2005], the next theorem is valid ([Кириченко, Кривонос, Лепеха, 2007], see also [Donchenko, Krak, Krivonos, 2012].)

Theorem 2. LD-problem is equivalent to solvability quadratic optimization problem for  $y^T Z(X)y$  in domain  $\Omega_y(\Delta)$  with constraint:

$$y_* = \arg \min_{y \in \Omega_y(\Delta), y^T Z(X)y = 0} y^T Z(X)y, \quad (3)$$

where

$$Z(X) = I_n - X^+ X$$

and  $X^+$  - Moore-Penrose pseudoinverse (MP-inverse)(see, for example, [Albert, 1972]).

Insolvability of the optimization problem from Theorem 2 means insolvability LD-problem with the feature vector of the model. So the features need purposeful change. So, criteria for the choice of correspondent components and means for correspondent changes must be available. Just these means may be realized by the correspondent modification of NFT.

---

### Criteria of informative content for the components of feature vector

---

There are several criteria for detection of the components to be changed. All of them can be built on the base of estimated informative value (I-value) for the components of feature vector, realized by Moore-Penrose pseudo inverse technique. All of them can be found in [Кириченко, Кривонос, Лепеха, 2007], see also [Donchenko, Krak, Krivonos, 2012]. Avoiding the details, which can be found in the works cited above, note that the components found are to be purposefully changed.

---

### Algorithm of modification for components of feature vector with minimum of informative content

---

Be the components with minimum informative content detected they must be changed by its modification. Correspond component can be changed by some nonlinear transformation from the fixed set of such ones. . Example of such a collection of nonlinear transformations shown in Table 1.

Also, other components of feature vector may be used for such modification

Algorithms for the modification of feature vector consist of the next elements-steps.

1. Cycle of solution for optimization problem (3).
2. Detection the component, say  $x_s$ , for modification according to one of the criteria.
3. Modification of the detected component according to the standard procedure: substitution the component by another feature, for example, - by  $\psi^*(x_s)$ . Nonlinear functional  $\psi^*$  is the solution of the optimization problem:

$$\psi^* = \min_{\psi \in \Psi} y_*^T Z(X_{(s, \psi(x_s))}) y_*,$$

where  $X_{(s, \psi(x_s))}$  - matrix, which corresponds to new feature vector with feature  $\psi(x_s)$  instead of  $x_s$ .

4. New cycle of solution of (3).

Table 1. Basic nonlinear transformation

$\psi$	$\psi$	$\psi$
$y = \frac{1}{ax+b}$	$y = \frac{a}{x} + b$	$y = \frac{x}{ax+b}$
$y = \frac{1}{ax^2+bx+c}$	$y = \frac{x}{ax^2+bx+c}$	$y = a + \frac{b}{x} + \frac{c}{x^2}$
$y = ax^b$	$y = ab^x$	$y = ae^{bx}$
$y = ae^{-bx^2}$	$y = ax^b e^{cx}$	$y = ae^{bx+cx^2}$
$y = a \sin(bx+c)$	$y = th(ax)$	$y = Arth(ax)$

Scheme of the algorithm for the modification of feature vector is represented on Figure 4:

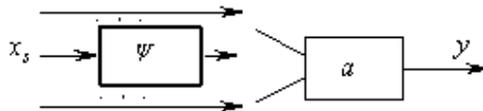


Figure 4. Substitution the component by its appropriate nonlinear transformation.

Some others variant of substitutions are represented by Figure 5 - Figure 8.

Modification of step 3 may be more complicated: with using others of components. For example, next chart (Figure 5) depicts using of nonlinear transformation of another, than  $x_s$  component.

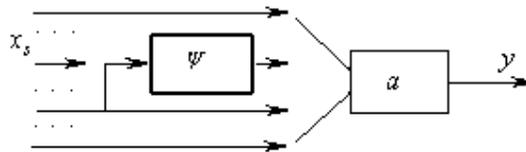


Figure 5. Substitution the component by appropriate nonlinear transformation of another component.

Some others variants of the modification are represented on the next charts.

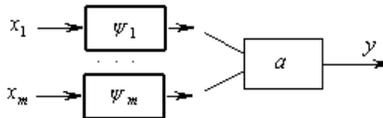


Figure 6. Substitution for all of the components by appropriate nonlinear transformations for each of them.

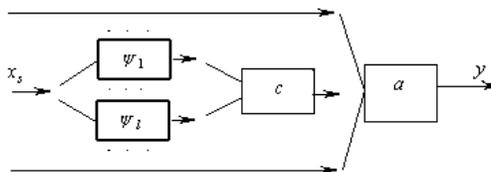


Figure 7. Substitution for component by appropriate linear combination of nonlinear transformations of one and the same component.

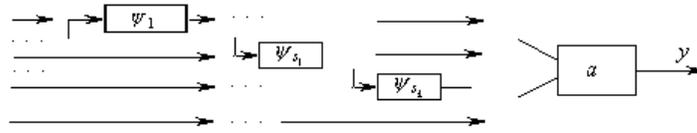


Figure 8. Substitution for the components by appropriate composition of nonlinear transformations of one and the same component.

Chart from Figure 6 represent simultaneous nonlinear transformations for the several component, chart from Figure 7 – modification by changing the component by linear combinations of nonlinear transformations some of others components of feature vector, and Figure 8 represents substitution by composition of nonlinear transformation. There may be others variants for substitution, which one can find in [Кириченко, Кривонос, Лепеха, 2007].

Namely charts depicted earlier illustrate the idea of NFT for the transformations of the feature vector.

---

### Development of Pseudo Inverse Technique for matrixes Euclidean spaces

---

The following are results that transfer basic features of describing the basic structures of Euclidean spaces [Донченко, 2011] matrix Euclidean spaces. These are, first of all General Single Valued Decomposition (SVD) theorem and then determination of Pseudo Inverse (Pdl) and designing the constructive methods for manipulating with basic structures within matrixes spaces on the base of the Pseudo Inverse.

---

### Matrixes spaces and cortege operators

---

Theorem 3. For an arbitrary linear operator between a pair of Euclidean spaces  $(E_i, (\cdot, \cdot)_i), i = 1, 2 : \wp_E : E_1 \rightarrow E_2$ , the collection of singularities  $(v_i, \lambda_i^2), (u_i, \lambda_i^2) \quad i = \overline{1, r}, \quad r = \text{rank} \wp_E$  exists for the operators

$\wp_E^* \wp : E_1 \rightarrow E_1, \quad \wp \wp_E^* : E_2 \rightarrow E_2$  correspondingly, with a common for both operators  $\wp_E^* \wp, \wp \wp_E^*$  set of

Eigen values  $\lambda_i^2, i = \overline{1, r} : \lambda_{i-1} \geq \lambda_i > 0, \quad i = \overline{2, r}$

such that

$$\wp_E x = \sum_{i=1}^r \lambda_i u_i (v_i, x)_1, \quad \wp_E^* y = \sum_{i=1}^r \lambda_i v_i (u_i, y)_2$$

Besides, the following relations take place:

$$u_i = \lambda_i^{-1} \wp v_i, \quad i = \overline{1, r},$$

$$v_i = \lambda_i^{-1} \wp_E^* u_i, \quad i = \overline{1, r}.$$

---

### SVD – technique for matrixes spaces

---

We denote by  $R^{(m \times n), K}$  - Euclidean space of all matrixes  $K$ -cortege from  $m \times n$  matrixes:

$\alpha = (A_1 : \dots : A_K) \in R^{(m \times n), K}$  with a "natural" component wise trace inner product:

$$(\alpha, \beta)_{\text{cort}} = \sum_{k=1}^K (A_k, B_k)_{\text{tr}} = \sum_{k=1}^K \text{tr} A_k^T B_k,$$

$$\alpha = (A_1 : \dots : A_K), \beta = (B_1 : \dots : B_K) \in R^{(m \times n), K}.$$

1. We also denote by  $\wp_\alpha : R^K \rightarrow R^{m \times n}$  a linear operator between the Euclidean space, determined by the relation :

$$\wp_\alpha y = \sum_{k=1}^K y_k A_k, \alpha = (A_1 : \dots : A_K) \in R^{(m \times n) \times K}, y = \begin{pmatrix} y_1 \\ \dots \\ y_K \end{pmatrix} \in R^K. \quad (4)$$

2. Theorem 4. Range  $\mathfrak{R}(\wp_\alpha) = L_{\wp_\alpha}$ , which is linear subspace of  $R^{m \times n}$ , is the subspace spanned on the components of cortege  $\alpha = (A_1 : \dots : A_K) \in R^{(m \times n) \times K}$ , that determines  $\wp_\alpha$  :

$$\mathfrak{R}(\wp_\alpha) = L_{\wp_\alpha} = L(A_1, \dots, A_K).$$

3. Theorem 5. Conjugate for the operator, determined by (4) is a linear operator, which, obviously, acts in the opposite direction:  $\wp_\alpha^* : R^{m \times n} \rightarrow R^K$ , and defined as:

$$\wp_\alpha^* X = \begin{pmatrix} \text{tr} A_1^T X \\ \dots \\ \text{tr} A_K^T X \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \text{tr} X^T A_1 \\ \dots \\ \text{tr} X^T A_K \end{pmatrix}.$$

4. Theorem 6. A product of two operators  $\wp_\alpha^* \wp_\alpha : R^K \rightarrow R^K$  is a linear operator, defined by the matrix from the next equation:

$$\wp_\alpha^* \wp_\alpha = \begin{pmatrix} \text{tr} A_1^T A_1, \dots, \text{tr} A_1^T A_K \\ \dots \\ \text{tr} A_K^T A_1, \dots, \text{tr} A_K^T A_K \end{pmatrix}. \quad (5)$$

Remark. Matrix defined by (5) is the Gram' matrix for the elements of the cortege  $\alpha = (A_1 : \dots : A_K) \in R^{(m \times n) \times K}$ , which determines the operator.

5. Singular value decomposition for a matrix (5) is obvious, as it is the classical matrix: symmetric and positive semi-definite, on vector Euclidean  $R^K$ . It is defined by a collection of singularities  $(v_i, \lambda_i^2), i, j = \overline{1, r}$  :

$$\|v_i\| = 1, v_i \perp v_j, i \neq j; i, j = \overline{1, r}; \lambda_1 > \lambda_2 > \dots > \lambda_r > 0,$$

$$\wp_\alpha^* \wp_\alpha v_i = \lambda_i^2 v_i, i = \overline{1, r}.$$

The operator  $\wp_\alpha^* \wp_\alpha$  by itself and is determined by the relation

$$\wp_\alpha^* \wp_\alpha = \sum_{i=1}^r \lambda_i^2 v_i v_i^T = \sum_{i=1}^r \lambda_i^2 v_i (v_i, \cdot).$$

Each of the row – vectors  $v_i^T, i = \overline{1, r}$  will be written by their components:

$$v_i^T = (v_{i1}, \dots, v_{iK}), i = \overline{1, r},$$

i.e.  $v_{ik}, i = \overline{1, r}, k = \overline{1, K}$  is the component with the number  $k$  of a vector  $v$  with a number  $i$ .

6. Theorem 7. Matrices  $U_i \in R^{m \times n} : U_i = \frac{1}{\lambda_i} \wp_\alpha v_i = \frac{1}{\lambda_i} \sum_{k=1}^K A_k v_{ik}, i = \overline{1, r}$ , defined by the singularities  $(v_i, \lambda_i^2), i = \overline{1, r}$  of the operator  $\wp_\alpha^* \wp_\alpha$  are elements of a complete collection of singularities  $(U_i, \lambda_i^2), i = \overline{1, r}$  of the operator.  $\wp_\alpha^* : R^K \rightarrow R^{m \times n}$

Proof. This follows from Theorem 1, and the standard relations between singularities of the  $\wp_\alpha^* \wp_\alpha, \wp_\alpha \wp_\alpha^*$  operators.

7. Theorem 4 (Singular Value Decomposition (SVD) for cortege operator). Singularity of two operators  $\wp_\alpha^* \wp_\alpha, \wp_\alpha \wp_\alpha^*$ , obviously determine the singular value decomposition of operators  $\wp_\alpha, \wp_\alpha^*$ :

$$\wp_\alpha y = \sum_{i=1}^r \lambda_i U_i v_i^T y, y \in R^K,$$

$$\wp_\alpha^* X = \sum_{i=1}^r \lambda_i v_i (U_i, X)_{tr}, X \in R^{m \times n}.$$

8. Corollary. A variant is a SVD for the operator  $\wp_\alpha$  is represented by the next relation:

$$\wp_\alpha = \sum_{k=1}^r \lambda_k U_k v_k^T = \sum_{k=1}^r (\wp_\alpha v_k) v_k^T.$$

---

### Pseudo Inverse Technique for matrixes Euclidean spaces

---

Basic operators Pdl theory for a cortege operators: pseudo inverse by SVD-representation.

1. Theorem 8. The Pdl operators for  $\wp_\alpha, \wp_\alpha^*$  are determined, correspondingly, by the relations

$$\wp_\alpha^+ X = \sum_{k=1}^r \lambda^{-1} v_k (U_k, X)_{tr} = \sum_{k=1}^r \lambda^{-2} v_k (\wp_\alpha v_k, X)_{tr}, \forall X \in R^{m \times n},$$

$$(\wp_\alpha^*)^+ y = \sum_{i=1}^r \lambda^{-1} U_i v_i^T y, \forall y \in R^K.$$

2. Basic operators Pdl theory for a cortege operators: basic orthogonal projectors.

The basic orthogonal projectors Pdl-theory are two pairs of orthogonal projectors. The first one is the pair of orthogonal projectors on the pair principal subspaces of  $\wp_\alpha, \wp_\alpha^* : \mathfrak{R}(\wp_\alpha) = L_{\wp_\alpha}, \mathfrak{R}(\wp_\alpha^*) = L_{\wp_\alpha^*}$  -their ranges.

These orthogonal projections will be designated in one of two equivalent ways:

$$P(\wp_\alpha^*) \equiv P_{L_{\wp_\alpha^*}} = P_{(A_1, \dots, A_K)}, L_{\wp_\alpha^*} \subseteq R^{m \times n}, P(\wp_\alpha) \equiv P_{L_{\wp_\alpha}}, L_{\wp_\alpha} \subseteq R^K.$$

The second pair is a pair of orthogonal projectors onto the orthogonal complement  $L_{\wp_\alpha}^\perp \subseteq R^{m \times n}, L_{\wp_\alpha^*}^\perp \subseteq R^K$  of the first pair of the subspaces. The complements, namely, are the Kernels of the correspondent operators. Each of these projectors will be denoted in one of two equivalent ways:

$$Z(\wp_\alpha) \equiv P_{L_{\wp_\alpha^*}^\perp}, Z(\wp_\alpha^*) \equiv P_{L_{\wp_\alpha}^\perp},$$

Obviously:

$$Z(\wp_\alpha) \equiv E_K - P(\wp_\alpha), Z(\wp_\alpha^*) \equiv E_{m \times n} - P(\wp_\alpha^*)$$

In accordance with the general properties of Pdl, the next properties are valid:

$$P(\wp_\alpha) = \wp_\alpha^+ \cdot \wp_\alpha, P(\wp_\alpha^*) = (\wp_\alpha^*)^+ \cdot \wp_\alpha^* = \wp_\alpha^* \cdot \wp_\alpha^+$$

Correspondingly:

$$Z(\wp_\alpha) \equiv E_K - \wp_\alpha^+ \cdot \wp_\alpha, Z(\wp_\alpha^*) \equiv E_{m \times n} - \wp_\alpha^* \cdot \wp_\alpha^+$$

3. Basic operators Pdl theory for a cortege operators:: basic orthogonal projectors.

Grouping operators, denoted below as  $R(\wp_\alpha)$ ,  $R(\wp_\alpha^*)$ , are also "paired" operators, and are determined by the relations:

$$R(\wp_\alpha) = \wp_\alpha^+ (\wp_\alpha^+)^* = \wp_\alpha^+ (\wp_\alpha^*)^+, R(\wp_\alpha^*) = (\wp_\alpha^*)^+ ((\wp_\alpha^+)^*)^* = (\wp_\alpha^+)^* \wp_\alpha^+$$

4. Theorem 9. Grouping operators for the cortege operators  $\wp_\alpha$ ,  $\wp_\alpha^*$  can be represented by the next expression:

$$R(\wp_\alpha^*)X = \sum_{k=1}^r \lambda_k^{-2} U_k (U_k, X)_{tr} = \sum_{k=1}^r \lambda_k^{-2} U_k \text{tr} U_k^T X = \sum_{k=1}^r \lambda_k^{-2} U_k \text{tr} X^T U_k,$$

and the quadratic form  $(X, R(\wp_\alpha^*)X)_{tr}$  is determined by the relation:

$$(X, R(\wp_\alpha^*)X)_{tr} = \sum_{k=1}^r \lambda_k^{-2} (U_k, X)_{tr}^2,$$

where

$$\wp_\alpha^+ X = \sum_{k=1}^r \lambda^{-1} v_k (U_k, X)_{tr} = \sum_{k=1}^r \lambda^{-2} v_k (\wp_\alpha v_k, X)_{tr},$$

$$(\wp_\alpha^*)^+ y = \sum_{i=1}^r \lambda^{-1} U_i v_i^T y.$$

5. Theorem 10. Quadratic form  $(X, R(\wp_\alpha^*)X)_{tr}$  may be written as:

$$(X, R(\wp_\alpha^*)X)_{tr} = \sum_{i=1}^r \lambda_i^{-4} v_i^T \begin{pmatrix} \text{tr} A_1^T X \text{tr} A_1^T X & \text{tr} A_2^T X \text{tr} A_2^T X & \dots & \text{tr} A_1^T X \text{tr} A_K^T X \\ \text{tr} A_2^T X \text{tr} A_1^T X & \text{tr} A_2^T X \text{tr} A_2^T X & \dots & \text{tr} A_2^T X \text{tr} A_K^T X \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \text{tr} A_K^T X \text{tr} A_1^T X & \text{tr} A_K^T X \text{tr} A_1^T X & \dots & \text{tr} A_K^T X \text{tr} A_1^T X \end{pmatrix} v_i =$$

$$= \sum_{i=1}^r \lambda_i^{-4} \left\{ v_i^T \begin{pmatrix} \text{tr} A_1^T X \\ \dots \\ \text{tr} A_K^T X \end{pmatrix} \right\}^2 = \sum_{i=1}^r \lambda_i^{-4} \{v_i^T \wp_\alpha^* X\}^2.$$

Importance of grouping operators is determined by their properties, represented by the next two theorems.

6. Theorem 11. For any  $A_i, i = \overline{1, K}$  of  $\alpha = (A_1, \dots, A_K) \in R^{(m \times n), K}$  the next inequalities are fulfilled:

$$(A_i, R(\wp_\alpha^*)A_i)_{tr} \leq r, i = \overline{1, K}, r = \text{rank} \wp_\alpha.$$

7. Theorem 10. For any  $A_i, i = \overline{1, K}$  of  $\alpha = (A_1, \dots, A_K) \in R^{(m \times n), K}$  the next inequalities are fulfilled:

$$(A_i, R(\wp_\alpha^*)A_i)_{tr} \leq r_{\min} \leq r, i = \overline{1, K}, r = \text{rank} \wp_\alpha,$$

$$r_{\min} = \min_{i=\overline{1, n}} (A_i, R(\wp_\alpha^*)A_i)_{tr} \leq r_{\min} \leq r, i = \overline{1, K}, r = \text{rank} \wp_\alpha.$$

Comment to the theorems 11, 12. These theorems give the minimal grouping ellipsoids for the matrixes  $A_i, i = \overline{1, K}$ . In order to build it one only has to construct cortege operator  $\wp_\alpha$  by the cortege  $\alpha = (A_1 : \dots : A_K) \in R^{(m \times n), K}$ .

---

### Pseudo Inverse Technique for matrixes Euclidean spaces clasterization

---

The results, represented earlier one can apply to solve the grouping information problem in applied math with matrixes 'representatives': matrixes 'feature vectors' just in the way of the first part of the article.

---

### Conclusion

---

The realization of the conception for recurrent procedures in solving of important applied grouping information problems is represented. The approach proposed in the article is developed for the both basic form of grouping problem. The development of M-P inverse technique due to Professor Kirichenko and his disciples is the basis for all results of the article. Besides, development of the technique for manipulating with the basic structures of Euclidean within matrixes spaces is represented. This technique include General SVD theorem and Pdl technique for matrixes spaces. Designing the technique demanded introduction matrixes corteges and of special cortege operators associated with them.

---

### Acknowledgements

---

The paper is published with financial support by the project ITHEA XXI of the Institute of Information Theories and Applications FOI ITHEA Bulgaria [www.ithea.org](http://www.ithea.org), and the Association of Developers and Users of Intelligent Systems ADUIS Ukraine [www.aduis.com.ua](http://www.aduis.com.ua).

---

### Bibliography

---

- [Albert, 1972] Albert A.E. Regression and the Moore-Penrose pseudoinverse.-Academic Press.- 1972 .- 180 p.
- [Ben-Israel, Greville, 2002] Adi Ben-Israel, Thomas N.E. Greville Generalized Inverses .Theory and Applications.- Second Edition.- Springer-Verlag New York, Inc. -2003.-420 p.
- [Berry, 2004] Michael W. Berry Editor Survey of Text Mining:Clustering, Classification, and Retrieval Springer-Verlag New York, Inc. -2004. -244 p.
- [Donchenko, Kirichenko, Serbaev, 2004] Donchenko V.S. Kirichenko M.F., Serbaev D.P. Recursive regression transformation and dynamical systems// Proceedings: of the Seventh International Conference "Computer Data analysis and Modeling: robustness and computer intensive methods". – V.1. – September 6-10, 2004. – Minsk. – P. 147-151
- [Donchenko, Kirichenko, Krivonos, 2007] Donchenko V. Kirichenko M., Krivonos Yu. Generalizing of neural nets: Functional nets of special type// International Journal Information Theories and Applications. – N 3. –V.14. – 2007. – P. 259-266.
- [Кириченко, Донченко, 2007] Кириченко Н.Ф., Донченко В.С. Псевдообращение в задачах кластеризации.- Кибернетика и системный анализ.- 2007.- № 4.- с. 73 –92.
- [Friedman, Kandel, 2000] Menahem Friedman Abraham Kandel Introduction to pattern recognition statistical, structural, neural and Fuzzy logic approaches world scientific publishing co. Pte. Ltd.-reprinted 2000.-329 p.
- [Forster, Hölzl, 2004 ] John Forster and Verner Hölzl Applied Evolutionary economics and complex systems.-2004-- 293 p.
- [Haykin, 2001] Haykin S. Neural Networks, A Comprehensive Foundation.-Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey 07458. – 1999.– 842 p.

- [Kohonen, 2001] Kohonen T. Self-Organizing Maps -3-d ed. - Tokyo: Springer, 2001.-501 p.
- [Kirichenko, Donchenko, Serbaev, 2005] Kirichenko N.F., Donchenko V.S. Serbaev D.P. Nonlinear recursive nonlinear Transformations: Dynamic systems and Optimizations.//Cybernetics and System Analysis.– V.41, №3.– May 2005.– p.364-373.
- [Kirichenko, 1997] N.F. Kirichenko. Analytical Representation of Perturbation of Pseudoinverse Matrices. Cybernetics and Systems Analysis. Vol.33, Number 2. P.230-239. March-April 1997.
- [Nashed, 1976] Nashed M. Zuhair ,Votruba G.F., editors. A Unified Operator Theory of Generalized Inverse.//Proceedings of an Advanced Seminar Sponsored by the Mathematical Research Center, The University of Wisconsin, Madison, October 8-10, 1973. – New York, Academic Press, 1976.–1200 p.
- [Vapnik, 1998] Vapnik, V.N. Statistical Learning Theory. New York: Wiley, 1998.
- [Yeates, Wakefield, 2004] Donald Yeates, Tony Wakefield. Systems Analysis And Design. - Pearson Education. – 2004. - 499 p.
- [Ivachnenko, 1969] Івахненко А.Г. Системи розпізнавання і автоматичного управління, що Самоорганізуються. – К.: Техніка, 1969.–395 с.
- [Бублик, Кириченко, 1975] Бублик Б.Н., Кириченко Н.Ф. Основы теории управления. – К.: Высшая школа, 1975.–328 с.
- [Донченко, 2011] Владимир Донченко/ Евклидовы пространства числовых векторов и матриц: конструктивные методы описания базовых структур и их использование.// International Journal "Information technologies & Knowledge".- 2011.- Vol. 5.- Number 3.-P.203-216.
- [Кириченко, 1997] Кириченко Н.Ф. Аналитическое представление возмущений псевдообратных матриц.// Кибернетика и системный анализ. – 1997. – № 2. – С. 98-107.
- [Кириченко, Лепеха, 2002] Кириченко Н.Ф., Лепеха Н.П. Применение псевдообратных и проекционных матриц к исследованию задач управления, наблюдения и идентификации.// Кибернетика и системный анализ. – 2002. – № 4. – С. 107-124.
- [Кириченко, Крак, Полищук, 2004] Кириченко Н. Ф., Крак Ю. В., Полищук А.А. Псевдообратные и проекционные матрицы в задачах синтеза функциональных преобразователей.// Кибернетика и системный анализ –2004.–№3.
- [Кириченко, Донченко, Сербаев, 2005] Кириченко Н.Ф., Донченко В.С., Сербаев Д.П. Нелинейные рекурсивные регрессионные преобразователи: динамические системы и оптимизация.// Кибернетика и системный анализ.– №3, 2005.– С. 58-68.
- [Кириченко, Кривонос, Лепеха, 2007] Кириченко Н.Ф., Кривонос Ю.Г., Лепеха Н.П. Синтез систем нейрофункциональных преобразователей в решении задач классификации. // Кибернетика и системный анализ. – 2007. – №3. С. 47-57
- [Кириченко, Донченко, Кривонос, Крак, Куляс, 2009] Кириченко М.Ф., Донченко В.С, Кривонос Ю.Г., Крак Ю.В., Куляс А.І. Аналіз та синтез ситуацій в системах прийняття рішень. - Київ: Наукова думка. – 2009. 336с.
- [Кириченко, Донченко, 2005] Кириченко М.Ф., Донченко В.С. Задача термінального спостереження динамічної системи: множинність розв'язків та оптимізація//Журнал обчислювальної та прикладної математики. – 2005. –№5– С.63-78.

---

### Authors' Information

---



**Volodymyr Donchenko** – Professor, National Taras Shevchenko University of Kyiv.  
Volodymyrs'ka street, Kyiv, 03680, Ukraine; e-mail: voldon@bigmir.net.

**Taras Zinko** – Researcher, National Taras Shevchenko University of Kyiv.

**Fedir Skotarenko** - Post graduator, National Taras Shevchenko University of Kyiv.

## АЛГОРИТМ ПОСТРОЕНИЯ ВЫПУКЛОГО ПРОДОЛЖЕНИЯ ПОЛИНОМОВ НА ПОЛИПЕРЕСТАНОВКАХ И СФЕРА ЕГО ПРИМЕНЕНИЯ

Пичугина Оксана

**Аннотация:** *Предлагается алгоритм сведения полиномиальной задачи на полиперестановках к оптимизации выпуклого полинома, позволяющий вместо исходной дискретной задачи рассматривать серию непрерывных выпуклых задач на многограннике полиперестановок.*

**Ключевые слова:** *евклидово комбинаторное множество, множество полиперестановок, полиномиальная оптимизация, выпуклое продолжение*

**ACM Classification Keywords:** *G.1.6 [Numerical Analysis] Optimization, I.2.8 [Artificial Intelligence]: Problem Solving, General Terms: Algorithms*

---

### Введение

Рассмотрим задачу дискретной оптимизации на множестве объектов комбинаторной природы, порождаемым конечным числовым множеством. В силу конечности комбинаторного множества можно считать, что целевая функция представляет собой полином, поскольку всегда существует интерполяционный полином, соответствующий функции [Стоян, 1988]. Следует отметить, что особенностью комбинаторных задач является структурированность ее элементов, позволяющая строить такие полиномы, не вычисляя значение функции во всех точках [Яковлев, 1994].

Особый интерес в оптимизации вообще и комбинаторной в частности привлечено к тем классам задач, которые можно свести к оптимизации выпуклых функций. Оказывается, что существует довольно широкий класс задач на вершинно расположенных множествах, для которых это возможно [Стоян, 1988]. Это, в частности, множества перестановок и полиперестановок, некоторые классы размещений и полиразмещений, сочетаний и полисочетаний [Стоян, 1993].

Аппарат, применяемый при этом, - погружение комбинаторного множества в арифметическое евклидово пространство с дальнейшим рассмотрением множества точек пространства  $E$  и их выпуклой оболочки  $M$  и построением выпуклого продолжения  $F(x)$  исходного полинома  $f(x)$ , т.е. функции, совпадающей с ним в точках  $E$  и выпуклой на комбинаторном многограннике  $M$ , в  $R_+^n$  или в  $R^n$  [Яковлев, 1994].

Таким образом исходная задача сводится к оптимизации выпуклой функции  $F(x)$  на  $E$ , а эта задача, в свою очередь, может быть решена по-разному, в частности и двумя путями, учитывающими геометрические свойства  $E$  и  $M$ :

- первый подход применяется для комбинаторных множеств, расположенных на гиперсфере, и к которым относится абсолютное большинство из вышеперечисленных множеств, основан на релаксации условия комбинаторности и решении серии непрерывных задач на гиперсфере и комбинаторном многограннике [Стоян, 1989];
- второй подход основывается на отсутствии у вершинно расположенных множеств внутренних точек, носит название «метод комбинаторного отсека» и состоит в решении серии условных непрерывных задач на многограннике [Емец, 1992].

В данной работе представлен алгоритм построения выпуклых продолжений полиномов, заданных на множестве полиперестановок, который использует изученные его свойства.

**Основная часть**

Рассмотрим  $n$ -элементное мультимножество  $G = \{g_j\}_{j \in J_n}$  ( $J_n = \{1, \dots, n\}$ ) [Стоян, 1993]. Выделим в нем  $L \geq 1$  подмультимножеств  $G^{(l)}$ ,  $l \in J_L$ :

$$G = G^{(1)} \cup \dots \cup G^{(L)}, G^{(i)} \cap G^{(j)} = \emptyset, i \neq j \quad (1)$$

и будем представлять следующим образом:

$$G = \{G^{(l)}\}_{l \in J_L}. \quad (2)$$

Введем обозначение для мощности  $G^{(l)}$ :

$$n_l = |G^{(l)}|, l \in J_L, n = \sum_{l=1}^L n_l. \quad (3)$$

Введем в рассмотрение множества перестановок из мультимножеств  $G^{(l)}$  ( $l \in J_L$ ) и полиперестановок из  $G$  как декартового их произведения, а также векторы мощностей мультимножеств  $G^{(l)}$  и их основ  $S(G^{(l)})$ ,  $l \in J_L$  [Стоян, 1993]:

$$\bar{n} = (n_1, \dots, n_L), \bar{k} = (k_1, \dots, k_L), k_l = |S(G^{(l)})| \quad (l \in J_L), \quad (4)$$

т.о.  $E_{n_k} (G^{(l)})$  – евклидовы комбинаторные множества (ЕКМ)  $n_l$ -перестановок с  $G^{(l)}$  ( $l \in J_L$ ); (5)

$$E_{\bar{n}\bar{k}}^L(G) = E_{n_k} (G^{(1)}) \times \dots \times E_{n_k} (G^{(L)}) - \quad (6)$$

ЕКМ полиперестановок из мультимножеств  $G$ . Представим элемент полиперестановок (6)

$$x \in E_{\bar{n}\bar{k}}^L(G) \subset R^n \quad (7)$$

через элементы перестановок (5) - векторы

$$x^{(l)} \in E_{n_k} (G^{(l)}) \in R^{n_l}, l \in J_L. \quad (8)$$

В соответствии с разбивкой (1) мультимножества  $G$  на подмультимножества выделим в векторе  $x$  вида (7) подвектора (8):

$$x = \{x^{(l)}\}_{l \in J_L}, \quad (9)$$

которые также будем называть группами переменных  $\Gamma_l$  ( $l \in J_L$ ).

Пусть  $I_l$  – множество номеров переменных группы  $\Gamma_l$ , т.е.

$$I_1 = \{1, \dots, n_1\}, I_2 = \{n_1 + 1, \dots, n_1 + n_2\}, \dots, I_L = \{n - n_L + 1, \dots, n\}. \quad (10)$$

Если ввести в рассмотрение величину, отображающую номера последней переменной группы

$\Gamma_l: n_l^0 = \sum_{l'=1}^l n_{l'}$ , ( $l \in J_L$ ), будем иметь:

$$I_l = J_{n_l^0} \setminus J_{n_{l-1}^0}, l \in J_L, n_0^0 = 0, J_0 = \emptyset. \quad (11)$$

Теперь подвектора  $x^{(l)}$  вектора  $x$  в записи (9) и  $G^{(l)}$  в (2) будут представляться также в виде:

$$x^{(l)} = \{x_j\}_{j \in I_l}, G^{(l)} = \{g_j\}_{j \in I_l}, l \in J_L. \quad (12)$$

Будем считать, что элементы  $G^{(l)}$  неорицательные и упорядоченные по неубыванию, т.е.:

$$0 \leq g_j \leq g_{j+1}, \quad j \in I_l - 1, \quad l \in J_L. \quad (13)$$

Рассмотрим произвольную функцию, определенную на ЕКМ  $E$ :

$$f(x), \quad x \in M, \quad (14)$$

Поставим задачу поиска выпуклого продолжения (ВП) функции  $f(x)$  с  $E$  в  $R_+^n$ , т.е. такой функции  $F(x)$ , которая бы была выпуклой в  $R_+^n$  и совпадала с  $f(x)$  на  $E$  [Стоян, 1988], т.е.

$$F(x): \forall x \in R_+^n \quad F(x) - \text{выпуклая}, \quad f(x) \stackrel{E}{=} F(x). \quad (15)$$

Оказывается, что для вершинно расположенных ЕКМ, т.е. таких, что  $E = \text{vert}(\text{conv}(E))$ , это возможно [Яковлев, 1994].

В качестве функции (14) будем рассматривать полиномы, в качестве ЕКМ - множество полиперестановок

$$E = E_{nk}^L(G) \quad (16)$$

которое, как известно, вершинно расположено [Стоян, 1988], поскольку, с одной стороны, является подмножеством множества перестановок с  $G$  [Яковлев, 1994], а с другой - представляет собой декартово произведение множеств перестановок (см. (7)). Пусть  $m$  - степень полинома, т.е.

$$f(x) = P_m(x) = \sum_{i=1}^h a_i b_i f_i(x), \quad (17)$$

где  $h$  - количество слагаемых,

$$f_i(x) = \prod_{j=1}^n x_j^{r_{ij}}, \quad a_i \in R, \quad b_i = \{\pm 1\}, \quad i \in J_h, \quad (18)$$

$$r_{ij} \geq 0, \quad r_{ij} \in Z, \quad i \in J_h, \quad j \in J_n, \quad (19)$$

итак,  $r_{ij}$  - степень при переменной  $x_j$  в  $i$ -ом слагаемом функции (17).

Если обозначить через  $m_i$  - степень одночлена (18), будем иметь:

$$m_i = \sum_{j=1}^n r_{ij}, \quad i \in J_h, \quad (20)$$

$$m = \max_i m_i. \quad (21)$$

Во введенных обозначениях (11) одночлены  $f_i(x)$  вида (18) также переписываются:

$$f_i(x) = f_i = \prod_{l=1}^L \prod_{j \in I_l} x_j^{r_{ij}}, \quad i \in J_h. \quad (22)$$

Обозначим через  $f_{il}(x^{(l)})$  часть  $f_i(x)$ , которая является функцией от переменных группы  $\Gamma_l$ :

$$f_{il} = f_{il}(x^{(l)}) = \prod_{j \in I_l} x_j^{r_{ij}}, \quad i \in J_h, \quad l \in J_L. \quad (23)$$

Тогда, с учетом (23), выражения (20), (22) можно переписать в виде

$$f_i(x) = \prod_{l=1}^L f_{il}(x^{(l)}) \quad \text{или} \quad f_i = \prod_{l=1}^L f_{il} \quad (i \in J_h), \quad (24)$$

$$m_i = \sum_{j=1}^n r_{ij} = \sum_{l=1}^L \sum_{j \in I_l} r_{ij}, \quad i \in J_h. \quad (25)$$

При построении ВП  $F(x)$  функции (14) вида (17) существенно будем использовать:

А) свойства полиперестановок (16), в частности то, что симметричный полином постоянен не только на полиперестановках вообще, но и на каждой из групп  $\Gamma_l$  [Стоян, 1988], в том числе справедливо:

$$\forall r \prod_{j \in I_l} x_j^r = \prod_{j \in I_l} g_j^r, \quad \sum_{j \in I_l} x_j^r = \sum_{j \in I_l} g_j^r, \quad l \in J_L. \quad (26)$$

Если ввести обозначение

$$\prod_{j \in I_l} g_j^r = A_l^r, \quad \sum_{j \in I_l} x_j^r = B_l^r, \quad (27)$$

(26) переписется:

$$\prod_{j \in I_l} x_j^r = A_l^r, \quad \sum_{j \in I_l} x_j^r = B_l^r, \quad l \in J_L, \quad (28)$$

откуда, в частности, имеем:

$$\forall l \in J_L, j^{(l)} \in I_l - x_{j^{(l)}}^r = \sum_{j \in I_l, j \neq j^{(l)}} x_j^r - B_l^r, \quad A_l = A_l^1 = \prod_{j \in I_l} x_j; \quad (29)$$

Б) представление произведения функций в следующем виде:

$$\pm f'(x) \cdot f''(x) = \frac{1}{2} \left[ (f'(x) \pm f''(x))^2 - f'^2(x) - f''^2(x) \right]. \quad (30)$$

### **Алгоритм нахождения выпуклого продолжения полинома**

**Шаг 1. Выделение в полиноме  $f(x) = P_m(x)$  отдельных слагаемых.**

Представляем полином (17) суммой одночленов  $f_i(x)$  ( $i \in J_h$ ) вида (18). Далее все шаги будем выполнять для каждого слагаемого по-отдельности.

**Шаг 2. Выделение в каждом слагаемом частей, отвечающих отдельным группам полиперестановок  $\Gamma_l$ ,  $l \in J_L$ .**

Каждое слагаемое  $f_i(x)$  вида (18) представляем произведением функций от переменных разных групп, т.е. формируем представление (24).

**Шаг 3. Снижение степеней слагаемых полинома.**

**Замечание 1.** Данный этап осуществляется, если по меньшей мере в одном одночлене (18) присутствуют все переменные хотя одной группы  $\Gamma_l$ , т.е.:

$$\exists i \in J_h, l \in J_L : \forall j \in I_l \quad r_{ij} > 0. \quad (31)$$

Пусть

$$s_{ij} = \min_{j \in I_l} r_{ij}, \quad i \in J_h, \quad l \in J_L, \quad (32)$$

тогда (31) переписывается

$$\exists i' \in J_h, l' \in J_L : \forall j \in I_{l'} \quad s_{i'j} > 0. \quad (33)$$

Сформируем множества

$$l' L' = \{(i', l') : \forall j \in l', s_{i', j} > 0\}, \quad ll = J_h \times J_L, \quad \overline{l' L'} = ll \setminus l' L'. \quad (34)$$

Осуществим переход:

$$r_{ij} \rightarrow r'_{ij} = r_{ij} - s_{il}, \quad i \in J_h, \quad j \in l, \quad l \in J_L, \quad (35)$$

Учитывая (28) и (35), выражение (23) перепишем:

$$f_{il} = f_{il}(x^{(l)}) = \prod_{j \in l_i} x_j^{s_{ij}} \prod_{j \in l_i} x_j^{r'_{ij}} \stackrel{E}{=} A_i^{s_{ij}} \cdot \prod_{j \in l_i} x_j^{r'_{ij}} = A_i^{s_{ij}} \cdot \prod_{j \in M_{il}} x_j^{r'_{ij}} = A_i^{s_{ij}} \cdot \overline{f_{il}}(x^{(l)}) = A_i^{s_{ij}} \cdot \overline{\overline{f_{il}}}, \quad (36)$$

где

$$M_{il} = \{j \in l_i : r'_{ij} > 0\} - \text{множество номеров переменных,} \quad (37)$$

$$t_{il} = |M_{il}| < n_i - \quad (38)$$

количество переменных, оставшихся в части слагаемого  $f_{il}$  после шага 3 ( $i \in J_h, l \in J_L$ );

$$\overline{\overline{f_{il}}}(x^{(l)}) = \prod_{j \in M_{il}} x_j^{r'_{ij}} - \quad (39)$$

функция, сосредоточивающая произведение переменных группы  $\Gamma_l$ , присутствующих в каждом  $i$ -ом слагаемом ( $i \in J_h, l \in J_L$ ).

Таким образом осуществлен переход

$$f_{il} = f_{il}(x^{(l)}) \xrightarrow{E} \overline{\overline{f_{il}}}(x^{(l)}) = \overline{\overline{f_{il}}}, \quad i \in J_h, \quad l \in J_L. \quad (40)$$

Обозначим через  $\overline{\overline{A_i}}$  – уточненный коэффициент при переменных в  $i$ -ом слагаемом

$$\overline{\overline{A_i}} = a_i \prod_{l=1}^L A_i^{s_{il}}, \quad (41)$$

который, учитывая (13), будет неотрицательным ( $i \in J_h$ ).

Таким образом от  $i$ -го слагаемого выражения (17) на  $E$  мы, в силу (40), перешли к новому:

$$a_i b_i f_i(x) \xrightarrow{E} \overline{\overline{A_i}} b_i \overline{\overline{f_i}}(x), \quad (42)$$

где

$$\overline{\overline{f_i}}(x) = \prod_{l=1}^L \overline{\overline{f_{il}}}(x^{(l)}), \quad i \in J_h, \quad (43)$$

соответственно от исходного полинома (17) осуществили переход.

$$f(x) \xrightarrow{E} \overline{\overline{f}}(x) = \sum_{i=1}^h \overline{\overline{A_i}} b_i \overline{\overline{f_i}}(x). \quad (44)$$

Замечание 2. Для заданного  $i \in J_h$  шаг 3 не производим, если выполнено:  $\sum_{l=1}^L \min_{j \in l_i} r_{ij} = 0$ .

Замечание 3. На данном этапе некоторые группы переменных могут исчезнуть, если  $f_{il}(x^{(l)})$  на  $E$  имеет постоянное значение, т.е.,

$$\exists i \in J_h, l \in J_L : f_{il}(x^{(l)}) \xrightarrow{E} \overline{\overline{f_{il}}}(x^{(l)}) = 1. \quad (45)$$

**Шаг 4. Определение количества групп полиперестановок в слагаемых.**

Очевидно, что в  $i$ -ом слагаемом  $\bar{f}(x)$  вида (44) присутствуют элементы группы  $\Gamma_i$  ( $i \in J_h$ ,  $l \in J_L$ ), если степень одночлена  $\bar{f}_i$  вида (36) положительна, что происходит в случае непустоты множества  $M_i$  вида (37):

$$M_i \neq \emptyset. \quad (46)$$

Введем обозначение для множества групп переменных в каждом из слагаемых  $\bar{f}(x)$  вида (44) с учетом (38):

$$N_i = \{l \in J_L : M_{il} \neq \emptyset\} = \{l \in J_L : t_{il} > 0\} \quad (i \in J_h) \quad (47)$$

и их мощностей

$$T_i = |N_i|, \quad i \in J_h. \quad (48)$$

Как видно, именно величины (48) определяют количество групп переменных, присутствующих в  $i$ -ом слагаемом (44).

**Замечание 4.** Если для заданного  $i \in J_h$ :

А)  $T_i = 0$ ,  $i$ -ое слагаемое (44) представляет собой константу и не нуждается в дальнейших преобразованиях;

Б) выполнено

$$T_i = 1, \quad (49)$$

т.е. в слагаемом присутствует лишь одна группа переменных, переходим на шаг 6;

В) выполнено:

$$T_i > 1, \quad (50)$$

т.о., в слагаемом присутствуют несколько групп переменных, выполняем шаг 5 отделения групп переменных.

**Шаг 5. Отделение групп переменных.** На данном этапе каждое слагаемое представляется в виде произведения двух функций от разных групп переменных и производится преобразование этого произведения с целью получения алгебраического выражения, содержащего составляющие, зависящие лишь от одной группы полиперестановок.

Итак, представим множество (47) в форме:

$$N_i = \{l_1, \dots, l_{|N_i|}\} = \{l_i\}_{l_i \in J_{T_i}}. \quad (51)$$

Как указано в замечании 4, данный шаг выполняется при условии (50), т.е. возможно разбиение множества (51) на два непустые множества:

$$N_i = N'_i \cup N''_i, \quad i \in J_h, \quad (52)$$

$$N'_i = \left\{ l_1, \dots, l_{\lfloor \frac{T_i+1}{2} \rfloor} \right\} \neq \emptyset, \quad N''_i = \left\{ l_{\lfloor \frac{T_i+1}{2} \rfloor + 1}, \dots, l_{T_i} \right\} \neq \emptyset, \quad i \in J_h. \quad (53)$$

Каждую из функций  $\bar{f}_i(x)$  вида (43), для которых (50) выполнено, представляем в виде произведения двух функций  $\bar{f}'_i$  и  $\bar{f}''_i$ :

$$b_i \bar{f}_i = b_i \bar{f}'_i \cdot \bar{f}''_i = \pm \bar{f}'_i \cdot \bar{f}''_i \quad (54)$$

где

$$\bar{f}'_i = \prod_{l \in N'_i} \bar{f}_{il}, \quad i \in J_h, \quad (55)$$

$$\bar{f}''_i = \prod_{l \in N''_i} \bar{f}_{il}, \quad i \in J_h. \quad (56)$$

Для выражения (55) используем (30):

$$b_i \bar{f}_i = \pm \bar{f}'_i \cdot \bar{f}''_i = \frac{1}{2} \left[ \left( \bar{f}'_i \pm \bar{f}''_i \right)^2 - \bar{f}'_i{}^2 - \bar{f}''_i{}^2 \right], \quad i \in J_h. \quad (57)$$

Теперь повторяем данный шаг для  $\bar{f}'_i, \pm \bar{f}''_i, -\bar{f}'_i{}^2, -\bar{f}''_i{}^2$  и так далее, пока в выражении (52) остаются произведения нескольких функций, определенных на разных группах  $\Gamma_l, \Gamma_{l'}, l \neq l', l, l' \in J_L$ , т.е. до выполнению условия типа (44) для  $N'_i, N''_i$ :

$$T'_i = T''_i = 1, \quad (58)$$

где  $T'_i = |N'_i|, T''_i = |N''_i|$  - число групп переменных, присутствующих в функциях  $\bar{f}'_i, \bar{f}''_i$  соответственно.

**Шаг 6. Отделение переменных одной группы.** На данном этапе по аналогии с шагом 5 осуществляются преобразование по получению алгебраического выражения с составляющими типа  $a \cdot x_j^r, j \in I_n, r \in N$ .

Таким образом шаги 4, 5 повторяем с целью отделения всех переменных в окончательном представлении. Шаг 6 выполняется по слагаемым и группам с несколькими переменными одной группы, т.е. для таких

$$i \in J_h, \quad l \in J_L: |M_{il}| = t_{il} > 1. \quad (59)$$

Множества  $M_{il}$ , для которых выполнено (59), разбиваем подобно (52), (53) на два непустых множества:

$$M_{il} = M'_{il} \cup M''_{il}, \quad (60)$$

$$M'_{il} = \left\{ l^{(i)}_{\tilde{n}}, \dots, l^{(i)}_{\left[ \frac{\tilde{n}+1}{2} \right]} \right\} \neq \emptyset, \quad M''_{il} = \left\{ l^{(i)}_{\left[ \frac{\tilde{n}+1}{2} \right]+1}, \dots, l^{(i)}_{\tilde{n}} \right\} \neq \emptyset. \quad (61)$$

По аналогии с (54) представляем каждую функцию  $f_{il}$  вида (36) в виде произведения двух функций от разных переменных  $\Gamma_l$  и заменяем это произведение по формуле (30):

$$b_i f_{il} = b_i f_{il}(x^{(l)}) = \pm f'_{il}(x^{(l)}) \cdot f''_{il}(x^{(l)}) = \pm f'_{il} \cdot f''_{il} = \frac{1}{2} \left[ \left( f'_{il} \pm f''_{il} \right)^2 - f'_{il}{}^2 - f''_{il}{}^2 \right]. \quad (62)$$

Шаг 6 повторяем до тех пор, пока в полученном выражении остаются произведения нескольких переменных  $x_j, x_{j'}, j \neq j', j, j' \in I_l$ .

**Замечание 5.** Если ввести обозначение:

$$t'_{il} = |M'_{il}|, \quad t''_{il} = |M''_{il}|, \quad (63)$$

условие окончания итерационного процесса отделения переменных будет подобным до (58):

$$t'_{il} = t''_{il} = 1, \quad (64)$$

**Шаг 7. Замена нелинейных составляющих с отрицательным знаком.**

В полученном на предыдущих этапах выражении будет существенное количество составных с отрицательным знаком вида  $-x_{j^{(r)}}^r, j^{(r)} \in I_r, r \in N \setminus \{1\}$ , которые, очевидно, невыпуклы. Для них проводим эквивалентную на  $E$  замену выпуклой функцией по формуле (29).

Итак, поскольку сумма выпуклых функций, выпуклая функция в четной степени и степенная функция  $x^r$  ( $x \in R_+^n, r \in N$ ) являются выпуклыми, полученная в результате выполнения данного алгоритма функция, будет выпуклой при  $x \in R_+^n$ , что и требовалось при построении искомого ВП с  $E$ , поскольку по условию (см. (13)) мы рассматриваем неотрицательную часть пространства  $R$ .

---

### Выводы

Данная работа является продолжением исследований по построению выпуклых продолжений из множества полиперестановок в множество  $R_+^n$  и предлагает алгоритм, совершенствующий приведенный в [Валуйская, 2002], исходя из исследованных свойств полиперестановок, и который, в отличие от [Романова, 2002], содержит существенно меньшее количество составляющих, а их число не зависит от знаков слагаемых исходного полинома.

Задачи оптимизации на полиперестановках, в частности на перестановках, довольно часто встречаются в оптимальном планировании и геометрическом проектировании [Стоян, 1989], таким образом предложенный алгоритм должен помочь в решении этих задач, которые традиционно считаются достаточно сложными.

Следует также отметить, что чрезвычайно широкий класс булевых задач также относится к оптимизационным на вершинно расположенном множестве размещений с повторениями из 0 и 1. При построении ВП в этом случае предлагается комбинировать свойства данного ЕКМ приведенный выше алгоритм.

---

### Библиография

- [Стоян, 1988] Ю. Г. Стоян, С. В. Яковлев. Построение выпуклых и вогнутых функций на перестановочном многограннике // Докл. АН УССР. Сер. А. – 1988. – № 5. – С. 68–70.
- [Яковлев, 1994] С. В. Яковлев. Теория выпуклых продолжений функций на вершинах выпуклых многогранников // Журн. вычисл. математики и мат. физики. – 1994. – Т. 34. – № 7. – С. 1112–1119.
- [Стоян, 1993] Ю. Г. Стоян, О. О. Емец. Теорія і методи евклідової комбінаторної оптимізації. – К. : Ін-т системн. дослідж. освіти, 1993. – 188 с.
- [Стоян, 1989] Ю. Г. Стоян, С. В. Яковлев, О. В. Паршин. Оптимизация квадратичных функций на множестве перестановок, отображенном в  $R^n$  // Докл. АН УССР. Сер. А. – 1989. – № 5. – С. 73–78.
- [Емец, 1992] О. А. Емец. Евклидовы комбинаторные множества и оптимизация на них. Новое в математическом программировании : учебн. пособ. – К. : УМК ВО, 1992. – 92 с.
- [Валуйская, 2002] О.О. Валуйская, О. С. Пичугина, С.В. Яковлев. Выпуклые продолжения полиномов на комбинаторных множествах и их приложения // Радиоэлектроника и информатика. – 2002. – №2. – С.121-129.
- [Романова, 2002] О. А. Валуйская, О. А. Емец, Н. Г. Романова. Выпуклое продолжение многочленов, заданных на полиперестановках, модифицированным методом Стояна-Яковлева // Журн. вычисл. математики и мат. физики. - 2002. – Т. 42. – № 4. – С. 591–596.

---

### Информация об авторах

**Пичугина Оксана Сергеевна** – доцент кафедры прикладной математики, информатики и математического моделирования Полтавского национального технического университета имени Юрия Кондратюка, [pichugina\\_os@mail.ru](mailto:pichugina_os@mail.ru)

---

---

## COMPUTING

---

---

### SYSTEM OF PROGRAMS PROVING

**Alexander Letichevsky, Olexander Letichevskiy,  
Marina Morokhovets, Vladimir Peschanenko**

**Abstract:** *The paper is devoted to the methods of programs proving in the Insertion Modeling System IMS. Architecture and functional possibilities of IMS, the main notions of insertion modeling were presented in this work. Floyd's insertion machine and the methods of the satisfiability checking, and the usage of those methods for programs proving were described in the paper.*

**Keywords:** *multi-agent systems, insertion modeling, program proving.*

**ACM Classification Keywords:** *D.2 SOFTWARE ENGINEERING D.2.4 Software/Program Verification.*

---

#### Introduction

---

The system of programs proving - a new and modern system programs proving that is designed to maintain a high level of training of qualified specialists in the field of programming. This system is designed on the basis of insertion modeling system IMS [IMS, 2011], the algebraic programming system APS [APS, 1989], developed in the last century at the Glushkov Institute of Cybernetics [CYB, 2012], with the participation of authors of Kherson State University [KSU, 2012] under the leadership of prof. Alexander Letichevsky.

Ukraine has a high potential for training in information technologies. These specialists are appreciated throughout the world, primarily because a system of basic training in information technologies, especially of software developers, is created in our country. However, their training lags behind the world level, because it is very important not only to write programs, but to verify, improve reliability and efficiency. To do this, for example, Microsoft has created a new system of Spec # [SPEC, 2012], which is connected to the development of the highest qualification specialists: mathematicians, engineers, etc.

Recently the idea of using high-tech industries of software, which proved correct, has become increasingly popular in the world. However, in the software market of Ukraine and abroad the software products able to prove the correctness of programs are absent. This is due to the fact in order to create such software it is required very qualified specialists in sphere of technologies, as well as in basic sciences. In addition, when mastering training courses of relevant disciplines, students don't have opportunities to learn proving programming with use of modern software. The use of such system of proving programming in higher educational institutions of Ukraine may significantly improve the quality of basic training of our programmers.

The article is devoted to proving methods of program correctness in insertion modeling system IMS. The section "Possibilities – Present and Future" describes the present possibilities of our system and shows the future opportunities of it. The section "Insertion modeling" provides basic information about the insertion modeling, and describes the architecture and functionality of the Insertion Modeling System IMS. The following section

describes the architecture of the insertion machine system IMS, developed for the validation of programs and based on the method of Floyd annotation programs. In the section "Tools for checking the satisfiability of formulae" attention is paid to the methods of checking the satisfiability of formulae that arise in the process of correctness proving of programs using Floyd. In the section "Example of programs proving" describes some applications of the method of Floyd insertion machine to verify imperative program.

---

### **Possibilities – Present and Future**

---

Program's proving system should ideally consist of the following modules: Preparation module, Verification module, Dialog module, Knowledge of verification module.

The functionality of Preparation module:

- creates an environment for the annotated program;
- proposes set of various kinds of annotated examples of the programs;
- configures the subject area by type of verifiable programs (sequential, parallel), in the form of assertions in the annotations to be checked (approval of the integers, real numbers etc), by type of structured objects (defined by a set of tools required for verification);
- configures the subsystem verification.

The functionality of Verification module:

- proves the statements of annotations (using internal and external tools of the system);
- proves and checks satisfiability of statements in various subject areas.

The functionality of Dialog module:

- provides opportunities to follow the process of verification, giving hints;
- prepares a report on verification with varying degrees of details;
- allocates errors in the program;
- gives recommendations for program improving (if the result of the verification program is not recognized as correct).

The functionality of Knowledge of verification module:

- stores annotated examples of programs of various kinds;
- stores general recommendations for creation of annotations;
- stores other background information (syntax of annotation, etc).

This article discusses the first proving programming system version including only the Verification module. Other modules will be discussed in the future publications of the authors.

---

### **Insertion modeling**

---

Insertion modeling - an approach to modeling complex distributed systems based on the theory of interaction of agents and environments [Letichevsky, 1996]. Mathematical foundations of this theory have been presented in [Letichevsky, 1998]. During the last decade insertion simulation was used to verify the software requirements [Letichevsky, 2008]. Theory of Interaction of agents and environments has been proposed as an alternative to known theories of interaction, such as Milner's CCS [Milner, 1989] and the  $\pi$ -calculus [Milner, 1999], CSP Hoare [Hoare, 1985] and mobile ambient Cardelli [Cardelli, 1998], etc. The idea of decomposition of the system and

presenting it as a composition of the medium and agents that are immersed in this environment is implicit in all theories of interaction.

Another source of ideas for the insertion modeling is to find universal programming paradigms (i.e. ASM Gurevich [Gurevich, 1995], the universal theory of programming Hoare [Hoare, 1998], rewriting logic Meseguer [Meseguer, 1992]). These ideas have been adopted as the basis for insertion modeling system IMS [IMS, 2003], developed as an extension of the algebraic programming system APS [APS, 1989]. The first version of the IMS system and some simple examples of its use can be found in [APS&IMS, 2012]. IMS has many successful applications, one of these applications, the focus of this work, the proving of programs correctness in the insertion modeling.

**Floyd's insertion machine.** The study process validation program has a long history that began with the work of Hoare [Hoare, 1969] and Floyd [Floyd, 1967]. Conditions for the correctness of the program are of the form  $\alpha \rightarrow \langle P \rangle \beta$  or  $\alpha \rightarrow [P]\beta$ . Formula  $\alpha$  and  $\beta$  (pre- and post-condition) are the formulae of the language specification (i.e., language, first order predicate calculus),  $P$  - the specification of the program (it is assumed that the initial state of memory is given). The first formula means if the condition  $\alpha$  is valid and the program  $P$  terminates, then the condition  $\beta$  is also valid in the final state of memory. The second formula  $\beta$  is correct and complete and it means that if the condition  $\alpha$  is valid, then the program ends and the condition  $\beta$  is also valid.

In the current implementation of the system, we consider the reduced version of the analytical insertion machine (it is designed for the analysis of the model, check its properties, etc.) based on the annotation of programs by Floyd.

Usually, insertion function is denoted as  $E[u]$  where  $E$  is the state of environment and  $u$  is the state of an agent (agent in a given state).  $E[u]$  is a new environment state after insertion an agent  $u$ . So, the expression  $E[u[v], F[x, y, z]]$  denotes the state of a two level environment with two agents inserted into it. At the same time  $E$  is an external environment of a system  $F[x, y, z]$  and  $F$  is an internal environment of it. All agents and environments are labeled or attributed transition systems (labeled systems with states labeled by attribute labels [Letichevsky, 2008]). The states of transition systems are considered up to bisimilarity, denoted as  $\sim_B$ . This means that we should adhere to the following restriction in the definition of states: if  $E \sim_B E'$  and  $u \sim_B u'$  then  $E[u] \sim_B E'[u']$  ( $\sim_B$  denotes bisimilarity).

The general architecture of insertion machine is presented on fig. 1.

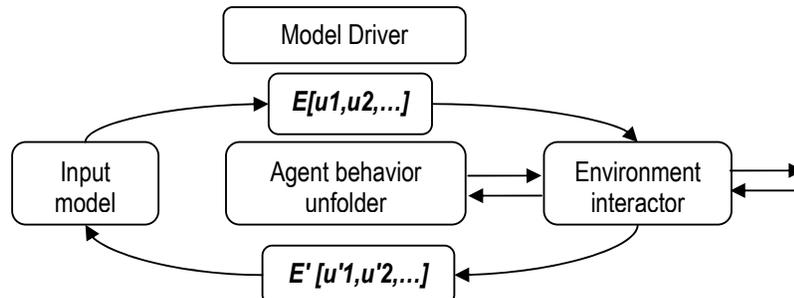


Fig. 1. The general architecture of insertion machine

The main component of insertion machine is model driver, the component which controls the machine movement along the behavior tree of a model. The state of a model is represented as a text in the input language of insertion machine and is considered as an algebraic expression. The input language of *Input model* includes the recursive definitions of agent behaviors, the notation for insertion function, and possibly some compositions for environment states. Before computing insertion function the state of a system must be reduced to the form  $E[u_1, u_2, \dots]$ . This

functionality is performed by the module called *Agent behavior unfolder*. To make the movement, the state of environment must be reduced to the normal form

$$\sum_{i \in I} a_i \cdot E_i + \varepsilon$$

where  $a_i$  are actions,  $E_i$  are environment states,  $\varepsilon$  is a termination constant. This functionality is performed by the module *Environment interactor*. It computes the insertion function calling if it is necessary the *Agent behavior unfolder*. If the infinite set  $I$  of indices in the normal form is allowed, then the weak normal form  $a.F + G$  is used, where  $G$  is arbitrary expression of input language.

The insertion function of Floyd's insertion machine is the permitting function for sequential or parallel insertion. Formulae of predicate calculus are environment state. The transition relation of system is presented by the following rules:

$$\begin{aligned} \varphi(p) &\xrightarrow{\text{ask } u} (\varphi \wedge [p]u), \text{Sat}(\varphi \wedge [p]u) \\ \varphi(p) &\xrightarrow{x:=y} \varphi[p^*(x := y)] \\ \varphi(p) &\xrightarrow{\text{go to } L} \varphi[p, \text{model}.L] \\ \varphi(p) &\xrightarrow{\text{assumption}(\psi)} (\varphi \wedge [p]\psi)[p] \\ \varphi(p) &\xrightarrow{\text{assertion}(\psi)} \psi[\text{empty}], \neg \text{Sat}(\varphi \rightarrow [p]\psi) \\ \varphi(p) &\xrightarrow{\text{assertion}(\psi)} 0, \text{Sat}(\varphi \rightarrow [p]\psi) \\ \varphi(p) &\xrightarrow{\text{stop}} \varphi[\text{Delta}] \end{aligned}$$

Here  $p$  is a parallel assignment or  $\Delta$  (successful termination state). Function  $\text{Sat}(u)$ , which checks satisfiability of formula  $u$ , is used for permitting conditions. Conditional operator *If  $u$  then  $P$  else  $Q$*  is considered as functional expression and is translated by unfolder by means of the rule:

$$\text{If } u \text{ then } P \text{ else } Q = \text{ask } u.P + (\text{ask } \neg u).Q$$

Loops operators and other programming constructions could be introduced in a similar way. The Floyd's machine could prove the partial correctness of nondeterministic program, because nondeterministic choice is an initial operation of an input language of the system. If unfolding for parallel composition is defined, then Floyd's machine could prove a partial correctness of parallel programs over shared memory.

---

### Tools for checking the satisfiability of formulae

---

The system uses two different kinds of algorithms: internal and external. Three constants are used for resulting of each satisfiable algorithm:

- *proved* means that a input formulae is satisfiable;
- *refuted* means that a input formulae is not satisfiable;
- *not proved* means that an input formula can't be checked by algorithm because of some restrictions (non-linearity of the formula - a formula in which the variables are found with degree more than one, etc).

The general algorithm of checking satisfiability of formulae looks like the next sequences of rules:

- *it is used first internal algorithm*. If it returns *proved(refuted)* then returns *proved(refuted)*, if it returns *not proved* then uses external algorithm.
- *it is used external algorithm*. If it returns *proved(refuted)* then returns *proved(refuted)*, if it returns *not proved* then uses the next external algorithm if it exists, and if not then asks user for answer.

**Internal satisfiability checking algorithm.** First, superpositions of functional expressions are eliminated by successive substitution of every innermost occurrence of  $f(x)$  by a new variable  $y$ , bound with an existential quantifier, and adding the formula  $y = f(x)$ . For example, formula  $P(f(g(x)))$  is replaced by formula  $\exists y((y = g(x)) \wedge P(f(y)))$ . After all of such replacements, there will no more nested functional expressions. For every attribute expression  $f$  of array or functional type, all its occurrences  $f(x_1), f(x_2), \dots$  with different parameters  $x_1, x_2, \dots$  are considered:  $f(x_i)$  is replaced by variable  $y_i$ , bound with an existential quantifier, and equations  $(x_i = x_j) \rightarrow (y_i = y_j)$  are added. At this point, there will be only simple attributes and the method for simple attributes is applied. Elimination of functional expressions imposes restrictions on the range of values of arguments for the functional attributes of type array with integer or enumerated indexes. For example, if the attribute  $f$  has a type  $array(m, \tau)$ , where  $m$  is a number, and  $\tau$  is an enumerated type with constants  $a_1, a_2, \dots$ , then during elimination of functional expression  $f(i, u)$ , the generated formula will include conjunctive constraints  $0 \leq i \wedge i \leq m - 1 \wedge (u = a_1 \vee u = a_2 \vee \dots)$ .

The result is a closed formula (i.e. a formula not containing attributes) and all bound variables have types integer, real, or symbolic, or are enumerated types.

The deductive system of IMS contains three specialized provers: an integer prover for Pressburger arithmetic, the Furie-Motskin algorithm for linear arithmetic over reals, and a symbolic prover that includes an algorithm of finding the most general solution for a system of symbolic equations (modified Montanari-Rossi algorithm of unification integrated with numerical provers). More details about internal satisfiable algorithm are in [SAT, 2012]

**External satisfiability checking algorithms.** We provide the next interface for developers to integration of external tools for satisfiable checking:

- Three specific constants are implemented in class Clew[APS,1989]: *proved*, *refuted*, *not\_proved* (this class is a set of functions for working with tree).
- The function *put\_result* of class Clew tells the interpreter that APLAN [APS, 1989] procedure returns a value.
- The procedure should set the result to a predefined name APLAN verdict (*proved*, *refuted*, *not\_proved*).
- The input function enters the formulae and description of environmental data types.

In current version of the system we implement interface of *cvc3* prover [CVC3,2012]. However, the number of systems used to test the feasibility can be extended, for example, using the following system: MathSat [MathSat, 2012], Vampire [Vampire, 2012], etc.

---

### Example of programs proving

---

Let's consider a simple example of an integral function defined recursively:  $f(1) = 1$ ,  $f(n + 1) = f(n) + (n + 1)$ .

We write a program to compute this function, using the operators adopted in procedural programming languages:

```
fc := 0; k := n; /* assignment of initial values */
```

```
L1 : k := k - 1; /* the loop calculations */
```

```
L2 : (k ≥ 1) → (fc := fc + (k + 1)) else (fc := fc + 1; go to L3); go to L1; /* verification of the loop */
```

```
L3 : stop; /* program termination */
```

Here  $n$  - input variable determines the number of terms calculated amount,  $fc$  - output variable contains the result of computing the sum,  $k$  - loop variable.

For verification of program by means of IMS system it is required: to annotate a program ("mark" it with annotations) and to prepare verification environment.

Let's name the considering function *Sumpos*. Annotated program of its calculations, prepared for the verification by means of IMS, has the following view:

```
make_model(
  L0 : assumption :  $n \geq 1$ ;
       $fc := 0; k := n$ ;
  L1 :  $k := k - 1$ ;
  L2 : assertion : ( $Sumpos(n) = fc + Sumpos(k + 1) \wedge 0 \leq k \wedge k \leq n$ );
      ( $k \geq 1$ )  $\rightarrow (fc := fc + (k + 1))$  else ( $fc := fc + 1$ ; go to L3); go to L1;
  L3 : assertion : ( $fc := Sumpos(n)$ );
  stop);
verify L0;
```

In addition to rewriting rules, the verification environment contains a description of variables of program of function *Sumpos* calculating and formulae used for verification:

```
(program environment : obj(attributes : obj( $fc$  : int,  $k$  : int,  $n$  : int, Sumpos : int  $\rightarrow$  int);
  axioms :  $\forall (w : \text{int})$ (
    ( $w = 1$ )  $\rightarrow (Sumpos(w) = 1) \wedge$ 
     $\wedge (w > 1) \rightarrow (Sumpos(w) = Sumpos(w - 1) + w)$ ));
  initial : 1[empty]
);
```

The verification process is accompanied by messages screen output, allowing to monitor system performance. For example, in case of verification program, calculating the function *Sumpos*, message sequence has the following view:

- 1) *init*,
- 2) *start verify L0*,
- 3) *assumption ( $n \geq 1$ ) is consistent*,
- 4)  $fc := 0, k := n$ , *go to L1*,
- 5)  $k := k - 1$ , *go to L2*,
- 6) *assertion ( $(Sumpos\ n = fc + Sumpos(k + 1)) \wedge 0 \leq k \wedge k \leq n$ ) proved*,
- 7) *ask( $k \geq 1$ ),  $fc := fc + (k + 1)$ , go to L1*,
- 8)  $k := k - 1$ , *go to L2*,
- 9) *assertion ( $(Sumpos\ n = fc + Sumpos(k + 1)) \wedge 0 \leq k \wedge k \leq n$ ) proved*,
- 10) *ask( $\neg(k \geq 1)$ ),  $fc := fc + 1$ , go to L3*,
- 11) *assertion ( $fc = Sumpos(n)$ ) proved*,
- 12) *stop, running model finished, all space covered*

Verification was successful.

Let's describe in details the obtained trace step-by-step. 1) – making initialization of IMS, 2) – starting model verification from label L0, 3) – checking consistency of assumption by using **Sat** function, 4) – making assignments and go to the next label L1, 5) – make assignment and go to the next label L2, 6) – the assertion

was automatically proved, 7) – checking condition, making assignment and go to the next label  $L1$ , 8) making assignment and go to the next label  $L2$ , 9) the assertion was automatically proved, 10) the first part of this step is check condition  $ask(k \geq 1)$ , but this behavior is visited, then checking condition  $ask(\neg(k \geq 1))$ , making assignment and go to the next label  $L3$ , 11) the assertion was automatically proved, 12) making end operator *stop*, finish modeling process and this process covered all reachable states of search space.

---

## Conclusion

---

The developed system has been used successfully in the educational processes of Kyiv Taras Shevchenko National University and Kherson State University in teaching of proving programming. In the future we plan to expand the number of plug-ins in order to prove the satisfiability of formulae, and we will continue to prove partial correctness of programs on new examples (parallel programs, etc.).

Also we hope in the nearest future we will succeed in creation of rest modules, described in section:

“Possibilities: Present and Future”.

---

## Bibliography

---

- [IMS, 2011] A.A. Letichevsky, O.A.Letychevskiy, V.S. Peschanenko. Insertion Modeling System //PSI 2011, Lecture Notes in Computer Science, Vol. 7162, Springer, 2011.-p. 262-274.
- [APS, 1989] A. A. Letichevsky, J.V. Kapitonova, S.V. Konozenko. Algebraic programming system APS-1. In: O.M.Tammepuu, Informatics'-89, Proc. of the Soviet-French symp. Tallin, 1989, p.46-55.
- [CYB, 2012] Glushkov Institute of Cybernetics (Ukraine) [<http://www.icyb.kiev.ua>].
- [KSU, 2012] Kherson State University (Ukraine) [<http://www.ksu.ks.ua>].
- [SPEC, 2012] SPEC - Standard Performance Evaluation Corporation[<http://www.spec.org>].
- [Letichevsky, 1996] D.R. Gilbert, A.A. Letichevsky. A universal interpreter for nondeterministic concurrent programming languages//in: M. Gabbrielli (ed.), Fifth Compulog network area meeting on language design and semantic analysis methods, September 1996.
- [Letichevsky, 1998] A.A. Letichevsky and D.R. Gilbert. A General Theory of Action Languages// Cybernetics and System Analyses.-1998.-vol. 1.-p. 16-36.
- [Letichevsky, 2008] A. Letichevsky, J. Kapitonova, V. Kotlyarov, A. Letichevsky Jr, N. Nikitchenko, V. Volkov, and T. Weigert. Insertion modeling in distributed system design// Problems of Programming.-2008.-vol. 4.-p. 13-39.
- [Milner, 1989] R. Milner. Communication and Concurrency. Prentice Hall, 1989.
- [Milner, 1999] R. Milner. Communicating and Mobile Systems: the Pi Calculus, Cambridge University Press, 1999.
- [Hoare, 1985] C.A.R. Hoare. Communicating Sequential Processes. Prentice Hall, 1985.
- [Cardelli, 1998] Cardelli, L. and A.D. Gordon. Mobile Ambients // In Foundations of Software Science and Computational Structures, Maurice Nivat (Ed.)-1998.-LNCS 1378.-p. 140-155.
- [Gurevich, 1995] Y. Gurevich. Evolving Algebras // Lipari Guide. E. Borger (ed.), Specification and Validation Methods, Oxford University Press.-1995.-p. 9-36.
- [Hoare, 1998] C. A. R. Hoare and He Jifeng. Unifying Theories of Programming. Prentice Hall International Series in Computer Science, 1998.
- [Meseguer, 1992] J. Meseguer. Conditional rewriting logic as a unified model of concurrency// Theoretical Computer Science.-1992.- vol. 96.-p. 73-155.
- [IMS, 2003] A. Letichevsky, J. Kapitonova, V. Volkov, V.Vyshemirsky, A. Letichevsky Jr. Insertion programming//Cybernetics and System Analyses.-2003.-vol. 1.-p. 19-32.
- [APS&IMS, 2012] History of APS&IMS Systems[<http://apsystem.org.ua>].

- [Hoare, 1969] C. A. R. Hoare. An axiomatic basis for computer programming// Communications of the ACM.-1969.-vol. 12(10).-p. 576-580.
- [Floyd, 1967] R.W. Floyd. Assigning meanings to programs// Proceedings of the American Mathematical Society Symposia on Applied Mathematics, 1967, Vol. 19, pp. 19-31.
- [SAT, 2012] A. Letichevsky, O. Letichevskiy, T. Weigert, V. Peschanenko. Satisfiability for symbolic verification in VRS // Control Systems and Machines.-2012.-vol. 6 (in print).
- [CVC3,2012] CVC3: The CVC3 User's Manual[[http://www.cs.nyu.edu/acsys/cvc3/doc/user\\_doc.html](http://www.cs.nyu.edu/acsys/cvc3/doc/user_doc.html)].
- [MathSat, 2012] The MathSat 5 SMT Solver[<http://mathsat.fbk.eu/>].
- [Vampire, 2012] Vampire's Home Page[<http://www.vprover.org/>].
- 

### Authors' Information

---

**Alexander Letichevsky** – Head of the Department of Theory of Digital Automatic Machines of Glushkov Institute of Cybernetics. P.O. Box: 40 Glushkova ave., Kyiv, Ukraine, 03187; e-mail: [let@cyfra.net](mailto:let@cyfra.net)

Major Fields of Scientific Research: automatic-algebraic models of computer systems, algebraic theory of agents and environments, algebraic programming and computer algebra, artificial intelligence, verification

**Olexander Letichevskiy** – Researcher of the Department of Theory of Digital Automatic Machines of Glushkov Institute of Cybernetics. P.O. Box: 40 Glushkova ave., Kyiv, Ukraine, 03187; e-mail: [lit@iss.org.ua](mailto:lit@iss.org.ua)

Major Fields of Scientific Research: automatic-algebraic models of computer systems, algebraic theory of agents and environments, algebraic programming and computer algebra, artificial intelligence, verification

**Marina Morokhovets** - Senior Researcher of the Department of Theory of Digital Automatic Machines of Glushkov Institute of Cybernetics. P.O. Box: 40 Glushkova ave., Kyiv, Ukraine, 03187; e-mail: [marina.morokhovets@gmail.com](mailto:marina.morokhovets@gmail.com)

Major Fields of Scientific Research: automatic-algebraic models of computer systems, algebraic theory of agents and environments, algebraic programming and computer algebra, artificial intelligence, verification

**Vladimir Peschanenko** – Associate Professor of the Department of Informatics of Kherson State University. P.O. Box: 27, 40 rokiv Zhovtnya St., Kherson, Ukraine 73000; e-mail: [vpeschanenko@gmail.com](mailto:vpeschanenko@gmail.com)

Major Fields of Scientific Research: insertion modeling, algebraic programming, verification, mathematical pedagogical software, computer algebra algorithms, rewriting.

## ОБУЧЕНИЕ РЕКУРРЕНТНЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ МЕТОДОМ ПСЕВДОРЕГУЛЯРИЗАЦИИ ДЛЯ МНОГОШАГОВОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ НА ПРИМЕРЕ ХАОТИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА МАККЕЯ-ГЛАССА

Артем Чернодуб

**Abstract:** Рассматривается задача многошагового прогнозирования нелинейных динамических процессов. Описываются существующие нейросетевые методы прогнозирования на основе использования многослойного персептрона с линией задержек и рекуррентного многослойного персептрона. Описывается метод обучения нейросетей методом расширенного фильтра Калмана с вычислением производных методом обратного распространения во времени. Предлагается метод псевдорегуляризации для уменьшения эффекта исчезновения градиентов, что приводит к повышению качества прогнозирования в многошаговом случае. Приводятся результаты численных экспериментов на примере прогнозирования хаотического процесса Маккея-Гласса.

**Keywords:** псевдорегуляризация, рекуррентный многослойный персептрон, обратное распространение во времени, расширенный фильтр Калмана

**ACM Classification Keywords:** I.2.6 Learning, Connectionism and neural nets

---

### Введение

---

Прогнозирование динамических процессов является актуальной научной задачей, имеющей множество приложений в теории управления, экономике, медицине, физике и других областях. Нейросетевые методы хорошо себя зарекомендовали как средство моделирования динамических систем при неизвестной априори математической модели динамической системы [Хайкин, 2001, с. 120]. Нейронная сеть может быть обучена на известных примерах моделируемой последовательности и затем использоваться для прогнозирования на новых, ранее не виденных нейросетью примерах данных.

Существует два базовых метода для наделения нейронных сетей на основе многослойных персептронов свойствами, необходимыми для обработки динамических данных: добавление линий задержек на вход сети и добавление рекуррентных связей внутри сети. В первом случае, известном также как «метод временного окна» (Time-Window Neural Networks, Finite Impulse Response Neural Networks, Time-Lagged Neural Networks, Focused Multilayered Perceptrons) [Хайкин, 2001, с. 799], [Gers et. al., 2001], нейронная сеть получает на вход вместе с текущим входным сигналом задержанные во времени прошлые значения входных сигналов. Обучение сети выполняется с вычислением производных по известному методу обратного распространения ошибки (Backpropagation, BP) и применением градиентного метода оптимизации первого или второго порядка. Плюсами этого подхода являются его простота и технологичность: по нашим оценкам, сейчас более чем в 90% случаев для прогнозирования используется именно такая схема. С другой стороны, при таком подходе количество и порядок задержек временного окна должны быть установлены априори. Если эти величины не будут соответствовать порядку динамического процесса, нейросеть будет обучаться плохо или вовсе не обучится. Вторым минусом этого подхода является плохое качество обеспечиваемых с его помощью многошаговых прогнозов, когда в качестве входных данных прогноза на новый шаг используются собственные прогнозные данные, полученные для предыдущих шагов.

Вторым базовым подходом введения динамики в нейросети прямого распространения является добавление внутренних рекуррентных связей в скрытые, входные или выходные слои нейросети (Recurrent Multilayered Perceptrons, Simple Recurrent Neural Network, Elman's Neural Network) [Хайкин, 2001, с. 925], [Осовский, 2002, с. 210], [Cernansky and Benuskova, 2003]. Для учета влияния прошлых тактов на текущий результат вводится вычисление специальных динамических производных. Динамические производные принадлежат к одному из двух видов: «обратное распространение во времени» (Backpropagation Through Time, BPTT) [Хайкин, 2001, с. 943], [De Jesus and Hagan, 2007] или «рекуррентное обучение в реальном времени» (Real-Time Recurrent Learning, RTRL) [Хайкин, 2001, с. 949], [De Jesus and Hagan, 2007]. В качестве оптимизационного метода для настройки весов сети может использоваться, как и в первом случае, любой градиентный оптимизационный алгоритм. Такие рекуррентные сети по своей структуре более соответствуют моделируемым динамическим процессам, и поэтому лучше себя проявляют в задачах управления и многошагового прогнозирования [Prokhorov et. al., 2001]. В рекуррентном подходе нет необходимости априорного задания порядка линии задержек на входе, то есть, фактически, отсутствует необходимость предварительного выполнения структурной идентификации динамической системы. Вместе с тем, обучение таких сетей является более трудной задачей из-за дополнительных степеней свободы у таких сетей, на практике процесс обучения часто не сходится. Кроме того, при расчете динамических производных в перцептроно-подобных сетях имеет место эффект исчезновения градиента (gradient vanishing) [Хайкин, 2001, с. 968], [Hochreiter et. al, 2001], что дополнительно затрудняет для алгоритма обучения выявление корреляций между прошлыми входами и текущими целевыми выходами сети. Последний факт часто имеет решающее значение даже для процессов небольшого порядка, для борьбы с эффектом исчезновения градиента предлагаются новые архитектуры нейросетей на основе кратко-долговременной памяти (Long-Short Term Memory, LSTM) [Hochreiter and Schmidhuber, 1997] и гибридные с первым подходом сети, например – нейросети нелинейной авторегрессии с внешней моделью входов (Nonlinear Autoregression with eXternal inputs, NARX) [Хайкин, 2001, с. 936].

Мы предлагаем оригинальный подход для обучения рекуррентных нейросетей путем введения ограничений на величину градиента при обратном распространении ошибки во времени в целевую функцию оптимизации обучения нейросети, называемый нами псевдорегуляризацией. В качестве функции оптимизации используется модификация метода обучения расширенного фильтра Калмана, многокритериальный расширенный фильтр Калмана [Chernodub, 2012b]. Проводится экспериментальное сравнение предлагаемого метода обучения с обычным методом обучения BPTT(h) для рекуррентных многослойных перцептронов, а также многослойных перцептронов с линией задержек на примере многошагового прогнозирования хаотического процесса Маккея-Гласса [Alessandri et. al., 2001], [Bone and Cardot, 2011].

---

## 1. Многослойный перцептрон с линией задержек

---

Схема многослойного перцептрона с линией задержек порядка  $N$  представлена на рис. 1. Перцептрон содержит нейроны с линейной функцией активации для нейронов входного слоя и сигмоидальной функцией активации для нейронов скрытого и выходного слоев (в наших экспериментах мы использовали функции активации гиперболического тангенса). Весовые значения между слоями нейронов задаются матрицами  $W^{(1)}$  и  $W^{(2)}$ . Перцептрон получает на вход  $x(k)$  текущее значение временного ряда  $y(k)$ , а также ряд задержанных прошлых значений  $y(k-1)$ ,  $y(k-2)$ , ...,  $y(k-N)$ , реализуемых с

помощью элементов запаздывания  $z^{-1}$ ,  $z^{-2}$ , ...,  $z^{-N}$ , и по этим данным обучается делать прогноз следующего значения  $\hat{y}(k+1)$ .

Расчет выходного значения сети  $\tilde{y}$  выполняется по формуле:

$$\tilde{y} = g\left(\sum_j w_j^{(2)} f\left(\sum_i w_{ji}^{(1)} x_i\right)\right), \quad (1)$$

здесь:  $w^{(1)}$  – веса нейронов скрытого слоя,  $f(\cdot)$  – активационные функции нейронов скрытого слоя,  $w^{(2)}$  – веса нейронов выходного слоя,  $g(\cdot)$  – активационные функции нейронов выходного слоя. На рис. 2 показан нейроэмулятор с пятью нейронами в скрытом слое, который получает на вход состояние порядка  $N$ . Производные для обучения вычисляются обычным (статическим) методом обратного распространения ошибки. В нашей работе в качестве градиентного метода оптимизации мы использовали метод глобального расширенного фильтра Калмана (Global Extended Kalman Filter, GEKF)

[Cernansky and Benuskova, 2003], [Chernodub, 2012a], поэтому вместо градиентов  $\frac{\partial[e(k)^2]}{\partial w}$  мы каждый

раз вычисляем якобианы  $\frac{\partial \tilde{y}}{\partial w}$ . Это делается путем пропуска значения 1 на каждом обратном проходе

вместо текущей ошибки обучения  $e(k)$ , что приводит к получению якобианов вместо градиентов при тех

же вычислениях, поскольку  $\frac{\partial[e(k)^2]}{\partial w} = 2e(k) \frac{\partial y}{\partial w}$ .

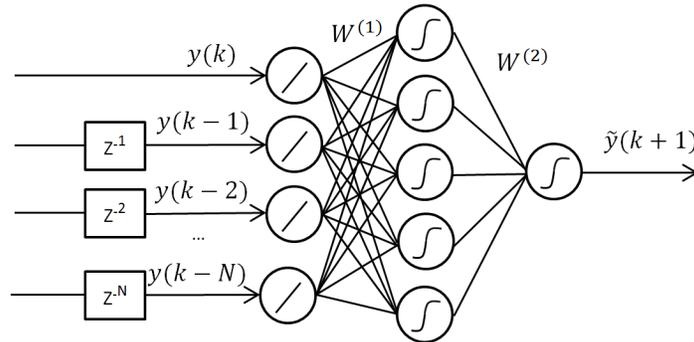


Рис. 1. Схема многослойного персептрона с линейными задержками на входе.

Для выполнения прогнозирования на  $H$  шагов вперед, проводится следующая итеративная процедура:

1. Персептрон выполняет прогноз на один шаг вперед, получает оценку следующей величины временного ряда  $\hat{y}(k+1)$ .
2. На основе имеющихся реальных прошлых входов и полученной оценки формируется новый входной вектор для нейросети  $x(k+1) = [\hat{y}(k+1) \quad y(k) \quad \dots \quad y(k-N+1)]$ .
3. Прогнозируется новое значение  $\hat{y}(k+2)$ .

Шаги 2) - 3) выполняются, пока не будет получена требуемая оценка  $\hat{y}(k+H)$ .

## 2. Рекуррентный многослойный персептрон

Рекуррентный многослойный персептрон (Recurrent Multilayer Perceptron, RMLP) (рис. 2) является модификацией многослойного персептрона, с добавлением обратных связей в скрытый слой нейронов, реализуемых задержками  $z^{-1}$ . Расчет выходного значения сети  $\tilde{y}$  аналогичен (1), различие состоит только в том, что в матрице весов скрытого слоя  $W^{(1)}$  теперь также хранятся веса для рекуррентных связей.

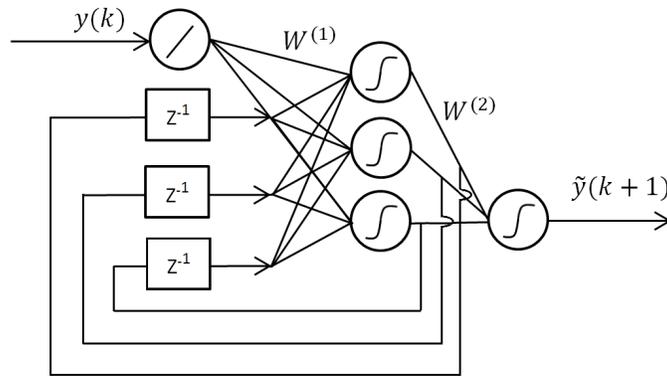


Рис. 2. Схема рекуррентного многослойного персептрона

Главным отличием в обучении рекуррентного многослойного персептрона от многослойного персептрона с линией задержек является использование динамических производных, рассчитываемых в нашем случае методом усеченного обратного распространения во времени ВРТТ(h) вместо статических производных, как для обучения многослойного персептрона с линией задержек. Схема вычисления производных во время обратного прохода представлена на рис. 3. На такте  $k$ , после вычисления выходного значения  $\hat{y}(k+1)$ , сеть разворачивается назад во времени на глубину усечения  $h$ .

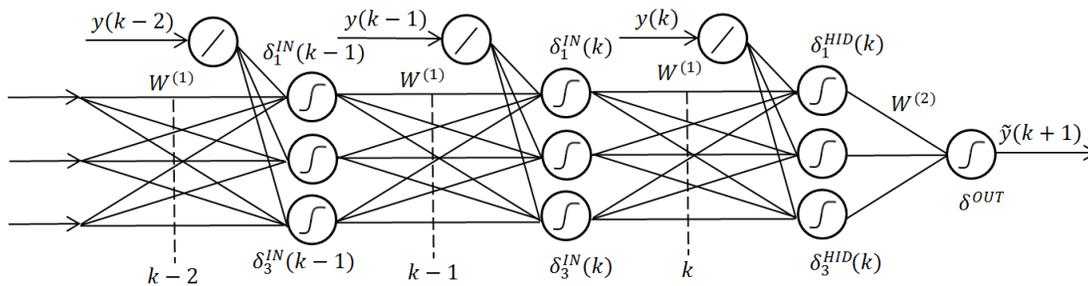


Рис. 3. Схема вычисления производных методом обратного распространения ошибки для рекуррентного многослойного персептрон, глубина усечения  $h = 2$

При этом рекуррентная сеть представляется в виде многослойного персептрона прямого распространения с большим количеством слоев, где каждый слой соответствует одному из прошлых тактов  $k-1, k-2, \dots, k-h$ . Производные вычисляются методом обратного распространения, который применяется для полученной развернутой во времени сети прямого распространения. Локальные градиенты, вычисляемые в процессе процедуры обратного распространения, определяются следующими соотношениями:

$$\delta_j^{HD}(k) = f_j'(k)w_j^{(2)}\delta^{OUT}, \quad (2)$$

$$\delta_j^{IN}(k) = f_j'(k-1)\sum_{i=1}^K w_{ij}^{(1)}\delta_i^{HD}(k), \quad (3)$$

$$\delta_j^{IN}(k-n) = f_j'(k-n-1)\sum_{i=1}^K w_{ij}^{(1)}\delta_i^{IN}(k-n+1), \quad (4)$$

здесь:  $w^{(1)}$  – веса нейронов скрытого слоя,  $f_j(k)$  – активационная функция  $j$ -го нейрона скрытого слоя на такте  $k$ ,  $w^{(2)}$  – веса нейронов выходного слоя,  $\delta_j^{HD}$  – локальный градиент для  $j$ -го нейрона скрытого слоя,  $\delta_j^{IN}(k-n)$  – локальный градиент для  $j$ -го нейрона условного входного слоя на такте  $k-n$ ,  $1 \leq n \leq h$ ,  $h$  – глубина усечения.

### 3. Обучение нейросетей методом расширенного фильтра Калмана с псевдoreгуляризацией

При вычислении динамических производных методом ВРТТ(h) для персептроно-подобных нейросетей большую роль играет эффект исчезновения градиента, ухудшающий качество обучения нейросетей. Смысл этого эффекта можно интуитивно понять, взглянув на формулы вычисления локальных градиентов (2)-(4). Абсолютное значение каждого нового локальный градиент  $\delta_j^{IN}(k-n)$  на практике получается меньше, чем предыдущего градиента  $\delta_j^{IN}(k-n+1)$ , поскольку является произведением функций по модулю меньших 1: пропускаемые в начале градиенты  $\delta^{OUT}$  по определению всегда равны 1, веса нейронной сети  $w_{ij}^{(1)}$  и  $w_i^{(2)}$  не могут быть больше 1, поскольку это приводит к случаю переобучения, производные активационных функций  $f(\cdot)$  всегда меньше 1. Более строгое доказательство эффекта исчезновения градиента и исследования на эту тему можно найти в [Hochreiter et. al, 2001] .

В настоящей работе мы предлагаем метод обучения нейросетей с оптимизацией локальных градиентов, названный нами псевдoreгуляризацией. Суть псевдoreгуляризации состоит в минимизации в процессе обучения нейроэмулятора функционала  $Q(w)$ :

$$Q(w) = e(w) + \lambda \left( \sum_{j=1}^K (1 - \delta_j^{IN}(w, k))^2 + \sum_{j=1}^K (1 - \delta_j^{HD}(w, k))^2 \right), \quad (5)$$

здесь:  $e(w)$  – среднеквадратичная ошибка моделирования динамического процесса,  $\delta_j^{HD}$  и  $\delta_j^{IN}$  – локальные градиенты (2) и (3) соответственно,  $\lambda$  – заданная априори константа псевдoreгуляризации. Нашей целью является обучение нейросетей динамике моделируемого процесса с максимизацией абсолютных значений градиентов скрытых и входных нейронов в среднем (6),

$$\Omega = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N \sum_{j=1}^K (\delta_j^{IN}(k)^2 + \delta_j^{HD}(k)^2), \quad (6)$$

при этом учитывается, что в реальных системах вследствие эффекта исчезновения градиента  $\delta(w) \ll 1$ . В формуле (6)  $K$  – количество нейронов в скрытом слое,  $N$  – количество элементов обучающей выборки. На остальные локальные градиенты (4) ограничения аналогичные второму слагаемому (5) не накладываются, поскольку нам априори неизвестна степень влияния прошлых тактов работы системы на текущий такт. Тем не менее, это возможно – если это сделать, определение этих

ограничений будет по смыслу аналогично априорному определению временных задержек в многослойных сетях прямого распространения с линией задержек.

Для минимизации функционала (5) в настоящем работе мы предлагаем использовать обобщение метода оптимизации расширенного фильтра Калмана для многокритериального случая [Chernodub, 2012b]. Теперь выходом модели динамического процесса обучения на каждом такте является не только результат прямого прохода выход нейросети  $\tilde{y}$ , а и вычисляемые во время выполнения обратного прохода величины  $\delta_j^{HID}(k)$  и  $\delta_j^{IN}(k)$ ,  $j=1,2,\dots,K$ . Соответственно, для дополнительного выхода

рассчитываются якобианы  $\frac{\partial[(\delta_j^{IN}(k))^2]}{\partial w}$  и  $\frac{\partial[(\delta_j^{HID}(k))^2]}{\partial w}$  для включения в матрицу наблюдений  $H$ , а

второе слагаемое функционала  $Q(w)$  добавляется в матрицу отклонений  $E$ .

Продифференцируем квадрат локального градиента (2) по весам скрытого и выходного слоя. Учитывая, что  $\delta_j^{HID}(k)$  является функцией только от весов выходного слоя  $w^{(2)}$ :

$$\frac{\partial}{\partial w_{\alpha\beta}^{(1)}}(\delta_j^{HID}(k)^2) = 0, \quad (7)$$

$$\begin{cases} \frac{\partial}{\partial w_{\alpha}^{(2)}}(\delta_j^{HID}(k)^2) = 2\delta_j^{HID}(k)f_j'(k-1)w_{\alpha}^{(2)}\delta^{OUT}, & j = \alpha; \\ \frac{\partial}{\partial w_{\alpha}^{(2)}}(\delta_j^{HID}(k)^2) = 0, & j \neq \alpha; \end{cases} \quad (8)$$

Аналогично, продифференцируем квадрат локального градиента (3) по весам скрытого и выходного слоя:

$$\begin{cases} \frac{\partial}{\partial w_{\alpha\beta}^{(1)}}(\delta_j^{IN}(k)^2) = 2\delta_j^{IN}(k)f_j'(k-1)\delta_{\alpha}^{HID}, & j = \beta; \\ \frac{\partial}{\partial w_{\alpha\beta}^{(1)}}(\delta_j^{IN}(k)^2) = 0, & j \neq \beta; \end{cases} \quad (9)$$

$$\frac{\partial}{\partial w_{\alpha}^{(2)}}(\delta_j^{IN}(k)^2) = 2\delta_j^{IN}(k)f_j'(k-1)\sum_{i=1}^K w_{ij}^{(1)}\frac{\partial}{\partial w_{\alpha}^{(2)}}(\delta_i^{HID}(k)). \quad (10)$$

#### 4. Обучение нейросетей методом расширенного фильтра Калмана с псевдорегуляризацией

Фильтр Калмана является эффективным рекурсивным фильтром, который по ряду зашумленных и неполных измерений позволяет оценить внутреннее состояние динамической системы и применяется в широчайшем спектре технических устройств, от спидометров автомобиля до радиоприемников и радаров. Обучение нейронных сетей является достаточно неожиданным применением для теории фильтрации Калмана [Хайкин, 2001, с. 960], [Prokhorov et. al., 2001], [Семанский, 2003] и, вместе с тем, очень эффективным: с одной стороны, качество такого обучения находится на уровне лучших пакетных алгоритмов второго порядка, таких как метод Левенберга-Марквардта или квази-Ньютоновских методов [Alessandri et. al., 2001], а с другой стороны – обучение проводится в режиме он-лайн, что является актуальным в случае выборок большого объема и задач управления. Обучение нейронной сети методом расширенного фильтра Калмана рассматривается как задача оценки истинного состояния некоторой неизвестной «идеальной» нейросети, обеспечивающей нулевое рассогласование, под состояниями в данном случае принимаются значения весов нейросети  $w(k)$ , а под рассогласованием – текущая ошибка обучения  $e(k)$ . Этот динамический процесс обучения может быть

описан парой уравнений в пространстве состояний, (11) и (12). Уравнение состояния (11) представляет собой модель процесса, представляющий собой эволюцию вектора весов под воздействием случайного процесса  $\xi(k)$ , который считается белым шумом с нулевым математическим ожиданием и известной диагональной ковариационной матрицей  $Q$ :

$$w(k+1) = w(k) + \xi(k). \quad (11)$$

Уравнение выхода (12) представляет собой линеаризованную модель нейросети (1) на такте  $k$ , зашумленную случайным процессом  $\zeta(k)$ , который считается белым шумом с нулевым математическим ожиданием и известной диагональной ковариационной матрицей  $R$ :

$$h(k) = \frac{\partial y(w(k), v(k), x(k))}{\partial w} + \zeta(k), \quad (12)$$

здесь:  $w(k)$  – веса нейросети,  $v(k)$  – постсинаптические потенциалы нейронов,  $x(k)$  – входные значения сети. Вычисление мгновенных значений производных  $\frac{\partial y}{\partial w}$  производится методом обратного распространения в случае многослойного персептрона с линией задержек или методом обратного распространения во времени в случае рекуррентного персептрона. Рассогласование  $e(k)$  рассчитывается по формуле:

$$e(k) = t(k) - \tilde{y}(k), \quad (13)$$

здесь:  $t(k)$  – целевое значение для нейросети,  $\tilde{y}(k)$  – реальный выход нейросети, рассчитываемый по формуле (1).

Перед обучением нейросети проходит этап инициализации. Задаются ковариационные матрицы шума измерения  $R = \eta I$  и динамического шума обучения  $Q = \mu I$ , размер матрицы  $R$  в нашем случае равен  $(L + M \times K) \times (L + M \times K)$ , размер матрицы  $Q$  равен  $N \times N$ , здесь:  $L$  – количество выходных нейронов,  $N$  – количество весовых коэффициентов нейросети,  $M$  – количество слоев, для которых оптимизируются локальные градиенты,  $K$  – количество нейронов скрытого слоя. У нас  $L = 1$  и  $M = 2$ . Размер матрицы наблюдений  $H$  равен  $(L + M \times K) \times N$ , размер матрицы усиления Калмана  $\hat{K}$  равен  $N \times (L + M \times K)$ , размер матрицы корреляции процесса обучения  $P$  равен  $N \times N$ . Коэффициент  $\eta$  имеет смысл скорости обучения, у нас  $\eta = 0.001$ , коэффициент  $\mu$  определяет шум измерения, у нас  $\mu = 10^{-4}$ .

На такте  $k$  выполняются следующие действия:

- 1) Выполняется «прямой проход» нейросети, вычисляется выход нейросети  $\tilde{y}(k)$  согласно формуле (1).
- 2) Выполняется «обратный проход» нейросети: методом обратного распространения вычисляются якобианы  $\frac{\partial \tilde{y}}{\partial w}$ . В процессе расчета якобианов, параллельно вычисляются локальные градиенты для скрытого и входного слоя нейронов (2)-(4), вычисляются якобианы (7)-(10). Формируется многокритериальная матрица наблюдений  $H(k)$ :

$$H(k) = \begin{bmatrix} \frac{\partial \bar{y}}{\partial w_1} & \frac{\partial \bar{y}}{\partial w_2} & \dots & \frac{\partial \bar{y}}{\partial w_N} \\ \lambda \frac{\partial [(\delta_1^{HID})^2]}{\partial w_1} & \lambda \frac{\partial [(\delta_1^{HID})^2]}{\partial w_2} & \dots & \lambda \frac{\partial [(\delta_1^{HID})^2]}{\partial w_N} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \lambda \frac{\partial [(\delta_K^{IN})^2]}{\partial w_1} & \lambda \frac{\partial [(\delta_K^{IN})^2]}{\partial w_2} & \dots & \lambda \frac{\partial [(\delta_K^{IN})^2]}{\partial w_N} \end{bmatrix}^T. \quad (12)$$

- 3) Формируется многокритериальная матрица отклонений  $E(k)$  размера  $1 \times (L + M \times K)$  (здесь  $K$  – количество нейронов скрытого слоя):

$$\tilde{E}(k) = [e(k) \quad \lambda(1 - (\delta_1^{HID})^2) \quad \dots \quad \lambda(1 - (\delta_K^{HID})^2) \quad \lambda(1 - (\delta_1^{IN})^2) \quad \dots \quad \lambda(1 - (\delta_K^{IN})^2)] \quad (13)$$

- 4) Вычисляются новые значения весов нейросети  $w(k+1)$  и матрицы корреляции  $P(k+1)$  по формулам (14)-(16):

$$\hat{K}(k) = P(k)H(k)^T [H(k)P(k)H(k)^T + R]^{-1}, \quad (14)$$

$$P(k+1) = P(k) - \hat{K}(k)H(k)P(k) + Q, \quad (15)$$

$$w(k+1) = w(k) + \hat{K}(k)e(k), \quad (16)$$

Действия 1) - 4) выполняются для всех элементов обучающей выборки.

## 5. Задача прогнозирования процесса Маккея-Гласса

Для проведения экспериментов был использован стандартный для данного типа задач процесс Маккея-Гласса. Последовательность Маккея-Гласса задается разностным уравнением:

$$x_{t+1} = (1-b)x_t + a \frac{x_{t-\tau}}{1 + (x_{t-\tau})^{10}}, t = \tau, \tau + 1, \dots,$$

где  $\tau \geq 1$  — целые числа. Для проведения экспериментов была сгенерирована последовательность из 3000 значений с использованием следующих значений параметров:  $a = 0.2$ ,  $b = 0.1$ ,  $\tau = 17$ , как в [Bone and Cardot, 2011].

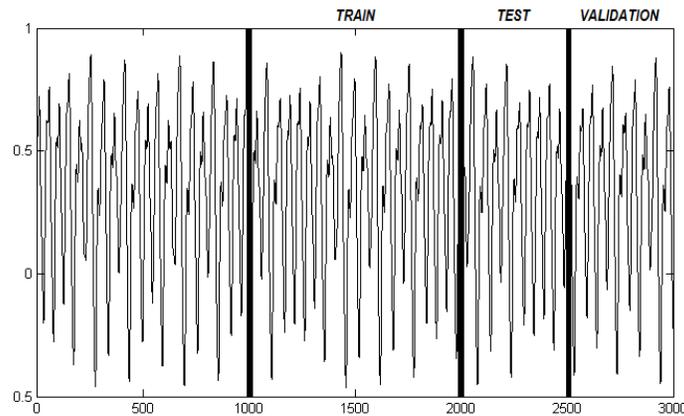


Рис. 4. Деление процесса Маккея-Гласса на обучающую (TRAIN), тестовую (TEST) и валидационную (VALIDATION) последовательности.

Первые 1000 значений сгенерированной последовательности были проигнорированы, 1000 следующих значений были использованы в качестве обучающей выборки, последующие 500 – в качестве тестовой выборки, оставшиеся 500 – в качестве валидационной выборки (рис. 4).

Качество многошагового прогнозирования оценивалось по критерию нормированной среднеквадратичной ошибки с горизонтом  $NRMSE(H)$ , определенной по формуле:

$$NRMSE(H) = \frac{1}{H} \sum_{k=1}^H \frac{\langle (y_k - t_k)^2 \rangle^{\frac{1}{2}}}{\langle (t_k - \langle t_k \rangle)^2 \rangle^{\frac{1}{2}}}, \quad (17)$$

где:  $\hat{y}_k$  — прогнозируемые значения,  $t_k$  — целевые значения,  $H$  — горизонт прогнозирования.

## 6. Экспериментальные результаты

Первоначально, для решения задачи прогнозирования было обучено 100 многослойных персептронов с линией задержек (MLP). Задача обучения для MLP ставилась фактически следующим образом: по  $N$  известным прошлым значениям последовательности  $(y_k, y_{k-1}, \dots, y_{k-N})$  дать оценку  $\hat{y}_{k+1}$  следующего значения  $y_{k+1}$ . Количество нейронов в скрытом слое варьировалось от 3 до 8, обучение велось методом глобального расширенного фильтра Калмана. В процессе тренировки сети обучались на протяжении 100 эпох на обучающей последовательности и после каждой эпохи проверялись на способность к обобщению на тестовой последовательности. Сеть, показавшая лучший результат на тестовой последовательности, тестировалась на валидационной выборке. Этот результат считается окончательным и представлен в таблицах и на графиках.

Затем было обучено по 100 рекуррентных многослойных персептронов с вычислением динамических производных методом обратного распространения во времени (RMLP BPTT), были взяты глубины усечения  $h=2$  и  $h=5$ . Количество нейронов в скрытом слое для этих сетей колебалось от 3 до 7, обучение велось также методом глобального расширенного фильтра Калмана на протяжении 50 эпох.

Наконец, было обучено по 100 рекуррентных сетей на протяжении 100 эпох с использованием псевдорегуляризации и мультикритериального расширенного фильтра Калмана для различных параметров величин псевдорегуляризации  $\lambda=0.05$  и  $\lambda=0.1$  и различных величин глубины усечения  $h=2$  и  $h=5$  (RMLP BPTT Pseudoregularization). Методы отбора сетей и тестирования аналогичны. Результаты представлены в табл. 1 и на рис. 5.

Таблица 1. Результаты многошагового прогнозирования процесса Маккея-Гласса

Название подхода	1	2	3	4	5	10	15
MLP	0.000623	0.012491	0.038825	0.079069	0.13231	0.54931	1.1021
RMLP BPTT, $h=2$	0.000303	0.00198	0.007092	0.018627	0.04029	0.36044	0.94303
RMLP BPTT, $h=5$	0.000667	0.003813	0.013268	0.034856	0.073757	0.48109	0.96754
RMLP BPTT PseudoR. $h=2, \lambda=0.05$	0.001611	0.008454	0.022531	0.045074	0.076353	0.32683	0.63858
RMLP BPTT PseudoR. $h=5, \lambda=0.05$	0.000944	0.003519	0.009875	0.021813	0.040582	0.22183	0.48481
RMLP BPTT PseudoR. $h=2, \lambda=0.1$	0.0012346	0.0064628	0.017244	0.034703	0.059456	0.27751	0.57487
RMLP BPTT PseudoR. $h=5, \lambda=0.1$	0.000435	0.001903	0.005786	0.013177	0.024796	0.1513	0.37158

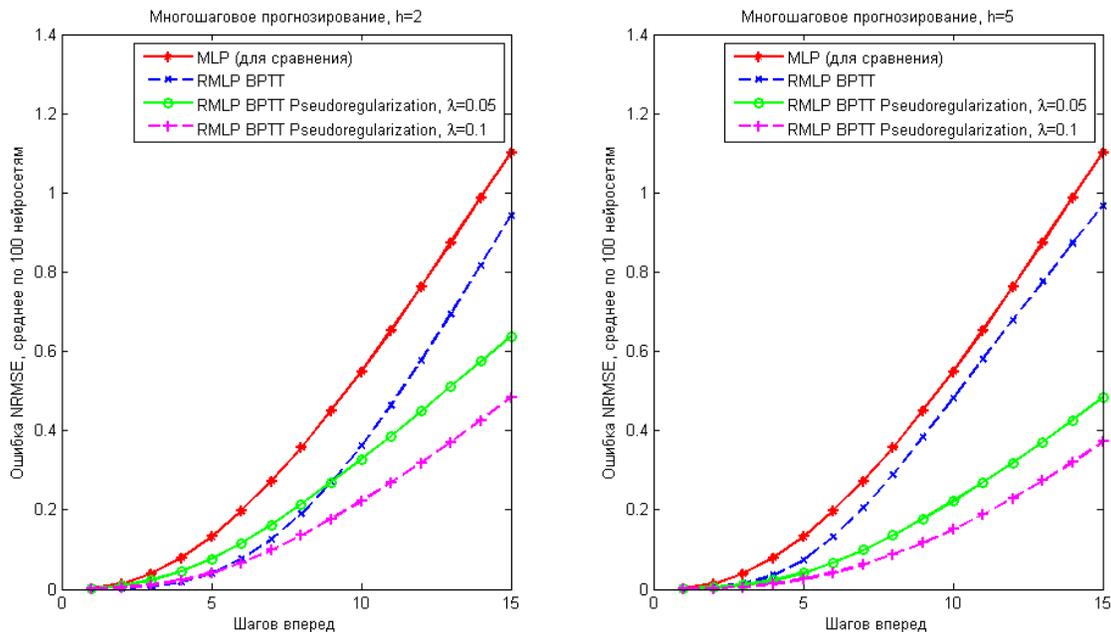


Рис. 5. Зависимость ошибки многошагового прогнозирования от горизонта прогнозирования, усреднение по 100 нейросетям

## Выводы

В работе предложен новый метод обучения рекуррентных нейросетей с применением псевдорегуляризации и мультикритериального фильтра Калмана для уменьшения эффекта исчезновения градиента. Было проведено экспериментальное исследование предлагаемого метода, показавшее эффективность нового метода для многошагового прогнозирования по сравнению с традиционным обучением рекуррентных нейросетей методом расширенного фильтра Калмана. Использование псевдорегуляризации обеспечило уменьшение ошибки прогнозирования в среднем до 1.5 – 2 раз.

## Благодарности

Работа опубликована при финансовой поддержке проекта **ITHEA XXI** Института информационных теорий и приложений FOI ITHEA Болгария [www.ithea.org](http://www.ithea.org) и Ассоциации создателей и пользователей интеллектуальных систем ADUIS Украина [www.aduis.com.ua](http://www.aduis.com.ua).

## Список литературы

- [Осовский, 2002] С. Осовский. Нейронные сети для обработки информации – пер. с польского. In: М.: Финансы и статистика, 2002. – 344с.
- [Хайкин, 2001] С. Хайкин. Нейронные сети: полный курс. In: Нейронные сети: полный курс. In: М.: Вильямс, 2006.
- [Alessandri et. al. 2001] Alessandri A., Cuneo M., Pagnan S., Sanguineti M. On the convergence of EKF-based parameters optimization for Neural Networks. In: Proceedings of the 42nd IEEE Conference on Decision and Control, Maui, Hawaii, USA, December 2001, Vol. 6, pp. 6181 – 6186.
- [Bone and Cardot, 2011] Romuald Bone and Hubert Cardot. Advanced Methods for Time Series Prediction Using Recurrent Neural Networks. In: Recurrent Neural Networks for Temporal Data Processing, Chapter 2, InTech, 2011, Croatia.

- [Cernansky and Benuskova, 2003] Cernansky M., Benuskova L. Simple recurrent network trained by RTRL and Extended Kalman Filter algorithms. In: Neural Network World, 2003, No. 13, Vol. 3, pp. 223 – 234.
- [Chernodub, 2012a] A.N. Chernodub. Local Control Gradients Criterion for Selection of Neuroemulators for Model Reference Adaptive Neurocontrol. In: Optical Memory and Neural Networks (Information Optics), 2012, Vol. 21, No. 2, pp. 126-131.
- [Chernodub, 2012b] A.N. Chernodub. Training Neuroemulators Using Multicriteria Extended Kalman Filter and Pseudoregularization for Model Reference Adaptive Neurocontrol. To be appeared in: IV IEEE International Congress on Ultra Modern Telecommunications and Control Systems (ICUMT), St. Petersburg, Russia, October 3 – 5, 2012.
- [De Jesus and Hagan, 2007] De Jesus O., Hagan M.T. Backpropagation: Algorithms for a Broad Class of Dynamic Networks In: IEEE Transactions on Neural Networks. – 2007. – N 1, Vol. 18. – pp. 14 – 27.
- [Gers et. al., 2001] F.A. Gers, D. Eck, J. Schmidhuber. Applying LSTM to Time Series Predictable Through Time-Window Approaches. In: Proceedings of International Conference on Artificial Neural Networks. Berlin, 2001, pp. 669 – 676.
- [Hochreiter and Schmidhuber, 1997] S. Hochreiter, J Schmidhuber. Long Short-Term Memory. In: Neural Computation, 1997, Vol. 9, No. 8, pp. 1735-1780.
- [Hochreiter et. al, 2001] S. Hochreiter, Y. Bengio, P. Frasconi, and J. Schmidhuber. Gradient flow in recurrent nets: the difficulty of learning long-term dependencies. In: IEEE Press, 2001.
- [Prokhorov et. al., 2001] D. Prokhorov, G. Puskorius, and L. Feldkamp. Dynamical Neural Networks for Control. In: J. Kolen and S. Kremer (Eds.) A Field Guide to Dynamical Recurrent Networks, IEEE Press, 2001.
- [Prokhorov, 2008] Prokhorov D.V. Toyota Prius HEV Neurocontrol and Diagnostics. In: Neural Networks, 2008, No. 21, pp. 458 – 465.

---

### Информация об авторах

---



**Чернодуб Артем** – *IEEE Member, младший научный сотрудник отдела Нейротехнологий Института Проблем Математических Машин и Систем НАНУ.*  
*Адрес: Украина, г. Киев, ул. академика Глушкова 42, ИПММС НАНУ; e-mail:*  
[achernodub@immsp.kiev.ua](mailto:achernodub@immsp.kiev.ua)  
*Научные интересы: нейронные сети, теория управления, интеллектуальная обработка изображений, биометрическая идентификация.*

## АНАЛИЗ АЛГОРИТМОВ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ТРЕТИЧНОЙ СТРУКТУРЫ ПРОТЕИНА НА БАЗЕ МЕТОДА ОПТИМИЗАЦИИ МУРАВЬИНЫМИ КОЛОНИЯМИ

Леонид Гуляницкий, Виталина Рудык

**Аннотация:** *Исследуются алгоритмы метода оптимизации муравьиных колоний для прогнозирования третичной структуры протеинов. Предлагается новый алгоритм на базе этого метода, анализируются его преимущества, проводятся экспериментальные исследования.*

**Ключевые слова:** *комбинаторная оптимизация, прогнозирование третичной структуры протеина, методы оптимизации муравьиными колониями, эвристики, NP-сложность.*

**ACM Classification Keywords:** *J.3 LIFE AND MEDICAL SCIENCES*

---

### Введение

При исследовании различных процессов для избегания сложных, дорогостоящих и затратных по времени экспериментов принято использовать инструменты математического моделирования. Широкое применение нашла NP-модель Дилла [Dill, Bromberg, Yue, Fiebig, Yee, Thomas, Chan, 1995], которая хотя и упрощенно отображает процесс формирования трехмерной структуры белка, однако учитывает основные влияющие силы. Молекула белка состоит из аминокислотных остатков, соединенных в цепь пептидными связями. Последовательность остатков в цепи является первичной структурой белка. Третичная структура – это форма в пространстве, которую принимает молекула. Принято считать, что она однозначно определяется первичной структурой.

Для моделирования пространственной формы молекулы аминокислотные остатки располагаются в узлах некоторой дискретной решетки, соседние в пептидной цепи остатки – в соседних узлах (условие связности). В каждом узле может находиться не более одного остатка (условие отсутствия самопересечений). Экспериментально исследовано, что основной силой, формирующей третичную структуру белка (помимо пептидных связей), являются взаимодействия между гидрофобными аминокислотными остатками. В моделировании это используется так: все остатки делятся на два класса – гидрофобные и полярные, между гидрофобными остатками, расположенными в соседних узлах решетки, но не соседними в первичной последовательности, возникает НН-связь. Свободной энергией структуры принимается количество НН-связей в ней со знаком минус, и согласно термодинамической гипотезе считается, что молекула принимает ту форму, в которой достигается минимум ее свободной энергии. Так задача прогнозирования третичной структуры белка сводится к задаче комбинаторной оптимизации.

---

### Метод оптимизации муравьиными колониями. Предпосылки

Метод оптимизации муравьиными колониями (ОМК) [Dorigo, Stützle, 2004] – эвристический популяционный алгоритм, который применяется для решения широкого круга задач оптимизации. В его основе лежит моделирование поведения муравьев при поиске кратчайших путей с использованием обмена информации между особями колонии через феромонные следы.

На базе метода ОМК разработано несколько алгоритмов для решения задачи прогнозирования третичной структуры молекул протеинов. Рассмотрим подробнее самые известные из них [Shmygelska, Hoos, 2005], [Chu, Till, Zomaya, 2005], [Fidanova, Lirkov, 2008]. В этих исследованиях строятся алгоритмы на базе метода ОМК для трехмерной кубической решетки. Для представления третичной структуры молекулы

используется относительное кодирование, где положение каждого следующего аминокислотного остатка задается относительно предыдущего [Shmygelska, Hoos, 2005].

Алгоритм метода ОМК обычно состоит из трех этапов. На **этапе построения решений** каждый муравей строит допустимую структуру молекулы, основываясь на феромонных следах, которые содержат в себе полезную информацию, собранную на предыдущих итерациях алгоритма. В [Shmygelska, Hoos, 2005], [Chu, Till, Zomaya, 2005] построение начинается со случайно выбранной позиции и продолжается в двух направлениях, в [Fidanova, Lirkov, 2008] молекула строится последовательно, начиная с первого остатка. Позиция аминокислоты выбирается случайным образом среди допустимых с вероятностью

$$p_{i,d} = \frac{[\tau_{i,d}]^\alpha [\eta_{i,d}]^\beta}{\sum_{l \in D} [\tau_{i,l}]^\alpha [\eta_{i,l}]^\beta}, \quad (1)$$

где  $D$  – множество возможных элементов кода, которое отражает направления свободных соседей текущего узла в заданной решетке,  $\tau_{i,d}$  – элемент феромонной матрицы, соответствующий направлению  $d$  для позиции  $i$ ,  $\eta_{i,d}$  – эвристическая оценка, которая зависит от уже построенной части структуры,  $\alpha$  и  $\beta$  – параметры алгоритма, задающие степень влияния феромонов и эвристической информации на построение решения. В [Shmygelska, Hoos, 2005] эвристическая информация считается по формуле

$$\eta_{i,d} = e^{-\gamma h_{i,d}},$$

где  $h_{i,d}$  – количество новых НН-контактов, которые возникают при позиционировании новой аминокислоты по направлению  $d$ . В [Chu, Till, Zomaya, 2005] принято  $\eta_{i,d} = h_{i,d} + 1$ , а в [Fidanova, Lirkov, 2008] полагается  $\eta_{i,d} = h_{i,d}$ , таким образом для полярных остатков  $\eta_{i,d} = 0$ , что значит, что на их позиционирование значения феромонной матрицы не влияют.

При построении структуры может возникнуть ситуация, когда все узлы, соседние с положением крайней в уже построенном фрагменте аминокислоты, заняты – в таком случае (если остаток не первый и не последний в первичной последовательности) используется откат. В [Shmygelska, Hoos, 2005] расформировывается половина построенной структуры и формируется заново, при этом первый (т.е. последний из расформированных) остаток располагается в направлении отличном от того, в котором он был в структуре, которая зашла в тупик. В [Chu, Till, Zomaya, 2005] процедура отката производится только на 1 шаг, в [Fidanova, Lirkov, 2008] – на некоторое фиксированное количество шагов.

На **этапе локального поиска** происходит оптимизация вариантов, построенных на первом этапе алгоритма. В [Shmygelska, Hoos, 2005] в процедуре локального поиска используются дальновидные сдвиги. При таком действии случайным образом выбирается аминокислотный остаток и меняется его направление. Для всех дальнейших остатков принимается решение не менять их направление, если оно допустимо, с некоторой вероятностью  $p$ . Если же направление меняется, то оно выбирается случайным образом с вероятностью, пропорциональной эвристической оценке  $\eta_{i,d}$ . В [Chu, Till, Zomaya, 2005] в локальном поиске происходят только локальные изменения – случайным образом меняется направление случайного остатка. В обоих алгоритмах новая структура принимается, если ее энергия меньше энергии начальной структуры и процедура останавливается после того, как некоторое количество шагов не привело к улучшениям. Схема в [Shmygelska, Hoos, 2005] требует больших затрат по времени, на каждой итерации она применяется только к определенному проценту наиболее оптимальных структур,

построенных на первом этапе. Алгоритм, описанный в [Fidanova, Lirkov, 2008] не использует локального поиска.

На **этапе обновления феромонных следов** происходит обновление феромонной матрицы с учетом энергии структур, полученных на первых двух этапах алгоритма. Этот этап обычно состоит из двух процедур – испарение феромона и отложение феромона на субоптимальных решениях. В [Shmygelska, Hoos, 2005] и [Chu, Till, Zomaya, 2005] эти этапы проходят последовательно. Процесс испарения задается формулой

$$\tau_{i,d} = (1 - \rho)\tau_{i,d}, \quad (2)$$

где параметр  $\rho$  характеризует, какая доля информации, собранной на предыдущих этапах, сохраняется. Феромонные пути усиливают только муравьи с низкой энергией по формуле

$$\tau_{i,d} = \tau_{i,d} + \Delta_{i,d,c}, \quad (3)$$

где  $\Delta_{i,d,c}$  – относительное качество структуры  $C$ , если остаток  $i$  расположен по направлению  $d$ , или 0 в противоположном случае.

В [Fidanova, Lirkov, 2008] обновления феромона происходит локально и глобально. Процесс локального обновления реализует испарение феромона и интегрирован в этап построения решений. После построения каждой структуры динамически изменяется количество феромона на всех участках, которые в нее входят, по формуле

$$\tau_{i,d} = (1 - \rho)\tau_{i,d} + \rho\tau_0,$$

где  $\tau_0$  – некий параметр. Таким путем достигается более широкий поиск в окрестностях предыдущего оптимального решения. Феромонные пути в [Fidanova, Lirkov, 2008] усиливаются по формуле (3) только для одного лучшего решения, полученного на данной итерации.

---

### Разработанный алгоритм ОМК для задачи прогнозирования третичной структуры протеина

---

Разработанный нами алгоритм строит структуру в трехмерной треугольной решетке. В таком выборе есть несколько преимуществ. Во-первых, это отсутствие известной проблемы парности, которая проявляется в двумерной квадратной и трехмерной кубической решетках. Ее суть состоит в том, что в силу особенностей решетки НН-контакты могут возникнуть только между остатками с четным и нечетным номерами в первичной последовательности, что противоречит естественным представлениям. Второе преимущество – в том, что у каждого узла большее количество соседей по сравнению с кубической решеткой, что выливается в более широкое множество возможных структур для фиксированной первичной последовательности. Недостатком является то, что по сравнению с квадратной и кубической эта решетка менее исследована, что ограничивает возможность экспериментального сравнения разработанного алгоритма с известными. Исследуются варианты с абсолютным и относительным кодированием, построение этих кодировок для трехмерной кубической решетки подробно описано в [Рудык, 2011].

Разработанный алгоритм реализует стандартные этапы методов ОМК, его схема приведена на рис. 1.

Процедура *ДопустимоеРешение*( $\Phi$ ) на основе феромонной матрицы поэлементно, начиная с первого остатка, генерирует новую структуру с вероятностью, которая задается формулой (1). Эвристическая оценка  $\eta_{i,d}$  вычисляется по правилу

$$\eta_{i,d} = \begin{cases} n_P \eta_{HP} + n_H \eta_{HH} + (n - n_P - n_H) \eta_{H0}, & s_{i+1} = H, \\ n_P \eta_{PP} + n_H \eta_{PH} + (n - n_P - n_H) \eta_{P0}, & s_{i+1} = P. \end{cases}$$

Тут  $s_{i+1}$  – тип аминокислотного остатка, который позиционируется на данном шаге,  $n$ ,  $n_P$  и  $n_H$  – количество узлов, соседних к рассматриваемому, соседних узлов, занятых полярными и гидрофобными остатками соответственно, а  $\eta_{HH}$ ,  $\eta_{HP}$ ,  $\eta_{H0}$ ,  $\eta_{PP}$ ,  $\eta_{PH}$ ,  $\eta_{P0}$  – параметры, удовлетворяющие условиям

$$\begin{aligned} 0 &\leq \eta_{HP} \leq \eta_{H0} < \eta_{HH}, \\ 0 &\leq \eta_{PH} \leq \eta_{P0} \leq \eta_{PP}. \end{aligned}$$

```

procedure ACO()
  foldrec := null;
  ИнициализироватьФеромоннуюМатрицу(Φ);
  while (!УсловиеЗавершения()) do
    for i = 1, ..., NP do
      foldi := ДопустимоеРешение(Φ);
    end for;
    Отсортировать(foldi);
    for i = 1, ..., NLS do
      foldi := Локальный поиск(foldi);
    end for;
    foldrec := ОптимальноеЗначение(foldrec, fold1, ..., foldNLS);
    ИспаритьФеромоннуюМатрицу(Φ, vi);
    for i = 1, ..., NP do
      ОбновитьФеромоннуюМатрицу(Φ, vi);
    end while;
    return foldrec;
end procedure.

```

Рис. 1. Схема алгоритма ОМК для задачи определения структуры протеина

Такое определение эвристической оценки обобщает схему из [Fidanova, Lirkov, 2008] при

$$\begin{aligned} \eta_{HP} = \eta_{H0} = \eta_{PP} = \eta_{PH} = \eta_{P0} &= \frac{1}{n}, \\ \eta_{HH} &= 1 + \frac{1}{n}, \end{aligned}$$

и схему из [Chu, Till, Zomaya, 2005] при

$$\begin{aligned} \eta_{HP} = \eta_{H0} = \eta_{PP} = \eta_{PH} = \eta_{P0} &= 0, \\ \eta_{HH} &= 1. \end{aligned}$$

Если остаток расположить не удалось (все возможные позиции заняты), производится откат на один шаг назад.

В качестве локального поиска используется детерминированная процедура, в которой итеративно производится переход к структуре, отличающейся на один элемент, с меньшей энергией до тех пор, пока такие существуют. Локальный поиск совершается для лучших  $N_{LS}$  решений.

Испарения феромонов проходит по формуле (2), а для обновления феромонных следов рассматриваются две схемы. Первая – аналогична [Shmygelska, Hoos, 2005], [Chu, Till, Zomaya, 2005], [Fidanova, Lirkov, 2008] и задается формулой

$$\tau_{i,d} = \tau_{i,d} + \Delta_{i,d,c}^{\gamma}, \quad (4)$$

где  $\gamma$  – параметр алгоритма. Вторая разработана с учетом того, что необходимо усилить только те феромонные пути, которые влияют на энергию заданной молекулы. Сила  $\Phi_{i,d,c}$  определенного направления в структуре  $C$  определяется как количество связей, в которых это направление задействовано (Рис. 2). Белые вершины обозначают гидрофобные аминокислотные остатки, а пунктиры – НН-связи. Феромонная матрица обновляется по формуле

$$\tau_{i,d} = \tau_{i,d} + \Phi_{i,d,c}^{\gamma}. \quad (5)$$

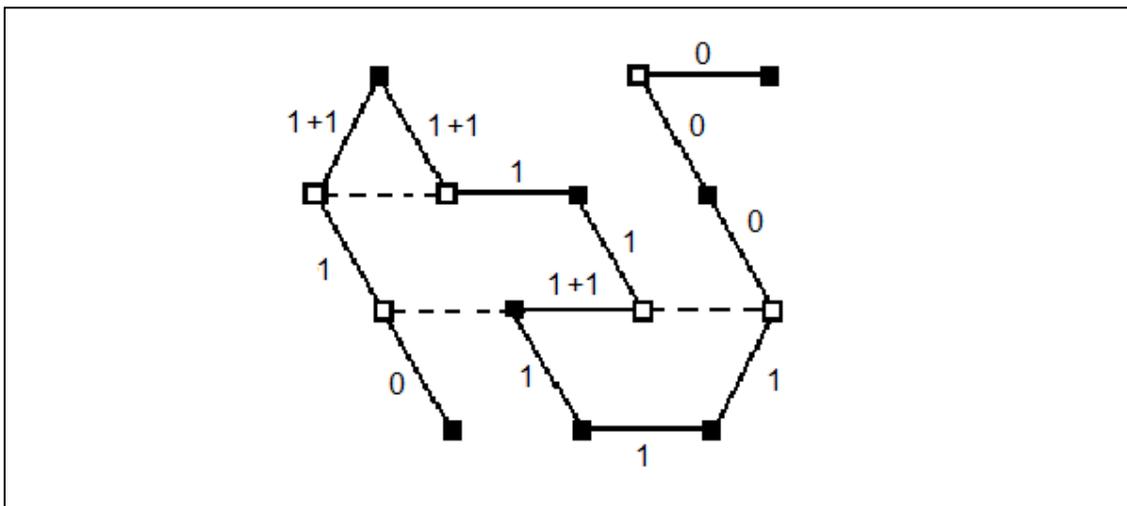


Рис. 2. Оценка силы направлений в структуре.

Такая схема позволяет более точно учитывать приемлемость той или иной части структуры молекулы. Одна из целей проведения вычислительного эксперимента – подтвердить это на практике.

В описанном алгоритме метода ОМК можно выделить следующие параметры:

- $enc$  – используемый тип кодировки структуры (абсолютная или относительная);
- $N_p$  – количество элементов в популяции;
- $\tau_0$  – начальное значение элементов феромонной матрицы;
- $\eta_{HH}, \eta_{HP}, \eta_{HO}, \eta_{PP}, \eta_{PH}, \eta_{PO}$  – параметры для эвристической оценки;
- $\alpha, \beta$  – степень влияния феромонных путей и эвристических оценок на строящуюся структуру;
- $N_{LS}$  – количество решений, для которых применяется процедура локального поиска;
- $\rho$  – характеристика испарения феромона;

- $UpdType$  – вариант обновления феромонной матрицы;
- $\gamma$  – параметр обновления феромонных путей;
- $K_{stop}$  – количество итераций, на которых не должно измениться оптимальное решение, чтобы алгоритм остановился.

---

### Вычислительный эксперимент

---

Алгоритмам метода ОМК свойственна чувствительность к параметрам, поскольку при несбалансированном их выборе возникает или предварительная сходимость, или в противоположном случае феромонная матрица перестает существенно влиять на процесс решения и алгоритм превращается в случайный поиск. К тому же, особенностью рассматриваемой задачи является то, что субоптимальные решения представляют собой компактные структуры (ведь внутри них образуются связи), и поэтому в их окрестностях содержится много недопустимых вариантов. Для алгоритмов ОМК это значит, что во многих случаях комбинации нескольких субоптимальных решений будут недопустимыми. Целью вычислительного эксперимента был поиск значений варьируемых параметров, при которых алгоритм становится максимально эффективным.

Для проведения эксперимента из базы данных структур протеинов [<http://www.rcsb.org>] было выбрано 8 структур с уникальными идентификаторами 7RXN, 3VUB, 4I1B, 3STR, 3SBZ, 3RLG, 3TEC, 3TX9 с длиной от 52 до 400 аминокислот. Вычисления проводились в одном потоке на кластере вычислительного комплекса СКИТ-3 ИК им. В.М.Глушкова НАН Украины [<https://icybcluster.org.ua>]. Для каждой из 8 задач производилось 10 перезапусков алгоритма при каждом из приведенных ниже наборов параметров.

Поскольку эксперименты проводились для задач с широким интервалом значений длины входящей последовательности, то для того, чтобы параметры в равной степени влияли на алгоритм, было принято решение нормировать количество феромона на каждом участке и эвристические оценки в диапазоне от 0 до 1.

В вычислительном эксперименте исследовались параметры  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $UpdType$  и  $\gamma$ . Остальные параметры во всех приведенных вычислениях были фиксированы и принимали следующие значения:

- |                                     |                        |                        |
|-------------------------------------|------------------------|------------------------|
| - $enc = relative$ (относительная); | - $\tau_0 = 0.2$ ;     | - $\rho = 0.05$ ;      |
| - $N_p = 30$ ;                      | - $N_{LS} = 0$ ;       | - $K_{stop} = 100$ ;   |
| - $\eta_{HH} = 0.6$ ;               | - $\eta_{HP} = 0.15$ ; | - $\eta_{H0} = 0.25$ ; |
| - $\eta_{PP} = 0.4$ ;               | - $\eta_{PH} = 0.2$ ;  | - $\eta_{P0} = 0.4$ .  |

На первом этапе эксперимента использовалось обновление феромонной матрицы по формуле (4). Значениями параметров ( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ) были выбраны следующие комбинации: (1; 1; 1), (1; 1; 0.5), (1; 1; 2), (0; 1; 1), (0.5; 1; 1), (1; 0.5; 1). Результаты вычислений показаны на рис. 3. По горизонтальной оси – размер входящей последовательности, по вертикальной – среднее (по 10 запускам) значение оптимальной энергии, найденное алгоритмом при соответствующих значениях параметров.

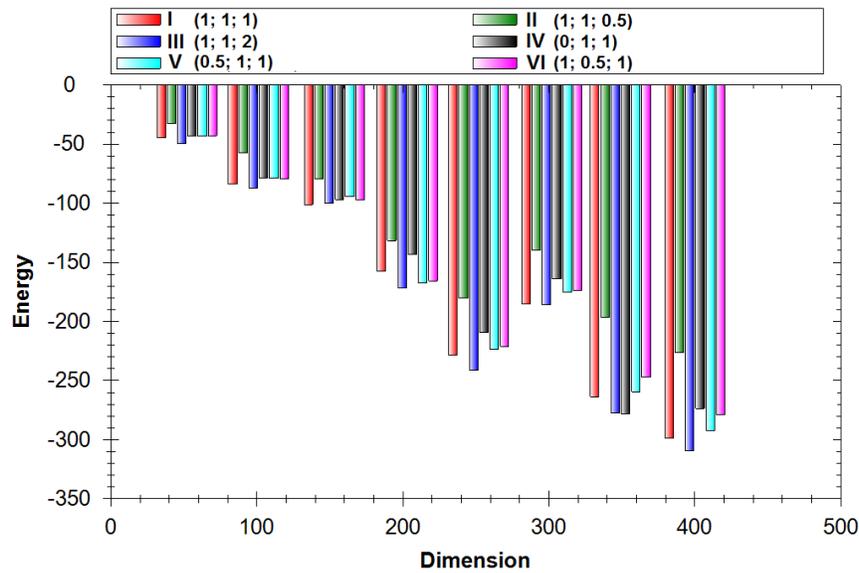


Рис. 3. Результаты первого этапа вычислительного эксперимента

На втором этапе феромонной матрица обновлялась по формуле (5). Значения параметров  $(\alpha, \beta, \gamma)$  –  $(1; 1; 1)$ ,  $(1; 1; 2)$ ,  $(0; 1; 1)$ ,  $(0.5; 1; 1)$  (Рис. 4).

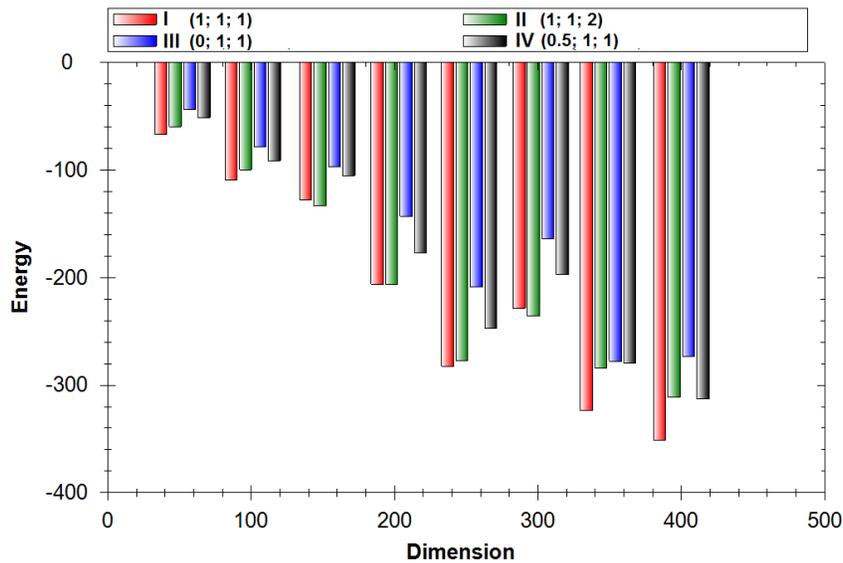


Рис. 4. Результаты второго этапа вычислительного эксперимента

### Выводы и направления дальнейших исследований

Вычислительный эксперимент показал, что алгоритм, разработанный на базе метода ОМК, в среднем находит решение с энергией в 150% лучше начальной. Варьируя параметры алгоритма, удастся достичь более высокой эффективности. При прочих одинаковых параметрах обновление феромонной матрицы разработанным новым методом более эффективно, чем ее обновление методом, аналогичным тому, который встречается в литературе.

Открытыми остаются следующие направления исследований:

- подбор оптимального набора значений параметров алгоритма, при котором он максимально эффективен;
- реализация разработанного алгоритма для кубической решетки с целью проведения сравнительного анализа с известными алгоритмами метода ОМК на эталонных задачах;
- проведение сравнительного анализа разработанного алгоритма с известными алгоритмами, разработанными для трехмерной треугольной решетки.

---

### Благодарности

Работа опубликована при финансовой поддержке проекта **ITHEA XXI** Института информационных теорий и приложений FOI ITHEA Болгария [www.ithea.org](http://www.ithea.org) и Ассоциации создателей и пользователей интеллектуальных систем ADUIS Украина [www.aduis.com.ua](http://www.aduis.com.ua).

---

### Список литературы

- [Dill, Bromberg, Yue, Fiebig, Yee, Thomas, Chan, 1995] K.Dill, S.Bromberg, K.Yue, K.M.Fiebig, D.Yee, P.Thomas, H.Chan. Principles of protein folding - a perspective from simple exact models // Protein Science. – 1995. – 4. – P. 561– 602.
- [Dorigo, Stützle, 2004] M.Dorigo M.,T. Stützle. Ant Colony Optimization. – Cambridge: MIT Press, MA, 2004. – 348 p.
- [Shmygelska, Hoos, 2005] A. Shmygelska, H. Hoos. An ant colony optimisation algorithm for the 2D and 3D hydrophobic polar protein folding problem // BMC Bioinformatics. – 2005. – 6(30). – P.30–52.
- [Chu, Till, Zomaya, 2005] D. Chu, M. Till, A. Zomaya. Parallel Ant Colony Optimization for 3D Protein Structure Prediction using the HP Lattice Model // 19th IEEE International Parallel and Distributed Processing Symposium (IPDPS'05). – 2005. – 7. – P.193-200.
- [Fidanova, Lirkov, 2008] S. Fidanova, I. Lirkov. Ant Colony System Approach for Protein Folding // Int. Conf. Multiconference on Computer Science and Information Technology. – 2008. – P.887–891.
- [Рудык, 2011] В. Рудык. Представление структуры белка в трехмерных дискретных решетках произвольного типа // Теорія оптимальних рішень. – 2011. – №10. – С. 38–47.
- [<http://www.rcsb.org>] <http://www.rcsb.org/pdb/home/home.do> Protein Data Bank.
- [<https://icybcluster.org.ua>] [https://icybcluster.org.ua/index.php?lang\\_id=1&menu\\_id=5](https://icybcluster.org.ua/index.php?lang_id=1&menu_id=5) Сайт суперкомпьютера ИК НАН Украины.

---

### Об авторах



**Леонид Гуляницкий** (*Hulianytskyi*) – д.т.н., заведующий отделом Института кибернетики им. В.М.Глушкова НАН Украины, пр-т Глушкова, 40, Киев, 03680, Украина. e-mail: [leonhul icyb@gmail.com](mailto:leonhul icyb@gmail.com)



**Виталина Рудык** (*Rudyk*) – аспирантка, младший научный сотрудник Института кибернетики им. В.М.Глушкова НАН Украины, пр-т Глушкова, 40, Киев, 03680, Украина. e-mail: [vitalina.rudyk@gmail.com](mailto:vitalina.rudyk@gmail.com)

## DECISIONS ON SELECTING THE TRAINING ALGORITHM OF THE NEURAL NETWORK WITH A SET OF ITS BEING CONTROLLED PARAMETERS

Vadim Romanuke

**Abstract:** *There is predicated a decision making problem with the finite set of neural network training algorithms as alternatives against a set of that neural network parameters, being controlled and estimated. The rules for making decisions on selecting the training algorithms optimally are formulated.*

**Keywords:** *neural network, training algorithm, decision making problem, point-evaluation, interval-evaluation, Bayes — Laplace rule, optimal strategy.*

**ACM Classification Keywords:** *H.4.2 Types of Systems — Decision support, I.2.6 Learning — Connectionism and neural nets.*

---

### Introduction

A primitive set of the neural network (NN) parameters contains the volume of the used resources (URV), erroneous performance rate (EPR), and the averaged period for teaching or training (ATP) the NN under an adjusted configuration [Haykin, 1999]. These three parameters, however, may be supplemented and split each into their subparameters [Borovikov, 2008], reflecting specific features of the functioning NN. But NN with a set of its being controlled parameters can be configured in several ways. Sometimes an NN configuration is associated with the algorithm of training the NN [Hagan, 1994], after which NN acquires converged values of its adjusted parameters [Vogl, 1988]. So, there stands an actual task to select that training algorithm (TA) which could ensure the desired values for the being controlled parameters of NN.

---

### Training algorithms against the neural network parameters

The task of selecting the TA of NN with a set of its being controlled parameters is formulated as a decision making problem [Chernorutskiy, 2005] with the finite set of TA as alternatives against the set of NN parameters. Certainly, the values of elements of the corresponding decision matrix (DM) should be standardized or normalized [Trukhayev, 1981] so, that difference in dimension units of NN parameters would be disregarded [Bolshakov, 2007]. Although, there is a wide many of situations, when DM elements can be evaluated only as some intervals [Trukhayev, 1981]. For instance, such an evaluation is typical [Borovikov, 2008] for EPR, ATP, and rarely for URV. It causes wants to map these interval evaluations into points [Trukhayev, 1981] and then resolve the task of selection.

---

### Target

Will formulate rules for making decisions on selecting the TA of NN with a set of its being controlled parameters. For hitting this target there should be generalized the selection task as choice task for cases when a probability measure (PM) is defined over NN parameters and when it is not.

---

**Convention**


---

May there be NN with  $M$  parameters  $\{r_i\}_{i=1}^M$ , each of which is evaluated as a point value or an interval of real values. This NN can be trained with one of  $N$  TA  $\{a_j\}_{j=1}^N$ . The value of the  $i$ -th parameter of NN, trained with the  $j$ -th TA, is  $u_{ij}$ , though it belongs to the defined segment as

$$u_{ij} \in [a_{ij}; b_{ij}] \text{ by } a_{ij} < b_{ij} \quad (1)$$

if its definition is made intervally. May it also be there a convention that the parameters of NN were constituted so, that the lesser  $u_{ij}$  the better the  $i$ -th parameter of NN, trained with the  $j$ -th TA. Hence here is  $N \times M$  matrix

$\mathbf{U} = (u_{ij})_{N \times M}$  of a decision making problem to select the optimal TA, making NN produce the desired values of its parameters.

---

**1. Appropriateness check and standardization**


---

If the value of  $u_{ij}$  is defined or determined as a point  $u_{ij} = u_{ij}^*$ , then firstly there comes an appropriateness check of

$$u_{ij}^* \leq u_i^{(\max)} \quad \forall i = \overline{1, M} \text{ for } j = \overline{1, N}. \quad (2)$$

Suppose that (2) is true for a set of indexes  $J \subseteq \{\overline{1, N}\}$ , that is

$$u_{ij}^* \leq u_i^{(\max)} \quad \forall i = \overline{1, M} \text{ and } \forall j \in J \subseteq \{\overline{1, N}\}. \quad (3)$$

The case with  $|J| = \emptyset$  speaks that NN cannot be taught with the set of TA  $\{a_j\}_{j=1}^N$ . The case with  $|J| = 1$  proclaims the decision on selecting the TA of NN to be already made: there is the single  $j$ -th TA,  $j \in J$ , for teaching the NN with the set  $\{r_i\}_{i=1}^M$  of its being controlled parameters. In the case with  $|J| = N_J > 1$  the values

$\{\{u_{ij}^*\}_{j \in J}\}_{i=1}^M$  are standardized through

$$k_{ij} = \frac{u_{ij}^*}{\max_{n \in J} u_{in}^*} \quad \forall i = \overline{1, M} \text{ and } \forall j \in J \quad (4)$$

or

$$k_{ij} = \frac{u_{ij}^*}{u_i^{(\max)}} \quad \forall i = \overline{1, M} \text{ and } \forall j \in J \quad (5)$$

by  $J = \{j_i\}_{i=1}^{N_J} \subseteq \{\overline{1, N}\}$ .

---

**2. Point-evaluated DM elements and PM over NN parameters**


---

If the value of  $u_{ij}$  is a point  $u_{ij} = u_{ij}^*$  and PM over NN parameters is defined as weights

$$\{\mu_i^*\}_{i=1}^M, \mu_i^* \in [0; 1] \quad \forall i = \overline{1, M} \text{ by } \sum_{i=1}^M \mu_i^* = 1, \quad (6)$$

then after (3) and (4) or (5) the optimal TA  $a_{j_i}$  has the number

$$j_i \in J_i = \operatorname{argmin}_{j \in J} \sum_{i=1}^M \mu_i^* k_{ij} \quad (7)$$

due to the Bayes — Laplace rule, where the set  $J_i$  is always nonempty, though it is not excluded that  $|J_i| > 1$ .

And in the case with  $|J_i| > 1$  the intra-optimal TA  $a_{j_{..}}$  number may be found by one of the following rules:

$$j_{..} \in J_{..} = \operatorname{argmin}_{j \in J} \max_{i=1, N} \{k_{ij}\}, \quad (8)$$

$$j_{..} \in J_{..} = \operatorname{argmin}_{j \in J} \max_{i=1, N} \{\mu_i^* k_{ij}\}, \quad (9)$$

$$j_{..} \in J_{..} = \operatorname{argmin}_{j \in J} \left\{ \prod_{i=1}^M k_{ij} \right\}, \quad (10)$$

$$j_{..} \in J_{..} = \operatorname{argmin}_{j \in J} \left\{ \prod_{i=1}^M \mu_i^* k_{ij} \right\}, \quad (11)$$

where the set  $J_{..}$  is always nonempty. Deeper, if one of the rules (8) — (11) outputs the set  $|J_{..}| > 1$ , then this set can be put into an non-empowered rule from those ones under minimization until the set  $J_{..}$  contains the single element or all the four rules (8) — (11) are applied. However, an arbitrary choice of TA with the number from the set  $|J_i| > 1$  or  $|J_{..}| > 1$  may be allowable too.

### 3. Point-evaluated DM elements and partially uncertain PM over NN parameters

If the value of  $u_{ij}$  is a point  $u_{ij} = u_{ij}^*$  and PM  $\{\mu_i\}_{i=1}^M$  over NN parameters is partially defined uncertain as weights

$$\{\mu_i\}_{i=1}^M, \mu_i \in [\mu_i^{(\min)}; \mu_i^{(\max)}], 0 < \mu_i^{(\min)} < \mu_i^{(\max)} < 1, \sum_{i=1}^M \mu_i = 1, \quad (12)$$

then before applying a making decision rule for TA choice the segments in (12) must be mapped properly into points (6), where in mapping the  $i$ -th segment  $[\mu_i^{(\min)}; \mu_i^{(\max)}]$  into the point  $\mu_i^*$  there must be

$\mu_i^* \in [\mu_i^{(\min)}; \mu_i^{(\max)}]$  necessarily. Having got (3) and (4) or (5), here is two ways of accomplishing this mapping.

The first is antagonistic (minimax) one: if an optimal strategy

$$\begin{aligned} \hat{\mathbf{X}} &= [\hat{\mu}_1 \quad \hat{\mu}_2 \quad \cdots \quad \hat{\mu}_M] \in \operatorname{argmax}_{\mathbf{X} \in \mathcal{X}} \min_{\mathbf{Q} \in \mathcal{Q}} (\mathbf{X} \cdot \mathbf{K} \cdot \mathbf{Q}^T) = \hat{\mathcal{X}} \subset \mathcal{X} = \\ &= \left\{ \mathbf{X} = [\mu_1 \quad \mu_2 \quad \cdots \quad \mu_M] \in \mathbb{R}^M : \sum_{i=1}^M \mu_i = 1, \mu_i \in [0; 1] \quad \forall i = \overline{1, M} \right\} \end{aligned} \quad (13)$$

by

$$\mathbf{Q} = [q_{j_1} \quad q_{j_2} \quad \cdots \quad q_{j_{N_j}}] \in \mathcal{Q} = \left\{ \mathbf{Q} \in \mathbb{R}^{N_j} : \sum_{l=1}^{N_j} q_{j_l} = 1, q_{j_l} \in [0; 1] \quad \forall l = \overline{1, N_j} \right\} \quad (14)$$

in the  $\mathbf{K} = (k_{ji})_{M \times N_j}$  game appears such, that

$$\hat{\mu}_i \in [\mu_i^{(\min)}; \mu_i^{(\max)}] \quad \forall i = \overline{1, M} \quad (15)$$

then

$$\mu_i^* = \hat{\mu}_i \quad \forall i = \overline{1, M}. \quad (16)$$

Consequently, instead of the rules (7) – (11) the  $\mathbf{K} = (k_{ji})_{M \times N_j}$  game ensues: the second player optimal strategy

$$\begin{aligned} \tilde{\mathbf{Q}} &= [\tilde{q}_{j_1} \quad \tilde{q}_{j_2} \quad \cdots \quad \tilde{q}_{j_{N_j}}] \in \operatorname{argmin}_{\mathbf{Q} \in \mathcal{Q}} \max_{\mathbf{X} \in \mathcal{X}} (\mathbf{X} \cdot \mathbf{K} \cdot \mathbf{Q}^\top) = \tilde{\mathcal{Q}} \subset \mathcal{Q} = \\ &= \left\{ \mathbf{Q} = [q_{j_1} \quad q_{j_2} \quad \cdots \quad q_{j_{N_j}}] \in \mathbb{R}^{N_j} : \sum_{l=1}^{N_j} q_{j_l} = 1, q_{j_l} \in [0; 1] \quad \forall l = \overline{1, N_j} \right\} \end{aligned} \quad (17)$$

in this game shows that it is optimal to apply the  $j_l$ -th TA with the probability (or weight)  $\tilde{q}_{j_l}$  by  $l = \overline{1, N_j}$  inasmuch as

$$\tilde{\mathcal{Q}} = \operatorname{argmin}_{\mathbf{Q} \in \mathcal{Q}} (\tilde{\mathbf{X}} \cdot \mathbf{K} \cdot \mathbf{Q}^\top) \quad (18)$$

by (13). But if (15) is not true for any optimal strategy from the set  $\mathcal{X}$  then the second way is in removing  $\left\{ [\mu_i^{(\min)}; \mu_i^{(\max)}] \right\}_{i=1}^M$  uncertainties [Romanuke, 2011] independently of the optimal strategy (13):

$$\mu_k^* = \frac{\mu_k^{(\max)}}{1 + \sum_{m=1}^{M-1} \mu_m^{(\max)} - \sum_{m=1}^{M-1} \mu_m^{(\min)}} \quad \text{for } k = \overline{1, M-1} \quad (19)$$

and

$$\mu_M^* = 1 - \sum_{k=1}^{M-1} \mu_k^* = 1 - \frac{\sum_{k=1}^{M-1} \mu_k^{(\max)}}{1 + \sum_{m=1}^{M-1} \mu_m^{(\max)} - \sum_{m=1}^{M-1} \mu_m^{(\min)}} = \frac{1 - \sum_{m=1}^{M-1} \mu_m^{(\min)}}{1 + \sum_{m=1}^{M-1} \mu_m^{(\max)} - \sum_{m=1}^{M-1} \mu_m^{(\min)}} \quad (20)$$

if

$$\frac{\mu_k^{(\max)}}{1 + \sum_{m=1}^{M-1} \mu_m^{(\max)} - \sum_{m=1}^{M-1} \mu_m^{(\min)}} \geq \mu_k^{(\min)} \quad \forall k = \overline{1, M-1}. \quad (21)$$

Nevertheless, let  $\mathcal{M}_j$  be the set of those indexes  $j$  from the set  $\{\overline{1, M-1}\}$  for which there is

$$\frac{\mu_j^{(\max)} \left( 1 - \sum_{l \in \bigcup_{q=1}^{j-1} \mathcal{M}_q} \mu_l^{(\min)} \right)}{1 + \sum_{i=1}^{M-1} \mu_i^{(\max)} - \sum_{l \in \bigcup_{q=1}^{j-1} \mathcal{M}_q} \mu_l^{(\max)} - \sum_{i=1}^{M-1} \mu_i^{(\min)}} < \mu_j^{(\min)} \quad (22)$$

by  $j \in \mathcal{M}_r$  and  $r \in \{\overline{1, M-2}\}$ . Then

$$\mu_j^* = \mu_j^{(\min)} \quad \forall j \in \mathcal{M}_r \quad \text{after} \quad \mu_j^* = \mu_j^{(\min)} \quad \forall j \in \bigcup_{q=1}^{r-1} \mathcal{M}_q \quad (23)$$

and

$$\mu_k^* = \frac{\mu_k^{(\max)} \left( 1 - \sum_{l \in \bigcup_{q=1}^r \mathcal{M}_q} \mu_l^{(\min)} \right)}{1 + \sum_{i=1}^{M-1} \mu_i^{(\max)} - \sum_{l \in \bigcup_{q=1}^r \mathcal{M}_q} \mu_l^{(\max)} - \sum_{i=1}^{M-1} \mu_i^{(\min)}} \quad \text{for } k \in \{\overline{1, M-1}\} \setminus \bigcup_{q=1}^r \mathcal{M}_q \quad (24)$$

by

$$\frac{\mu_k^{(\max)} \left( 1 - \sum_{l \in \bigcup_{q=1}^r \mathcal{M}_q} \mu_l^{(\min)} \right)}{1 + \sum_{i=1}^{M-1} \mu_i^{(\max)} - \sum_{l \in \bigcup_{q=1}^r \mathcal{M}_q} \mu_l^{(\max)} - \sum_{i=1}^{M-1} \mu_i^{(\min)}} \geq \mu_k^{(\min)} \quad \forall k \in \{\overline{1, M-1}\} \setminus \bigcup_{q=1}^r \mathcal{M}_q \quad (25)$$

and

$$\begin{aligned} \mu_M^* &= 1 - \sum_{k=1}^{M-1} \mu_k^* = 1 - \sum_{j \in \bigcup_{q=1}^r \mathcal{M}_q} \mu_j^{(\min)} - \\ &\quad 1 - \sum_{l \in \bigcup_{q=1}^r \mathcal{M}_q} \mu_l^{(\min)} \\ &= \frac{1 - \sum_{l \in \bigcup_{q=1}^r \mathcal{M}_q} \mu_l^{(\min)}}{1 + \sum_{i=1}^{M-1} \mu_i^{(\max)} - \sum_{l \in \bigcup_{q=1}^r \mathcal{M}_q} \mu_l^{(\max)} - \sum_{i=1}^{M-1} \mu_i^{(\min)}} \cdot \sum_{k \in \{\overline{1, M-1}\} \setminus \bigcup_{q=1}^r \mathcal{M}_q} \mu_k^{(\max)}. \end{aligned} \quad (26)$$

After having mapped partially uncertain PM (12) over NN parameters into (19), (20) by (21) or (23) with  $r \in \{\overline{1, M-2}\}$ , (24), (26) by (25) there is applied the rule (7). If  $|J_*| > 1$  then the set  $J_*$  is determined within (8) — (11) by the section 2 remarks.

#### 4. Interval-evaluated DM elements

If the value of  $u_{ij}$  is defined intervally as (1), then firstly there comes the set  $J = \{j_i\}_{i=1}^{N_j} \subseteq \{\overline{1, N}\}$  of

$$b_{ij} \leq u_i^{(\max)} \quad \forall i = \overline{1, M} \quad \text{and} \quad \forall j \in J \subseteq \{\overline{1, N}\}. \quad (27)$$

The results of cases with  $|J| = \emptyset$  and  $|J| = 1$  are the same as in the section 1. In the case with  $|J| = N_j > 1$  the values  $\left\{ \left\{ u_{ij}^* \right\}_{j \in J} \right\}_{i=1}^M$  are determined as

$$u_{ij}^* = \sqrt{a_{ij} b_{ij}} \quad \forall i = \overline{1, M} \text{ by } j \in J \subseteq \{1, N\} \quad (28)$$

and standardized through (4) or (5). If PM over NN parameters is defined as weights (6), then there is straight out the rule (7) and are the rules (8) — (11) by the section 2. But when PM  $\{\mu_i\}_{i=1}^M$  over NN parameters is partially defined uncertain as weights (12), then if it is mapped as (16) by (15) from (13), there is counseled it to apply the  $j_l$ -th TA with the weight  $\tilde{q}_{j_l}$  by  $l = \overline{1, N_j}$ . Otherwise, if partially uncertain PM (12) over NN parameters is mapped into (19), (20) by (21) or (23) with  $r \in \{1, M-2\}$ , (24), (26) by (25), then the optimal TA number is determined over again with rules (7), (8) — (11) by the section 2 remarks.

---

## 5. Unknown PM over NN parameters

---

What-and-how-ever defined the value of  $u_{ij}$  is, the unknown PM over NN parameters directs to use (16) from (13). Then instead of the rules (7) — (11) the  $\mathbf{K} = (k_{j_l})_{M \times N_j}$  game ensues: the second player optimal strategy (17) in this game shows that it is optimal to apply the  $j_l$ -th TA with the weight  $\tilde{q}_{j_l}$  by  $l = \overline{1, N_j}$  inasmuch as (18) by (13) is true. Before this, certainly, the values  $\left\{ \left\{ u_{ij}^* \right\}_{j \in J} \right\}_{i=1}^M$  for the submatrix  $\mathbf{K} = (k_{j_l})_{M \times N_j}$  of the matrix  $\mathbf{U}^T = (u_{ij})_{M \times N}$  are drawn from either checking (2) into (4) or (5), or checking (27) with calculations in (28) into (4) or (5).

---

## Conclusion

---

The formulated rules for making decisions on either selecting the optimal TA number by (7) — (11) or combining TA within their set  $\{a_j\}_{j=1}^N$  optimally by (17) for NN with its being controlled parameters  $\{r_i\}_{i=1}^M$  are valid only under the expounded convention. By that the point evaluations of DM elements and PM over NN parameters in (6) should be strongly reliable. The reliability of interval-evaluated DM elements by (1) and partially uncertain PM (12) is higher, though. And, naturally, the endpoints of segments in  $\left\{ \left[ a_{ij}; b_{ij} \right] \right\}_{j=1}^N$  and  $\left\{ \left[ \mu_i^{(\min)}; \mu_i^{(\max)} \right] \right\}_{i=1}^M$  are not required to be as strongly reliable as the point evaluations [Park, 2010]. Actually, transition from point evaluations into interval evaluations often is explained with low reliability of pre-defined points  $\left\{ \left\{ u_{ij}^* \right\}_{j=1}^N \right\}_{i=1}^M$  and weights  $\{\mu_i\}_{i=1}^M$  in (6).

Unknown PM over NN parameters is a case, which is widespread at the start of functioning of NN, when potentialities, usage conditions and parameters of NN can be estimated only through a series of solving real practical problems. So no astonishing, that the decision to use PM over  $N_j$  TA  $\{a_{j_l}\}_{l=1}^{N_j}$  as the distribution in (17) at the start of NN functioning appears the most reliable and substantiated, although the second player optimal strategy (17) must be realized properly through the running multistage process of training the NN.

Having finally solved the generalized choice task for TA, either the rules (7) — (11) or TA combination with weights in the second player optimal strategy (17) both ensure optimization of at least EPR, ATP, URV and other fundamental parameters of NN. That optimization is meant as the values of parameters of NN are converged to their averages [Moller, 1993], whose some convex combination is minimal or, for the case of the  $\mathbf{K} = (k_{ji})_{M \times N_j}$  game, is not greater than  $\hat{\mathbf{X}} \cdot \mathbf{K} \cdot \tilde{\mathbf{Q}}^T$ .

---

### Acknowledgements

The paper is published with financial support by the project ITHEA XXI of the Institute of Information Theories and Applications FOI ITHEA Bulgaria [www.ithea.org](http://www.ithea.org), and the Association of Developers and Users of Intelligent Systems ADUIS Ukraine [www.aduis.com.ua](http://www.aduis.com.ua).

---

### Bibliography

- [Haykin, 1999] Haykin S. Neural Networks: A Comprehensive Foundation. — New Jersey: Prentice Hall, Inc., 1999.
- [Borovikov, 2008] Borovikov V. P. Neural Networks. STATISTICA Neural Networks: Methodology and technologies of modern data analysis [reference edition] / Under the editorship of V. P. Borovikov. — [2nd edition, remade and expanded]. — Moscow: Hot Line — Telecom, 2008. — 392 p. (in Russian)
- [Hagan, 1994] Hagan M. T., Menhaj M. Training feedforward networks with the Marquardt algorithm // IEEE Transactions on Neural Networks. — 1994. — Vol. 5, N. 6. — P. 989 — 993.
- [Vogl, 1988] Vogl T. P., Mangis J. K., Rigler A. K., Zink W. T., Alkon D. L. Accelerating the convergence of the backpropagation method // Biological Cybernetics. — 1988. — Vol. 59. — P. 256 — 264.
- [Chernorutskiy, 2005] Chernorutskiy I. G. Methods of decision making. — Saint-Petersburg: BHV-Petersburg, 2005. — 416 p. (in Russian)
- [Trukhayev, 1981] Trukhayev R. I. Models of decision making under uncertainties. — Moscow: Nauka, 1981. — 258 p. (in Russian)
- [Bolshakov, 2007] Bolshakov A. A., Karimov R. N. Methods of processing multidimensional data and time series. — Moscow: Hot Line — Telecom, 2007. — 520 p. (in Russian)
- [Romanuke, 2011] Romanuke V. V. Generalized model of removing  $N$  partial uncertainties of the probabilistic type as continual antagonistic game on  $(2N - 2)$ -dimensional parallelepiped with maximal disbalance minimization // Visnyk of Khmelnytskyi National University. Technical Sciences. — 2011. — N. 3. — P. 45 — 60. (in Ukrainian)
- [Park, 2010] Park I., Amarchinta H. K., Grandhi R. V. A Bayesian approach for quantification of model uncertainty // Reliability Engineering & System Safety. — 2010. — Vol. 95, Issue 7. — P. 777 — 785.
- [Moller, 1993] Moller M. F. A scaled conjugate gradient algorithm for fast supervised learning // Neural Networks. — 1993. — Vol. 6. — P. 525 — 533.

---

### Author' Information



**Vadim Romanuke** — *c. t. s., associate prof., associate prof. of the Applied Mathematics and Social Informatics Department of Khmelnytskyi National University, 29016, Ukraine, Khmelnytskyi, Institutskaya str., 11; e-mail: [romanukevadimv@mail.ru](mailto:romanukevadimv@mail.ru)*

*Major Fields of Scientific Research: Decision making, Game theory*

## СОЗДАНИЕ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОЙ ПОИСКОВОЙ СИСТЕМЫ НА БАЗЕ ОБЛАЧНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Глибовец Андрей, Ситмамбетов Назим

**Абстракт:** В статье сделан обзор основных технологий, которые могут быть использованы при построении поисковой системы с использованием облачных технологий. Исходя из декомпозиции задачи, для каждой подзадачи предоставляется аргументированное обоснование выбора средств и платформы для её решения. Для построения системы выбраны технологии: J2EE, PDFBox, Lucene и платформа облачных вычислений Google App Engine. Базируясь на выбранных технологиях, создан и описан прототип ядра специализированной поисковой системы и развёрнут на базе Google App Engine облака.

**Keywords:** поисковая система, облачные технологии, Google App Engine, Lucene, JSF, прототип поисковой системы.

**ACM Classification Keywords:** D.3.2, D.2.2 Design – search engine

---

### Введение

Системы поиска информации являются неотъемлемой частью современного мира информационных технологий, ведь количество информации растёт непрерывно, а время для нахождения необходимой информации должно оставаться неизменным. Универсальные поисковые системы на данный момент уже не в состоянии удовлетворить потребности всех пользователей. Скорость, удобство и главное релевантность, - те характеристики, которым должна соответствовать специализированная поисковая система. Целью этой работы, является выбор средств и построение ядра специализированной поисковой системы на базе облачных технологий. Наша поисковая система должна предоставлять сервис поиска в коллекции научных публикаций, опубликованных на русском или украинском языке.

Построение поисковой системы можно логически разбить на следующие подзадачи:

- построение crawler-a – программы, которая собирает объекты поиска;
- подготовка объектов;
- индексация объектов;
- реализация поисковых алгоритмов;
- создание пользовательского интерфейса.

---

### Выбор технологий

Для решения поставленной задачи основным языком разработки был выбран язык программирования Java, потому что:

- существует достаточно большое количество библиотек, находящихся в свободном использовании и предназначенных для индексации, поиска, преобразования документов, что позволяет используя концепцию ООП, использовать библиотеки и расширять их для решения поставленной задачи;

- возникает возможность использовать Java 2 Enterprise Edition (J2EE) для решения задач по созданию серверной платформы поисковой системы, а также разработки пользовательского веб-интерфейса.

Построение так называемого crawler-а было рассмотрено в предыдущей работе [Глибовець, 2010] и поэтому мы не будем дополнительно останавливаться на этой проблеме.

На этапе подготовки объектов все документы должны быть приведены к единому формату. На начальном этапе мы ограничились работой только с форматом pdf, ведь большинство научных публикаций являются документами именно этого типа. Но понятно, что позже система должна быть расширена дополнительными функциями для обработки документов и в других форматах (Word, Xml, HTML, RDF).

Результатом индексации документов системы является реверсивный индекс. Процесс индексации стандартизирован и не зависит от типа и структуры документов, но несмотря на это, в процессе индексации индексатор должен выявлять специализированные метаданные документа: автор, название, список использованной литературы и т.д..

Для подготовки объектов, собранных crawler-ом, было принято решение использовать java библиотеку PDFBox. PDFBox - это open source средство для работы с PDF документами, что дает возможность для создания, чтения и модификации существующих PDF документов.

Проанализировав существующие библиотеки, которые предоставляют функционал индексации и поиска документов (Compass, Oxyus, BDDBot, Egothor, Nutch, Lucene, Zilverline), была выбрана библиотека Lucene [Hatcher, 2004]. Lucene - open source библиотека для высокоскоростного полнотекстового поиска, написанная на Java и поддерживаемая Apache Foundation. Данная библиотека может быть использована для поиска в Интернет.

Основные возможности Lucene:

- масштабируемая и высокоскоростная индексация
  - размер индекса может составлять 95GB
  - требует небольшого размера оперативной памяти - 1MB
  - индекс занимает примерно 20-30% исходного текста
- мощный, точный и эффективный поисковый алгоритм
  - алгоритм ранжирования базируется на векторно-пространственной модели, что позволяет возвращать достаточно четкие результаты за приемлемое время. Существует модуль, позволяющий реализовать вероятностную систему ранжирования – BM25
  - поддерживается большое количество различных типов запросов: фразовые запросы, шаблонные (wildcard) запросы, поиск с учетом интервалов
  - поддерживается зонный поиск, который очень важен для поисковой системы научных материалов (зоны: титул, название, автор, текст)
  - возможность работы с распределенными индексами с последующим объединением результатов
  - возможность одновременного поиска и обновления индекса
- является кроссплатформенным решением
  - исходный код полностью написан на Java
  - существует возможность использования других языков программирования (Python, C++, C#).

Для создания интерфейса (java web приложения) было принято решение использовать Java Server Faces (JSF [Mann, 2004]). JSF - это фреймворк для веб-приложений, написанный на Java. Он служит для того, чтобы облегчать разработку пользовательских интерфейсов для Java EE приложений. В отличие от прочих MVC фреймворков, которые управляются запросами, подход JSF основывается на использовании компонентов. Состояние компонентов пользовательского интерфейса сохраняется, когда пользователь запрашивает новую страницу и затем восстанавливается, если запрос повторяется. Для отображения данных обычно используется JSP, Facelets.

Технология JSF включает:

- Набор API для представления пользовательского интерфейса и управления состоянием, обработкой событий и валидацией данных;
- Специальную библиотеку JSF тегов для представления JSF страницы.

Для создания связей между объектами было принято решение использовать Java EE Context Dependency Injection (CDI). CDI - фреймворк Java контейнера (контейнера сервлетов EJB), который позволяет гибко и элегантно реализовать принцип программирования Inversion of Control. Inversion of control уменьшает связность между объектами. Dependency Injection - один из способов его реализации.

На май 2012 года в Интернет существует большое количество сервисов (Platform as a Service), предоставляющих услуги платформы для облачных вычислений. Наиболее известными являются:

- Amazon Web Services - PaaS & IaaS. Предоставляет сервисы для хранения данных, аренды виртуальных серверов, предоставление вычислительных мощностей
- Windows Azure - PaaS. Предоставляет такие же сервисы, как и Amazon Web Services. Исключительной особенностью является то, что оплата услуг ведется только за использованные ресурсы (данные, процессорное время, сетевые расходы и т.п.).
- Google App Enggne (GAE [Davis, 2011]) - PaaS. Предоставляет контейнер сервлетов и такие сервисы как хранение данных, кэширование, поиск, конвертация форматов и т.п. Платформа предоставляет лимитированное количество бесплатных операций (до некоторого момента системой можно пользоваться совершенно бесплатно).

Для решения нашей задачи была выбрана платформа Groogie App Engine. Основными преимуществами данной системы является:

- возможность бесплатного тестирования решения сразу на платформе;
- поддержка языка Java;
- поддержка J2EE Servlets API.

Среди основных возможностей GAE необходимо отметить также:

- поддержка JRE6;
- поддержка JPA & JDO;
- поддержка JCache;
- поддержка java mail;
- blobstore - сервис хранения больших файлов;
- conversion - сервис работы с различными типами файлов;
- OAuth - сервис авторизации через OpenID.

## Детали реализации

Lucene предоставляет широкий набор средств для создания инвертированного индекса. Lucene является фреймворком а потому допускает расширение функционала через переопределение функциональных единиц.

Расширяя функционал Lucene мы создали свой класс ScientificWorkIndexator (Рис.1.) который отвечает за процесс индексирования.

```
package ukma.sciir.indexation.impl;
import java.io.Reader;
import org.apache.lucene.document.Document;
import org.apache.lucene.document.Field;
import org.apache.lucene.document.Field.Index;
import org.apache.lucene.document.Field.Store;
import ukma.sciir.indexation.FieldType;
import ukma.sciir.indexation.Indexator;
/* Class, which encapsulates logic of indexing text streams
 * @author nazim.sitmanbetov
 */
public class ScientificWorkIndexator implements Indexator {

    @Override
    public Document createDocument(String docName, Reader contents) {
        Document result = new Document();
        result.add(new Field(FieldType.Contents.name(), contents));
        result.add(new Field(FieldType.Name.name(), docName, Store.YES,
            Index.ANALYZED));
        result.add(new Field(FieldType.Author.name(), "Nazim Sitmanbetov",
            Store.YES, Index.ANALYZED));
        result.add(new Field(FieldType.Description.name(),
            "This is a small description of a great work", Store.YES,
            Index.ANALYZED));
        return result;
    }
}
```

Рис.1. Класс ScientificWorkIndexator

Фамилию автора документа и название документа необходимо получить из исходного текста с помощью алгоритмов распознавания отдельных частей текста. На данный момент мы работаем над этой проблемой. Основная проблема состоит в том, что нет единого стандарта оформления документов. Специализированные зоны (название, автор, аннотация, список литературы) могут находиться в разных частях документа и быть отформатированы различными стилями. Мы работаем над алгоритмом, который базируясь на данных PDF документа (размер и тип шрифта, расположение на странице, расположение в документе) и машинном обучении позволит выделять эти зоны.

Нами была проиндексирована одна тысяча документов в формате PDF, и размер индекса составил 30% от исходного текста, что является довольно не плохим результатом.

GAE поддерживает сохранение данных в двух видах: объекты в базе данных и большими блоками двоичных данных в Blobstore. Соответственно индекс нашей системы может быть размещён только в Blobstore в связи со своим размером. В стандартном наборе классов Lucene для чтения индекса нет механизма для работы с этим специализированным хранилищем. Поэтому был создан адаптер (Рис.2.а Рис.2.б.), реализующий стандартный интерфейс Lucene - IndexReader и работающий с GAE Blobstore.

```

package org.apache.lucene.store;
/** Licensed to the Apache Software Foundation (ASF) under one or more
 * contributor license agreements.
 * The ASF licenses this file to You under the Apache License, Version 2.0 */
import java.io.IOException;
import com.google.appengine.api.blobstore.BlobInfo;
import com.google.appengine.api.blobstore.BlobInfoFactory;
import com.google.appengine.api.blobstore.BlobKey;
/** A memory-resident {@link IndexInput} implementation like the
 * {@link RAMInputStream}.
 * $Id: GAEIndexInput.java 25 2009-09-14 02:10:51Z thelper $ */
public class GAEIndexInput extends IndexInput implements Cloneable {
    public static final long BUFFER_SIZE = 1015807;
    private byte[] buffer;
    private int bufferPosition = 0;
    private int bufferIndex = 0;
    private BlobInfo blobInfo;
    private GaeCache cache;
    GAEIndexInput(GAEFile f, GaeCache cache) throws IOException {
        super(f.getName());
        this.cache = cache;
        this.blobInfo = new BlobInfoFactory().loadBlobInfo(new BlobKey(f
            .getBlobKey()));
        this.buffer = cache.get(blobInfo, bufferIndex);
    }
    private GAEIndexInput(String resourceName, byte[] buffer,
        int bufferPosition, int bufferIndex, BlobInfo blobInfo, GaeCache cache) {
        super(resourceName);
        this.buffer = buffer;
        this.bufferPosition = bufferPosition;
        this.bufferIndex = bufferIndex;
        this.blobInfo = blobInfo;
        this.cache = cache;
    }
    public void close() { }
    public byte readByte() throws IOException {
        if (bufferPosition >= buffer.length) {
            getNextChunk();
        }
        return buffer[bufferPosition++];
    }
    private void getNextChunk() {
        bufferPosition = 0;
        ++bufferIndex;
        this.buffer = cache.get(blobInfo, bufferIndex);
    }
    @Override
    public void readBytes(byte[] b, int offset, int len) throws IOException {
        while (len > 0) {
            if (bufferPosition >= buffer.length) {
                getNextChunk();
            }
            int remainInBuffer = buffer.length - bufferPosition;
            int bytesToCopy = len < remainInBuffer ? len : remainInBuffer;
            System.arraycopy(buffer, bufferPosition, b, offset, bytesToCopy);
            offset += bytesToCopy;
            len -= bytesToCopy;
            bufferPosition += bytesToCopy;
        }
    }
    public long getFilePointer() {
        return bufferPosition + bufferIndex * BUFFER_SIZE;
    }
}

```

Рис.2.а. Адаптер, реализующий стандартный интерфейс Lucene

```

public void seek(long pos) throws IOException {
    if (pos >= blobInfo.getSize()) {
        throw new IOException("Index '" + pos
            + "' is out of buffer length " + buffer.length);
    }
    bufferIndex = (int) (pos / BUFFER_SIZE);

    bufferPosition = (int) (pos % BUFFER_SIZE);

    this.buffer = cache.get(blobInfo, bufferIndex);
}

@Override
public Object clone() {
    return new GAEIndexInput(blobInfo.getFilename(), buffer,
        bufferPosition, bufferIndex, blobInfo, cache);
}

@Override
public long length() {
    return blobInfo.getSize();
}
}

```

Рис.2.б. Адаптер, реализующий стандартный интерфейс Lucene

Таким образом мы смогли связать алгоритмы Lucene с файловым хранилищем GAE Blobstore.

Для построения интерфейса пользователя было выбрано JSF и основным Java Bean-ом является SearchBeanImpl (Рис.3.а, Рис.3.б.).

```

Package ukma.sciir.web.admin.impl;
import java.io.IOException;
import java.io.StringReader;
import java.util.Collections;
import java.util.LinkedList;
import java.util.List;
import javax.annotation.PostConstruct;
import javax.enterprise.context.ApplicationScoped;
import javax.inject.Inject;
import javax.inject.Named;
import javax.jdo.PersistenceManager;
import org.apache.lucene.analysis.CachingTokenFilter;
import org.apache.lucene.analysis.standard.StandardAnalyzer;
import org.apache.lucene.document.Document;
import org.apache.lucene.queryParser.ParseException;
import org.apache.lucene.queryParser.QueryParser;
import org.apache.lucene.search.IndexSearcher;
import org.apache.lucene.search.Query;
import org.apache.lucene.search.ScoreDoc;
import org.apache.lucene.search.TopDocs;
import org.apache.lucene.search.highlight.Highlighter;
import org.apache.lucene.search.highlight.InvalidTokenOffsetsException;
import org.apache.lucene.search.highlight.QueryScorer;
import org.apache.lucene.search.highlight.SimpleFragmenter;
import org.apache.lucene.search.highlight.SimpleHTMLFormatter;
import org.apache.lucene.util.Version;
import ukma.sciir.indexation.FieldType;
import ukma.sciir.web.SearchBean;
import ukma.sciir.web.SearchResult;
import ukma.sciir.web.SearchResultFactory;
import ukma.sciir.web.admin.IndexBean;
import ukma.sciir.web.admin.IndexListener;
import ukma.sciir.web.db.PMF;

```

Рис.3.а. Класс SearchBeanImpl

```

@ApplicationScoped
@Named("searchBean")
public class SearchBeanImpl implements SearchBean, IndexListener {
    private IndexSearcher indexSearcher;
    @Inject
    private IndexBean indexBean;
    @Inject
    private SearchResultFactory searchResultFactory;
    @PostConstruct
    public void init() {
        indexSearcher = indexBean.getIndexSearcher();
    }
    @Override
    public List<SearchResult> search(String query) {
        if (indexSearcher == null) { return Collections.emptyList();}
        List<SearchResult> searchResults = Collections.emptyList();
        try {
            QueryParser qp = new QueryParser(Version.LUCENE_36,
                FieldType.Contents.name(), new StandardAnalyzer(Version.LUCENE_36));
            Query q = qp.parse(query);
            TopDocs hits = indexSearcher.search(q, 10);
            if (hits.totalHits > 0) {
                searchResults = new LinkedList<SearchResult>();
                PersistenceManager pm = PMF.get().getPersistenceManager();
                try {
                    for (ScoreDoc scoreDoc : hits.scoreDocs) {
                        Document d = indexSearcher.doc(scoreDoc.doc);
                        SearchResult sr = searchResultFactory.getSearchResult(d,pm);
                        searchResults.add(sr);
                    }
                } finally {
                    pm.close();
                }
            }
        } catch (IOException e) {}
        } catch (ParseException e) {}
        }
        return searchResults;
    }
    boolean isIndexLoaded() { return indexSearcher != null; }
    @Override
    public void indexUploaded() { indexSearcher = indexBean.getIndexSearcher();}
    @Override
    public void indexDeleted() { indexSearcher = null; }
    private static String highlightField(Query query, String fieldName,
        String text) throws IOException {
        CachingTokenFilter tokenStream = new CachingTokenFilter(
            new StandardAnalyzer(Version.LUCENE_36).tokenStream(fieldName,
                new StringReader(text)));
        SimpleHTMLFormatter formatter = new SimpleHTMLFormatter();
        Highlighter highlighter = new Highlighter(formatter, new QueryScorer(
            query));
        highlighter.setTextFragmenter(new SimpleFragmenter(Integer.MAX_VALUE));
        tokenStream.reset();
        String rv = "";
        try {
            rv = highlighter.getBestFragments(tokenStream, text, 1, "(FIELD TEXT TRUNCATED)");
        } catch (InvalidTokenOffsetsException e) {}
        return rv.length() == 0 ? text : rv;
    }
}
}

```

Рис.3.6. Класс SearchBeanImpl

SearchBeanImpl является «слушателем» индекса, и после загрузки индекса изменяет свое состояние и начинает работу. Ключевым методом является List <SearchResult> search (String query), который собственно и осуществляет поиск в индексе. После выполнения, результаты отсылаются в HttpServletResponse и отображаются пользователю (рис. 4).

## ІНТЕЛЕКТ

[136274.pdf](#)

Author: Nazim Sitmanbetov

Description: This is a small description of a great work

[143894.pdf](#)

Author: Nazim Sitmanbetov

Description: This is a small description of a great work

[143861.pdf](#)

Author: Nazim Sitmanbetov

Description: This is a small description of a great work

[144201.pdf](#)

Author: Nazim Sitmanbetov

Description: This is a small description of a great work

Рис. 4. Интерфейс пользователя

Среднее время выполнения поискового запроса составляет - 700 мс. Этот результат не является лучшим, и существуют методы, позволяющие ускорить работу сервера, но на данный момент бесплатное использование платформы GAE накладывает определенные ограничения.

Прототип системы можно найти по адресу - <http://index-4.nazloid.appspot.com/user/search.jsf>

На данный момент ведется работа над:

- распознаванием специализированных зон (название, автор, аннотация, список использованной литературы);
- улучшением алгоритма ранжирования, включением весов специализированных зон и применением веса публикации;
- улучшением интерфейса.

## Выводы

Предоставление качественного специализированного поиска - сложная архитектурная и алгоритмическая задача. Предоставление привычного интерфейса, выдача релевантных результатов, быстрые методы индексирования и анализа документов, ограниченность ресурсов – все это очень усложняет задачу построения специализированной поисковой системы. Развертывание в облаке позволяет преодолеть ограниченность ресурсов, использование Lucene предоставляет быстрые методы индексирования и поиска, JSF позволяет предоставить адекватный интерфейс. Сочетание указанных технологий упрощает разработку и позволяет программисту сосредоточиться непосредственно на бизнес логике. Созданный

прототип ядра поисковой системы позволяет относительно легко расширяться и усовершенствоваться, что и будет сделано в ближайшее время.

---

### Благодарности

---

Работа опубликована при финансовой поддержке проекта **ITHEA XXI** Института информационных теорий и приложений FOI ITHEA Болгария [www.ithea.org](http://www.ithea.org) и Ассоциации создателей и пользователей интеллектуальных систем ADUIS Украина [www.aduis.com.ua](http://www.aduis.com.ua).

---

### Библиография

---

[Глибовець, 2010] Глибовець А.М., Шабінський А.С., Ольшевський Р.Я. Побудова пошукового робота українськомовних наукових матеріалів. Наукові праці МДУ ім. Петра Могили. Комп'ютерні технології. — Випуск 130. — том 143. — 2010. — с. 81-87.

[Hatcher, 2004] E. Hatcher, O.Gospodnetic. Lucene in Action – Manning, 2004 – 456 p.

[Mann, 2004] Kito D.Mann. Java Server Faces in Action - Manning, 2004 – 744 p.

[Davis, 2011] G.Davis, N.Johnson. Google App Engine in Action - Manning, 2011 – 578 p.

---

### Информация о авторах

---



**Глибовец Андрей** – кандидат физ.-мат. наук, доцент кафедры сетевых технологий Факультет информатики Национальный университет «Киево-Могилянська Академія» 04655, Украина, Киев, ул. Сковороды; e-mail: [andriy@glybovets.com.ua](mailto:andriy@glybovets.com.ua)

Основные области научных исследований: разработка интеллектуальной поисковой системы, построение онтологий, разработка систем искусственного интеллекта



**Ситмамбетов Назим** – Java разработчик в Intro Pro, студент магистерской программы «Информационные управляющие системы» факультета информатики национального университета «Киево-Могилянська Академія»; e-mail: [nasitmanbetov@gmail.com](mailto:nasitmanbetov@gmail.com)

Основные области научных исследований: реализация сложных распределённых вычислений, облачные технологии, информационный поиск

## СОЗДАНИЕ РЕКОМЕНДАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ УЧЕБНОГО ТИПА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ФРЕЙМВОРКА WINDOWS COMMUNICATION FOUNDATION

Глибовец Николай Николаевич, Сидоренко Марина Олеговна

**Аннотация:** В рамках работы исследуются технологии, которые используются для создания рекомендационных систем. Определены особенности рекомендательных систем, предложена их классификация в соответствии с алгоритмами фильтрации и сферами их применения. Предложена агентная архитектура системы для рекомендации выборочных курсов на базе фреймворка Windows Communication Foundation.

**Ключевые слова:** рекомендационная система, фильтрация по содержанию, коллаборативная фильтрация, Windows Communication Foundation

**ACM Classification Keywords:** I.2.11 Artificial Intelligence- Multiagent systems

---

### Введение

---

На сегодняшний день, наблюдается стремительное совершенствование технологий рекомендационных систем. Впервые опробованные в среде электронной коммерции, на данный момент они используются в различных сферах, в частности в системах электронного образования, благодаря целому ряду преимуществ - от повышения эффективности поиска информации, до содействия дистанционному обучению. Первые разработки рекомендательных систем берут свое начало в 90-х годах [Adomavicius, 2005], однако толчком, который вывел создание рекомендательных систем на новый уровень, является конкурс Netflix Prize [Bennett, 2007], который был организован в 2006 году компанией Netflix.

Рекомендательные системы помогают пользователям, которые столкнулись с проблемой огромного выбора, определить, что именно лучше всего отвечает их потребностям. Студент, перед которым стоит проблема выбора дисциплины обучения, является ярким представителем пользователя, которому не хватает опыта для самостоятельного выбора. С помощью рекомендательных систем, учебный процесс студента будет спланирован более продуктивно и эффективно.

Наиболее развитые системы изучают предпочтения каждого пользователя и предоставляют персонализированные рекомендации. В процессе работы эти системы собирают данные о пользователях, используя сочетание явных и неявных методов. Рекомендательные системы приобретают все большее распространение как перспективная технология. Ее использование позволяет пользователю решить проблему выбора среди большого количества альтернатив.

В работе анализируются технологии, которые используются для создания рекомендационных систем. Предложена агентная архитектура системы для рекомендации выборочных курсов на базе фреймворка Windows Communication Foundation. Описан созданный прототип рекомендательной системы по выбору учебных курсов, построенных на основе рекомендаций, полученных от других студентов. Обоснованы выбранные методы представления профиля студента, алгоритмы рекомендаций, способы оценки сходства студентов.

---

### Обзор рекомендательных систем

---

Рекомендательная система - система, которая дает рекомендации пользователю [Fasli, 2007]. Такое очень обобщенное определение рекомендательных систем, которое встречается в научной литературе чаще чем другие, говорит о том, что под эту категорию попадает достаточно большое количество различных технологий. Рекомендательная система позволяет пользователю замечать свои предпочтения

и возвращает результаты, которые полезны для него, основываясь на оценках других пользователей и предположениях самой системы. В отличие от поисковых систем, чтобы получить ответ, рекомендательная система не требует четкого запроса. Пользователю предлагается оценить некоторые объекты из коллекции и на основании его оценок и сравнения их с оценками других пользователей строятся предположения и возвращаются наиболее близкие к ним результаты. Более подробное описание и спецификацию рекомендательной системы указывают при описании конкретного способа ее реализации. Рекомендательную систему с коллаборативной фильтрацией определяют как систему, которая «предлагает пользователям определенные предметы, потому что эти предметы были высоко оценены другими пользователями со схожими вкусами» [Uchyigit,2003].

В каждой рекомендательной системе мы имеем дело с пользователем, которому предоставляется много альтернатив, среди которых ему необходимо осуществить свой выбор. Пользователю может не хватать опыта и знаний для того, чтобы самостоятельно отбросить альтернативы, которые не соответствуют его потребностям. Пользователь в определенной форме, эксплицитно или имплицитно, предоставляет системе информацию о своих предпочтениях, при этом о некоторых альтернативах он может даже и не знать. Таким образом, рекомендательная система представляется как система, которая использует определенный алгоритм фильтрации и существующие сведения о потребностях пользователя, для рекомендации ему набора альтернатив, которые считает наиболее полезными для него.

Для разработки рекомендательной системы используют два типа фильтрации - коллаборативную фильтрацию и фильтрацию за содержанием. Также существует отдельный тип, который объединяет черты двух предыдущих - гибридная фильтрация [Fasli, 2007; Uchyigit,2003; Montaner, 2003].

Для простоты описания РС будем использовать термин «объект», который обозначает то, что рекомендует система.

РС, которые разработаны на основе демографической фильтрации, используют описания пользователей для установления связи между определенным объектом и категорией пользователей, которые заинтересованы данным объектом. На основе стереотипной классификации создаются профили группы пользователей. При использовании этого метода фильтрации пользователь должен заполнить анкету при регистрации, информация из которой будет использована для отнесения пользователя к определенной группе.

Система с таким типом фильтрации основана на том, что обобщает интересы пользователей и рекомендует одинаковые объекты всем пользователям, которые принадлежат к одной группе. Система с демографической фильтрацией требует информацию об интересах пользователя, но дает не персонализированные рекомендации, а лишь обобщенные.

Демографический подход не предполагает никакого механизма адаптации профиля пользователя к изменениям в его интересах. При регистрации пользователя относят к определенной предметной категории со схожими интересами, а последующее их изменение никак не учитывается при предоставлении рекомендаций в будущем. Для решения такой проблемы, должно быть внедрено дополнительное редактирование регистрационной формы, в противном случае пользователь должен будет зарегистрировать новую анкету. Преимуществом этого метода считается его относительная простота реализации. Чаще демографическая фильтрация используется в комплексе с другими видами фильтрации, что приводит к улучшению предоставленных рекомендаций.

Неперсонализированные системы, рекомендуют пользователю определенные объекты, используя при этом общий рейтинг этого объекта, который определяется с помощью голосования всех остальных пользователей системы. Рекомендация такого характера не зависит от пользователя, который в ней нуждается. Результатом использования такой системы, будут одинаковые рекомендации выдаваемые на один и тот же запрос. Преимуществом такой системы является минимальное взаимодействие пользователя и системы.

В рекомендательных системах, в которых используется фильтр за содержанием, пользователи являются независимыми от других участников системы. Для того чтобы система сгенерировала рекомендации, ей нужен профиль пользователя, в котором будут отражены его интересы. В профиле в определенной форме (которая зависит от выбранного способа представления и выбранных алгоритмов) хранится информация об объектах (свойствах в виде атрибутов), которыми интересуется пользователь [Protogeris, 2007]. Также система содержит информацию обо всех предметах, которые она может рекомендовать. Такая система берет за основу описание предметов по профилю пользователя, и находит в собственной базе данных похожие предметы, после чего рекомендует их ему. Подход этого типа фильтрации очень уместен, когда у пользователя есть четко определенные, специфические заинтересованности, и он ищет аналогичные рекомендации. Преимуществом фильтрации за содержанием является то, что для начала предоставления рекомендаций не требуется большого количества зарегистрированных пользователей, то есть рекомендации не зависят от других пользователей системы. Главным ограничением этого метода является неспособность системы с таким видом фильтрации рекомендовать новые объекты, которые не следуют из интересов пользователя.

Для того, чтобы система имела высокое качество предоставления рекомендаций, она должна постоянно иметь обратную связь с пользователем, и узнавать релевантность предоставленных рекомендаций [Lin, 2007]. Также, эти сведения идут на обновление профиля пользователя. Но возникает другая проблема - пользователь всегда хочет свести к минимуму взаимодействие с системой и неохотно делиться информацией для обратной связи. Это типичная проблема для всех типов рекомендательных систем. А поскольку рекомендации целиком базируются на информации из профиля пользователя, то чем меньше сведений предоставляет пользователь, тем менее полезным будет набор рекомендаций, которые ему предложит система. Чтобы решить эту проблему используются различные техники автоматического сбора информации для поддержки профиля, что затрудняет реализацию такой системы и не всегда является эффективным. Рекомендационные системы с фильтрацией за содержанием чаще всего используются в системах электронной коммерции. Этот метод применяется также в сочетании с коллаборативной фильтрацией для более ценных рекомендаций в других сферах - электронное образование, программирование и прочее.

Рекомендательные системы с использованием коллаборативной фильтрации отыскивают пользователей с общими интересами и рекомендуют те объекты, которые были высоко оценены такими пользователями. Подобный тип фильтрации похож на то, как мы спрашиваем совет у коллег и друзей, поэтому его иногда называют социальным фильтрованием. Интерес каждого пользователя сохраняется в виде системы рейтингов, в которых видно насколько пользователю нравится или наоборот, не нравится тот или иной предмет. Такая система не обязательно должна иметь подробное описание предмета, ей вполне хватает лишь оценки пользователей о нем. Преимущество такой системы, в отличие от фильтрования за содержанием, заключается в том, что система не генерирует рекомендации исходя лишь из интересов одного пользователя.

Рекомендации в системе с коллаборативной фильтрацией в значительной степени зависят от формулировки «сходства» пользователей. Эта мера «сходства» должна быть установлена определенным образом. Для этого, рекомендательные системы используют различные метрики - векторное сходство, коэффициенты Пирсона, байесовскую вероятностную классификацию [Fasli, 2007]. Одним из наиболее используемых алгоритмов для определения сходства является алгоритм «ближайшего соседа» [Bedil, 2006].

Главная проблема, которая возникает при разработке рекомендательной системы с коллаборативной фильтрацией - это проблема «холодного начала» [Montaner, 2003] [Fasli, 2007]. Система не будет способна эффективно генерировать рекомендации, если большинство из пользователей не укажут свои интересы в профиле. Другим важным моментом, который необходимо учитывать при разработке подобных систем является то, что она должна быть масштабируемой.

Гибридные системы обычно комбинируют коллаборативную фильтрацию и фильтрацию за содержанием, что позволяет решить ряд проблем, имеющих место при применении этих методов по отдельности.

Далее будет рассмотрено, каким образом сочетание коллаборативной фильтрации и фильтрации по содержанию может решить эти проблемы. Недостатком систем с фильтрацией по содержанию является их ретроспективный характер, то есть неспособность порекомендовать новые предметы. С этим недостатком способна справиться коллаборативная фильтрация. Рекомендации, сгенерированные с помощью коллаборативной фильтрации, создаются на основе профилей остальных пользователей, поэтому не всегда похожи на объекты, которые активный пользователь указал в своем профиле.

Одновременно, весомым недостатком системы с коллаборативной фильтрацией является неспособность давать рекомендации пользователям с нетипичными и оригинальными вкусами, учитывая нехватку пользователей с похожими интересами, которые стали бы основой для генерации рекомендаций. В таких случаях эффективнее фильтрация по содержанию. Такой тип фильтрации также решает проблему «холодного начала». Пока система не наберет достаточного количества пользователей, используется фильтрация по содержанию, а когда достаточное количество пользователей будет достигнуто, система начинает работать с методами коллаборативной фильтрации.

В гибридной системе информация об интересах пользователей представлена в профиле в двух видах - как набор атрибутов определенного предмета и как его оценка пользователем [McCarey, 2006]. Такая характеристика является одновременно и преимуществом и недостатком системы. Преимущество заключается в том, что больше сведений дают возможность использовать эффективные алгоритмы фильтрации и генерировать полезные рекомендации. Недостаток такой системы заключается в том, что пользователю нужно ввести больше информации, что делается всегда очень неохотно, или вообще не делается.

К сожалению, сочетание фильтрации по содержанию и коллаборативной фильтрации не решает проблем масштабируемости системы и защиты приватности.

---

### **Разработка архитектуры и создание прототипа рекомендательной системы**

---

Windows Communication Foundation - название платформы следующего поколения, ранее известной под кодом Indigo, для коннекционных систем с использованием расширения API.NET. WCF делает возможным построение безопасных, надежных и транзакционных систем через упрощенную унифицированную программную модель межплатформенного взаимодействия. WCF предоставляет единую инфраструктуру для разработки, что повышает производительность и снижает расходы на создание безопасных, надежных и транзакционных Web-служб нового поколения. Заложенные в ней принципы интероперабельности позволяют легко достичь взаимодействия с другими платформами, для чего используются технологии взаимодействия платформ, например WSIT, разрабатываемых на базе источников открытого кода.

Сейчас на рынке существует несколько альтернатив, которые могли бы использоваться как инструмент для построения рекомендательной системы. Основными являются Java RMI, Microsoft WCF, Microsoft Remoting. Для построения рекомендательной системы учебного типа и реализации сетевой коммуникации была выбрана технология .NET Windows Communication Foundation. Этот выбор был сделан, руководствуясь следующими критериями:

- Интероперабельность - дает возможность сотрудничать с платформами, построенными на других операционных системах и средствах коммуникации;
- Удобство использования и настройки необходимых параметров связи и функционирования;
- Поддержка общераспространенного и удобного языка C# и .NET платформы, а также кодов описанных другими языками программирования, входящих в список Common Language Runtime;
- Оптимальное использование ресурсов аппаратной платформы.

Главным преимуществом использования Windows Communication Foundation является ее способность к расширению и изменению системы при переносе в веб, поскольку нет необходимости полностью перерабатывать ее.

Прототип РС состоит из трех основных частей: библиотеки классов RecService, сервера (ConsoleHost), клиента (ConsoleClient). В библиотеке классов RecService описана логика предоставления рекомендаций для студента (RecommendationEngine). Она содержит основные классы для описания поведения студента (Student) и предмета (Course). Здесь реализован класс DB, содержащий логику для работы с базой данных, что может считывать и записывать данные о студентах, предметах и связях между ними. Сервер агрегирует библиотеку RecService и предоставляет клиенту доступ к объекту типа RecommendationEngine. Клиент посылает запрос к серверу и отображает пользователю рекомендованные курсы по заданному имени студента.

Профиль студента реализован как набор прослушанных им курсов. Дальнейшая разработка рекомендательной системы позволит добавить к профилю различные данные о студенте, которые предоставят более точные рекомендации о выборочных курсах.

Для оценки сходства студентов прототип рекомендательной системы использует модель векторного пространства. Профиль студента представлен как вектор состоящий из булевых значений, обозначающих, какие курсы этот студент прослушал. Уровень сходства между двумя студентами определяется как отношение совместно прослушанных курсов к общему количеству прослушанных курсов ими обоими. Похожими считаются те студенты, уровень сходства для которых больше чем 68.2% (в окрестности  $\delta$ ).

Модель векторного пространства - распространенная техника, которая давно используется для представления документов в различных технологиях информационного поиска [Bedil,2006]. Выбор векторной схожести для вычисления сходства студентов обусловлен тем, что именно эта техника продемонстрировала лучшие результаты при проведении ряда экспериментов [Microsoft, 2007], т.е. по отзывам пользователей, рекомендательная система производила больший процент полезных рекомендаций, по сравнению с другими техниками.

По описанной выше схеме определяется список студентов схожих с данным студентом. Далее определяется список курсов, которые не были прослушаны этим студентом, но были прослушаны хотя бы одним из списка похожих. Он сортируется по частоте убывания среди подобных студентов. Тогда из них выбирается N первых предметов, и рекомендуются этому студенту.

РС начинает работу по запросу пользователя. Взаимодействие пользователей с рекомендационной системой происходит через консольный интерфейс, который в дальнейшей работе, благодаря преимуществам WCF, может быть переделан в веб-интерфейс. Программа способна, имея список курсов прослушанных определенным студентом, предоставить ему рекомендации относительно других курсов, которые он еще не слушал.

Для создания рекомендательной системы было использовано среду Visual Studio 2010 на базе .NET Framework 4.0 с использованием технологии WCF (Windows Communication Foundation).

Версия Visual Studio 2010 была избрана благодаря удобному интерфейсу с использованием Windows Presentation Foundation (WPF), внедрению следующего поколения инструментов ASP.NET, наличию поддержки динамических расширений в языках программирования C # и Visual Basic, использованию новых шаблонов проектов, инструментария для документирования тестовых сценариев и большого количество новых библиотек, поддерживающих Windows 7.

---

## **Заключение**

Рекомендательные системы - технология, которая стремительно развивается, эффективно используется в различных сферах, в частности в среде электронного обучения. Преимущества WCF, как следующего шага развития технологии .Net Remoting существенные, поэтому этот способ организации коммуникации прекрасно подходит для разработки рекомендательных систем.

В рамках работы исследовались рекомендательные системы в коллаборативных средах. Определены особенности рекомендательных систем, предложена их классификация в соответствии с алгоритмами фильтрации. Проанализированы алгоритмы фильтрации и сферы их применения. Обоснована

целесообразность использования C# вместе с .NET для создания прототипа с использованием фреймворка Windows Communication Foundation.

Дальнейшая работа предполагает усовершенствование алгоритма и интеграцию в систему электронного образования, для предоставления рекомендаций студентам по выборочным курсам. Также, возможным продолжением работы является создание графического интерфейса пользователя (GUI).

---

### Благодарности

---

Работа опубликована при финансовой поддержке проекта **ITHEA XXI** Института информационных теорий и приложений FOI ITHEA Болгария [www.ithea.org](http://www.ithea.org) и Ассоциации создателей и пользователей интеллектуальных систем ADUIS Украина [www.aduis.com.ua](http://www.aduis.com.ua).

---

### Список литературы

---

- [Adomavicius,2005] G. Adomavicius, A. Tuzhilin . Toward the next generation of recommender systems: A survey of the state-of-the-art and possible extensions. In: IEEE Transactions of Knowledge and Data Engineering, 2005.
- [Bedil,2006] P. Bedil, H. Kaur. Trust based Personalized Recommender System, 2006.
- [Bennett, 2007] J. Bennett, S. Lanning. The Netflix Prize. In Proc. of KDD Cup Workshop at SIGKDD-07, 13th ACM Int. Conf. on Knowledge Discovery and Data Mining, 2007.
- [Fasli, 2007] M. Fasli. Agent Technology for E-Commerce. In: Recommender Systems. John Wiley & Sons Ltd, 2007.
- [Lin, 2007] H. Lin, Architectural Design of Multi-Agent Systems—Technologies and Techniques. Task Allocation in Case-Based Recommender Systems, 2007.
- [McCarey, 2006] F. McCarey, M. 'O Cinn'eide, N. Kushmerick. RASCAL: A Recommender Agent for Software Components in an Agile Environment, 2006.
- [Microsoft, 2007] Microsoft. Deploying an Internet Information Services-Hosted WCF Service, 2007
- [Montaner, 2003] M. Montaner. Collaborative Recommender Agents Based On Case-Based Reasoning and Trust, 2003.
- [Protogeros, 2007] N. Protogeros. Agent and Web Service Technologies in Virtual Enterprises, A Recommender Agent to Support Knowledge Sharing in Virtual Enterprises, 2008.
- [Uchyigit,2003] G. Uchyigit, K. Clark. A Multi-Agent Architecture for dynamic collaborative filtering, 2003.

---

### Информация об авторах

---



**Глибовец Николай Николаевич** – декан факультета информатики, заведующий кафедрой информатики Национального университета «Киево-Могилянская академия», доктор физико-математических наук, профессор; e-mail: [glib@ukma.kiev.ua](mailto:glib@ukma.kiev.ua)

Поле научных интересов: искусственный интеллект, системы дистанционного обучения



**Сидоренко Марина Олеговна** – аспирантка 3-го курса аспирантуры Киевского-Национального университета имени Тараса Шевченка, факультет кибернетики; e-mail: [tinuriel@gmail.com](mailto:tinuriel@gmail.com)

Поле научных интересов: байесовские сети, искусственный интеллект, рекомендационные системы

## АСПЕКТЫ НЕКЛАССИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ НОМИНАЦИИ И ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ В ФОРМАЛЬНЫХ ЯЗЫКАХ

Россада Татьяна

**Аннотация:** В сообщении рассматривается ряд аспектов именованя, которые не вкладываются в рамки классической теории имен Фреге-Рассела.

**Ключевые слова:** именоване, формальный язык, аспекты именованя.

**АСМ классификация ключевых слов:** I.6.4 Model Validation and Analysis; ; I.1.3 Computing Methodologies – Symbolic Algebraic Manipulation - Languages and Systems, H.3.1 Database management – information storage and retrieval; H.3.1 Database management – Content Analysis and Indexing

---

### Вступление

---

На данном этапе развития информационных технологий есть возможность распределять разработку программного обеспечения, следствием чего является стилистическая неоднородность результирующего кода, в основе которой, в частности, – отсутствие *единого стандарта именованя*: несмотря на четко определенные правила и грамматику программного инструментария, стандарты именованя до сих пор являются локальными (в пределах одной команды), неформальными (C-стиль, CamelStyle, Pascal-стиль, Венгерский стиль и т.д.), нечетко определенными, а в некоторых случаях даже несовместимыми в рамках одного проекта. В результате имеем ряд реально существующих на сегодняшний день проблем, требующих решения. Одна из них – риск возникновения *коллизии имен* в программных системах. Для подчеркивания важности исследования и решения этой проблемы вспомним пресловутый аппарат лучевой терапии Therac-25, неправильная работа которого привела к смерти минимум шести человек: одной из ошибок в программном обеспечении было использование одинакового имени переменных в разных фрагментах программы, введенных для совершенно разных задач.

На сегодняшний день проблема риска возникновения коллизии имен частично решается явным или неявным (если программный инструментарий не поддерживает такие возможности) введением пространства имен. Последнее, при правильном применении, действительно решает проблему коллизии, но в итоге получаем в основном запутанный громоздкий код, неприменимый к автодокументации, а в некоторых случаях даже невыполнимый (сложные операции запросов над группами пространства имен выполняются не оптимально или не выполняются вообще).

Еще одна проблема, которая является результатом отсутствия единого стандарта именованя в формальных языках – непригодный к совершенствованию код, которым его делают сложные, запутанные имена, понятные только их автору, довольно часто образованные транслитерацией по языку программиста ("nazvanie"), огромные по объему ("GetIndexOfBookWithCondition") или, наоборот, короткие и непонятные идентификаторы ("a", "abc", "ghti", ...) и т.д. Интересен тот факт, что сложные для понимания имена (например, f34\_7dde) существенно уменьшают вероятность возникновения коллизии, в отличие от понятных и четко определенных имен (например state, studentID), для которых вероятность того, что другой программист использует это имя в другой части программы для других задач, существенно возрастает. Собственно, понимая это, некоторые опытные программисты, чтобы избежать такие ситуации, используют весьма оригинальную методику: добавляют к имени переменной прозвище своего домашнего животного, или для каждого модуля используют разную «тему» имен: цветы, животные,

природа и т.д. [Селко, 2006]. Хотя это и позволяет снизить риск возникновения коллизии имен, но значительно ухудшает читаемость кода результирующей программной системы.

Введение единого стандарта именования в теории могло бы решить указанную проблему, но, как показывает практика, все попытки объединить существующие системы, правила, направления и т.д., приводят лишь к возникновению еще одной системы, правила, направления и т.д., обычно не хуже и не лучше предыдущих.

Стоит заметить, что проблема риска коллизии имен возникает уже на первых этапах перехода к языкам программирования высокого уровня: использование имен позволило программистам подавать команды на языке близком к человеческому (первые имена-команды представляли собой сокращение английских слов), но в то же время заставило неявно отказаться от *уникальности*, присущей только адресам. Неявно – потому что этот аспект именования в языках программирования и спецификаций не был закреплен формально со времен определения принципов именования Фреге-Рассела [Фреге, 2000], основанных на теории имен Аристотеля, но во время разработки программного обеспечения в рамках одной команды все же пытались его придерживаться. Оказалось, что при разработке программных систем командами разработчиков, не контактирующих между собой в процессе создания продукта по поводу именования тех или иных объектов, переменных, классов и т.д., контролировать выполнение принципа однозначности гораздо труднее или вовсе невозможно, учитывая тот факт, что использование одного имени для различных переменных не всегда отрицательно влияет на корректность работы программы (например, если это касается локальных переменных). В то же время, неформальные стандарты именования поддерживают идею уникальности имен в пределах одной модели, системы, базы данных.

Если обеспечить уникальность имен в пределах одной системы, имеем следующие преимущества:

- исключение возможности возникновения коллизии имен за счет представления на транслятор кода с уникальными именами;
- возможность введения таких аспектов номинации, присущих естественном языку более, чем формальному, как многозначность, синонимия, косвенное именование, др.;
- возможность использовать теоретические достижения школы программирования В.М. Глушкова, рассматривая множество имен как своеобразные адреса.

Цель работы – исследование и формализация нетрадиционных аспектов именования, таких как иерархичность имен, уникальность именования, его неоднозначность и синонимичность, свойства непрямого (косвенного) именования.

Работа имеет следующую структуру: в следующем разделе будет дано определение иерархических данных, которые являются основной моделью данных, построенных на основе отношения именования. Затем будут рассмотрены неклассические аспекты именования, в заключении будут сформулированы основные результаты.

---

### **Формальное представление иерархических данных**

---

Практика работы с традиционными моделями данных показывает, что строгая структуризация последних значительно ограничивает их выразительность. Более гибкими и выразительно способными, хотя и более сложными для обработки, являются слабоструктурированные (иерархические) данные [Cooper, 2001], [McHugh, 2012]: данные с нерегулярной и нечеткой структурой, которая может изменяться во время обработки. Такие данные обычно представляют в виде древовидной структуры, ветви которой обозначены именами, а листья – базовыми значениями (рис. 1), т.е. аналогично именованному (номинативному) данному [Nikitchenko, 1998]. Работа с такими данными усложнена отсутствием в них

строгой структуры, неоднозначности имен, синонимии и тому подобное. Это требует исследований таких данных и разработки эффективных алгоритмов работы с ними.

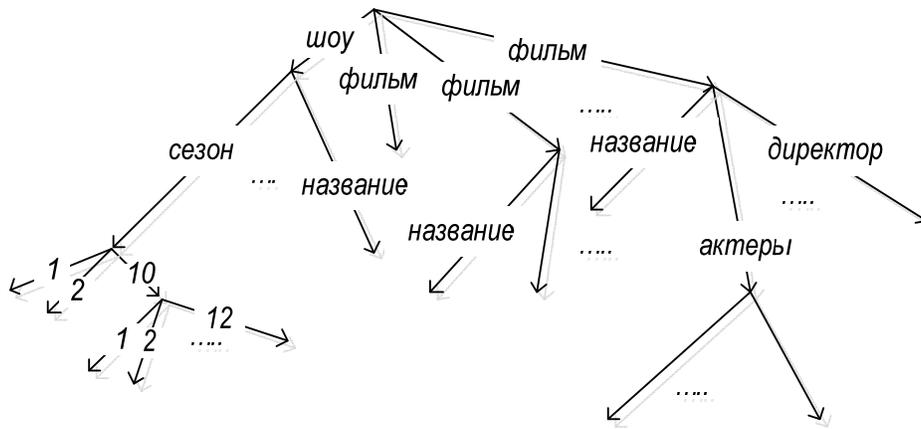


Рис. 1. Пример иерархического данного

Иерархические данные представляют собой множество пар *имя* → *значение*, где значение может быть как *простым* (определяется абстрактно, как некоторый элемент из множества возможных значений: число, строка, таблица, фильм, дата и т.д., или их идентификаторов: номерной знак автомобиля, идентификационный код человека и т.д.), так и *сложным* (другим иерархическим данным). Ранг иерархического данного определяет длину максимального пути от корня иерархии до листка. Иерархическое данное ранга 1 являет собой номинативное множество.

Сами данные можно подавать в текстовом (линейном) или в графическом виде. Возьмем, например, такую текстовую запись:  $d = [A \mapsto [B \mapsto [D \mapsto 1, C \mapsto [E \mapsto 2]], F \mapsto 3], B \mapsto 4]$ . Ей соответствует определенное ориентированное дерево, с дугами, размечены именами, и конечными вершинами (листьями), размеченными значениями. На рис.2 представлены различные его формы: а) традиционная и б) схемная.

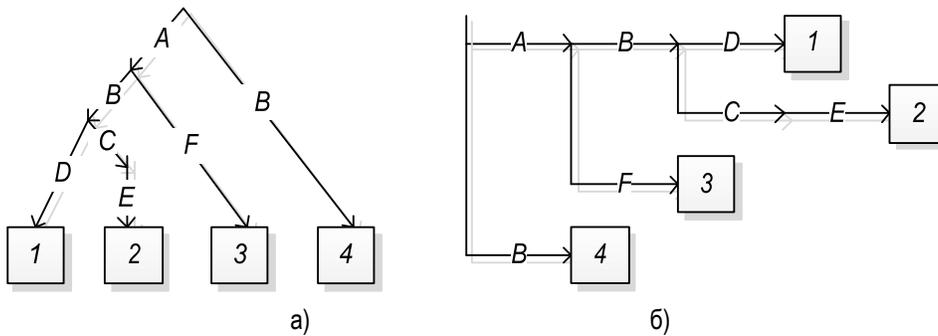


Рис. 2. Графические представления иерархического данного: а) традиционная форма; б) схемная форма.

### Аспекты неклассической теории номинации и их формализация

Любую систему данных можно представить в виде иерархического данного с уникальными именами из множества  $V$ . Доступ к таким данным можно ускорить с помощью индексации. Это было исследовано в работе [Россада, 2011], основным результатом которой является **теорема о стабильности программы при изменении структуры данных**: для любой программы  $Pr$  и для любого уникальноименного данного  $d$  выполняется следующее: если  $Pr_u(d) \downarrow = r$ , то  $Pr_i(ind(d)) \downarrow = r'$ , причем  $cnt(r') = r$ . Суть теоремы в следующем:

для любой интерпретации  $Pr_u$  семантического термина  $Pr$  в алгебре уникальноименных данных, его интерпретация  $Pr_i$  в алгебре строгоиндексированных данных (которая имеет лучшие характеристики доступа к компонентам данных) будет равнозначной  $Pr_u$ . Используя особенности такой системы, можно подавать расширенные структуры данных: с многозначным именем, косвенной адресацией, синонимией и т.д..

На номинативном множестве (иерархическом данном ранга 1) полисемия (многозначное именование) определяется тривиально (Рис. 3 а): одно имя может иметь несколько значений, эквивалентных в смысле определенного отношения, но не обязательно равных [Россада, 2012].

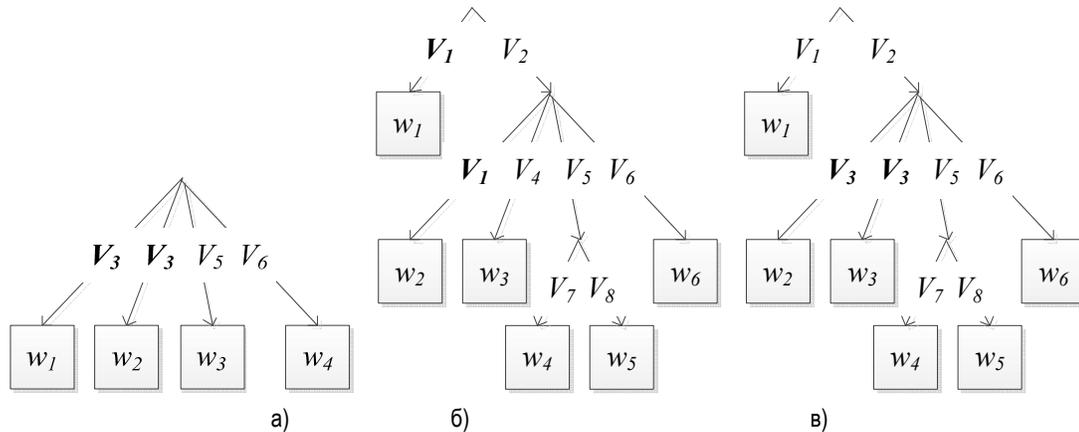


Рис. 3. Примеры номинативных данных с полисемией

а) номинативное множество с полисемией; б) иерархическое данное с одноранговой полисемией; в) иерархическое данное с разноранговой полисемией

Полисемию для иерархических данных можно определять как простую (одноранговую) и разноранговую. Простая (Рис. 3 б)) определяется по аналогии с полисемией определенной для номинативного множества. В случае разноранговой полисемии (Рис. 3 в)) данное изначально должно быть уникальноименным [Россада, 2011а]. Для простой полисемии на номинативном множестве верны следующие результаты.

**Теорема 1.** Программы языка SICON над номинативными множествами с полисемией мультимонотонны относительно отношения включения данных  $\subseteq$  [Россада, 2011].

**Теорема 2.** Для  $\forall d, d' \in RNS$  таких, что  $d \sim d'$  и для  $\forall f \in SF_R$  выполняется следующее: для  $\forall r, r' \in RNS$  таких, что  $f(d) = r$  и  $f(d') = r'$ , значения  $r$  и  $r'$  будут эквивалентными [Россада, 2012].

**Следствие из теоремы 2.** Для  $\forall d \in RNS$  такого, что  $d \sim d$  и для  $\forall f \in SF_R$  выполняется следующее: для  $\forall r, r' \in RNS$  таких, что  $f(d) = r$  и  $f(d) = r'$ , значения  $r$  и  $r'$  будут эквивалентными..

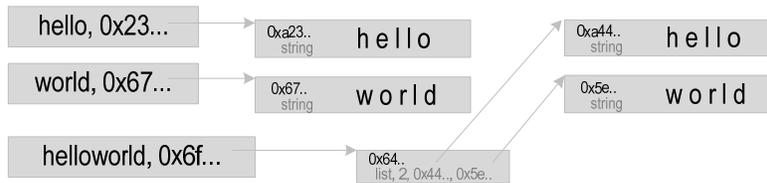
Эти же результаты действительны и для иерархических данных с одноранговой полисемией, которые строятся на основе номинативного множества с полисемией; они так же верны для иерархических данных с разноранговой полисемией, поскольку последние строятся на основе уникальноименных [Россада, 2011] данных, и потому, используя предыдущие наработки, их можно свести к номинативному множеству с полисемией, которое является частным случаем иерархических данных с одноранговой полисемией.

Синонимия является одним из фундаментальных понятий лингвистики (лексическая синонимия и синонимия языковых единиц), логики (бинарное отношение, в котором находятся любые два равнозначные, но не тождественные выражения), логической семантики и семиотики. В логике и логической семантике, зависимости от отношения к общему денотату или сигнификату, различают,

соответственно, экстенциональную (например, «5» и «2+3») и интенциональную (например, «5» и «отлично») синонимию.

В формальных языках возможно использование как интенциональной синонимии так и экстенциональной [Шрейдер, 1974], но для этого должно быть определено хотя бы одно нетривиальное отношение эквивалентности или равенства. Например, имена корреляций (псевдонимы, alias) в SQL представляют собой местоимения и играют ту же роль, что и местоимения в обычной речи: делают предложения более короткими и удобными для чтения [Селко, 2006]; Synonym (SQL) в Oracle используется для альтернативного именования объектов, что дает возможность по-разному интерпретировать одни и те же данные (аналог номинативных определение), или для упрощения записи длинных имен объектов баз данных, особенно полных имен, состоящие из четырех частей (например ServerName.DatabaseName.OwnerName.ObjectName); синонимы в результатах – функция в поиске Google которая выполняется в процессе обработки запроса путем ответа на вопрос «содержит страница синонимы слов запроса». Примером интенциональной синонимии в языках программирования является использование переменных, которые ссылаются на одну и ту же область памяти (например, в Fortran таким образом повторно используются участки памяти) [Себеста, 2001].

Рассмотрим на примере. Пусть имеем некоторое данное  $[hello \mapsto "hello", world \mapsto "world", helloworld \mapsto [0 \mapsto "hello", 1 \mapsto "world"]]$ :



На данном этапе имеем разные имена (*hello* и *helloworld.0*, *world* и *helloworld.1*), которые именуют одинаковые значения (то есть, интенциональные синонимы). Но это неявная синонимия: её невозможно использовать или учитывать при работе программы. Покажем это. Рассмотрим функции  $f_1$  и  $f_2$ , которые выводят на экран значения имен *hello* и *world*:

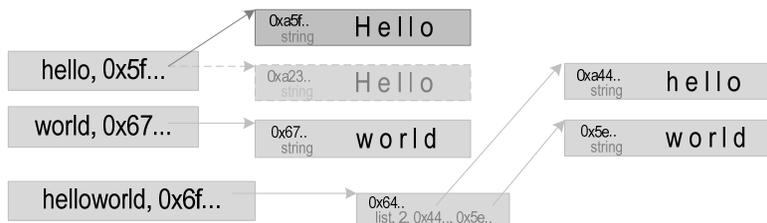
```
def f1():
    print hello
    print world

def f2():
    for i in range(len(helloworld))
        print helloworld[i]
```

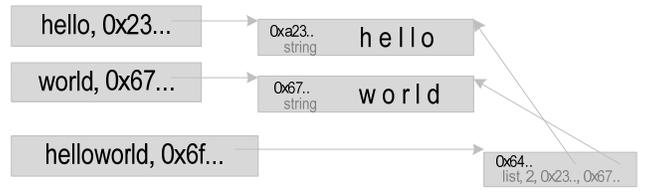
и функцию  $f$ , которая именуется значение аргумента *hello*:

```
def f():
    hello="Hello"
```

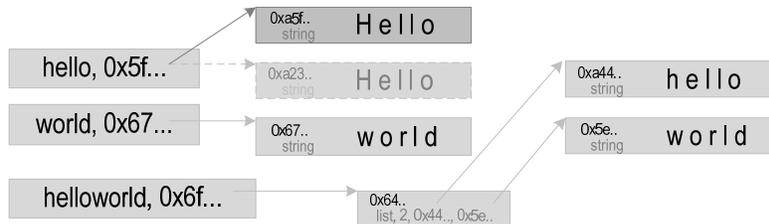
На заданном входном данном функции  $f_1$  и  $f_2$  возвращают одинаковые результаты, но при выполнении функций  $f \bullet f_1$  и  $f \bullet f_2$ , где  $f$  меняет значение одной из переменных, результаты будут отличаться:



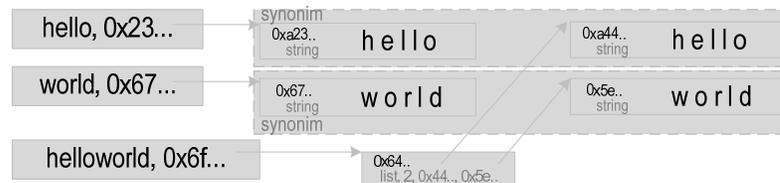
Другое дело, если указанные переменные ссылаются на одну и ту же самую область памяти. В этом случае для большинства языков программирования, которые разрешают создавать имена-синонимы в указанном смысле (например, с помощью указателей) значения функций  $f \bullet f_1$  и  $f \bullet f_2$  будут совпадать:



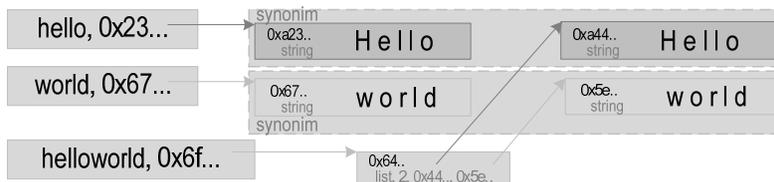
но в общем случае синонимия сохраняться не будет: например, одно из свойств языков программирования с динамической типизацией (например, python) – при изменении значения неизменяемого аргумента (числа, списки) создается новый объект, а не изменяется значение по старому адресу. А это означает, что результаты выполнения функций не будут совпадать:



Совсем другое дело, если синонимия используется явно, заданием соответствующего отношения на множестве имен переменных:



В таком случае результаты выполнения функций  $f \bullet f_1$  и  $f \bullet f_2$  будут совпадать:



Синонимия задается введением соответствующего отношения на множестве имен данного [Россада, 2011а]. Синонимия также может быть одноранговой (рис. 4 а), б)) и разноранговой (рис. 4 в)). Основным результатом исследования синонимии следующий:

**Теорема 3.** Для  $\forall s_R, s'_R \in NS$  таких, что  $s_R \sim_R s'_R$ , для некоторого отношения синонимичной эквивалентности  $R$  и для  $\forall f \in F$ :  $f(s_R) \downarrow \Leftrightarrow f(s'_R) \downarrow$  и  $f(s_R) \sim_R f(s'_R)$  [Россада, 2011а].

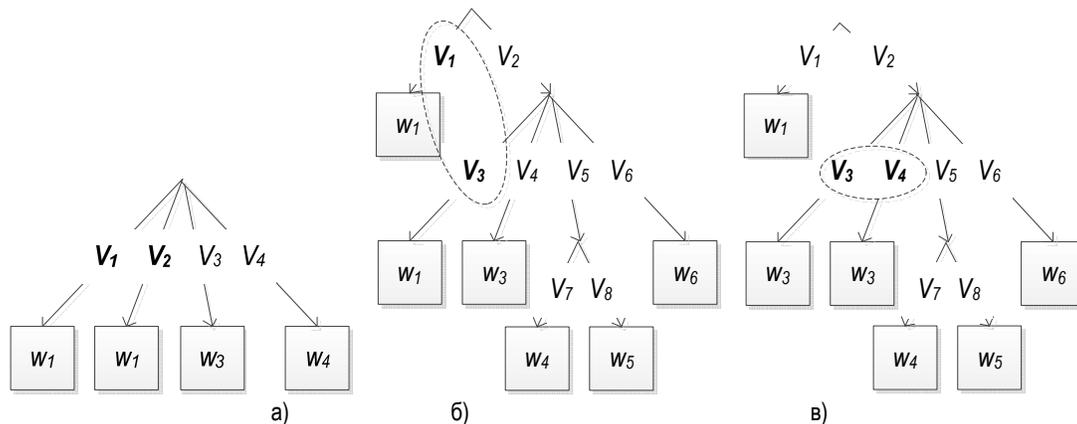


Рис. 4. Примеры номинативных данных с синонимией

а). Номинативное множество с синонимией; б) иерархическое данное с одноранговой синонимией; в) иерархическое данное с разноранговой синонимией

Результаты исследования показывают, что использование аспектов неклассической теории номинации в формальных языках целесообразно для повышения его выразительности при этом без корректности не нарушается.

## Заключение

В статье рассмотрены аспекты именования, которые не входят в рамки классической теории именования, более того: противоречат ей. Результаты исследований формальных представлений данных аспектов показывают, что их использование в формальных языках расширяет их выразительность, не нарушая при этом формальность и корректность. Таким образом, несмотря на внешнюю противоречивость основным принципам, предложенная расширенная теория дополняет строгую классическую, подобно тому, как теория комплексных чисел дополняет теорию натуральных и целых чисел.

## Благодарности

Автор высказывает благодарность за конструктивные замечания научному руководителю проф. Никитченко Н.С. Работа опубликована при финансовой поддержке проекта **ITHEA XXI** Института информационных теорий и приложений FOI ITHEA Болгария [www.ithea.org](http://www.ithea.org) и Ассоциации создателей и пользователей интеллектуальных систем ADUIS Украина [www.aduis.com.ua](http://www.aduis.com.ua).

## Литература

- [Cooper, 2001] Cooper B. A fast index for semistructured data / B. F. Cooper, N. Sample, J. F. Michael, G. R. Hjaltason, M. Shadmon // VLDB. – 2001. – P. 341-350.
- [McHugh, 2012] McHugh J. Indexing Semistructured Data [электронный ресурс] / J. McHugh, J. Widom, S. Abiteboul, Q. Luo, A. Rajaraman // Technical Report, January 1998. Режим доступа: <http://infolab.stanford.edu/lore/pubs/semiindexing98.pdf>. Дата звертання: 01.05.2012.
- [Nikitchenko, 1998] Nikitchenko N.S. A Composition Nominative Approach to Program Semantics // Technical Report IT-TR: 1998-020. – Technical University of Denmark. – 1998. – 103 p.
- [Бирюков, 2000] Бирюков Б.В. Готтлоб Фреге: современный взгляд / Б.В. Бирюков // Г. Фреге. Логика и логическая семантика. Сборник трудов – М., 2000. – С. 33.

- [Гнеденко, 1961] Гнеденко Б.В. Элементы программирования / Гнеденко Б.В., Королюк В.С., Ющенко Е.Л. – М.: Физматгиз, 1961. – 348 с.
- [Нікітченко, 2009] Нікітченко М.С., Іванов Є.В. Властивості композиційно-номінативних мов програм з асоціативним розіменуванням / М.С. Нікітченко, Є.В. Іванов // Матеріали XVI Всеукраїнської наукової конференції “Сучасні проблеми прикладної математики та інформатики” – Львів, 2009. – С. 157-158.
- [Селко, 2006] Джо Селко. Стиль програмування Джо Селко на SQL / Санкт Петербург : Русская редакция, 2006. - 196 с. - ISBN 5-469-01396-0.
- [Россада, 2011] Россада Т.В. Класи номінативних даних із швидким доступом до компонентів / Т.В. Россада // Тези конференції «Шевченківська весна». – Київ, 2011 – С. 49-52.
- [Россада, 2011а] Россада Т.В. Моделювання та дослідження синонімії у формальних мовах / Т.В. Россада // Тези конференції DSMSI – Київ 2011 – ст. 404.
- [Россада, 2012] Россада Т.В. Формалізація багатозначного іменування у мовах програм над номінативними даними / Т.В. Россада // Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Сер.: фізико-математичні науки. – 2011 – вип. 1. – С.217-222.
- [Россада, 2012а] Россада Т.В., Скляр А.В. Властивості слабкоструктурованих даних з багатозначним іменуванням та їх використання / Т.В. Россада, А.В. Скляр // Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Сер.: фізико-математичні науки. – 2012 – вип. 2.
- [Себеста, 2001] Себеста Р. Основные концепции языков программирования / Себеста Р. – М.: Вильямс, 2001. – 659 с.
- [Фреге, 2000] Фреге Г. О смысле и значении / Г. Фреге // Логика и логическая семантика: Сборник трудов. – М.: Аспект Пресс, 2000. – С. 230-247.
- [Шрейдер, 1974] Шрейдер Ю. А. Логика знаковых систем / Шрейдер Ю. А. – М.: Едиториал УРСС, 1974. – 64 с.

---

### Информация об авторе

---

**Россада Т.В.** – КНУ имени Тараса Шевченко, факультет кибернетики, аспирант; e-mail: [trossada@gmail.com](mailto:trossada@gmail.com)

Основные области научных исследований: теоретическое программирование, формальные языки, программные алгебры

---



---

## Decision Making

---



---

### МНОГОКРИТЕРИАЛЬНАЯ ОЦЕНКА АЛЬТЕРНАТИВ

**Альберт Воронин**

**Аннотация:** Показано, что при векторном подходе задача принятия решений посредством декомпозиции свойств альтернатив представляется иерархической системой критериев. На нижнем уровне иерархии осуществляется оценка альтернативы по отдельным свойствам при помощи вектора критериев, а на верхнем уровне посредством механизма композиции получается оценка альтернативы в целом. Задача решается методом вложенных скалярных сверток. Методология решения задачи основана на принципе дополтельности Н. Бора и теореме о неполноте К. Гёделя.

**Ключевые слова:** свойства альтернатив, декомпозиция и композиция свойств, иерархическая структура, вложенные скалярные свёртки, многокритериальность, принцип дополтельности Н. Бора, теорема о неполноте К. Гёделя.

**ACM Classification Keywords:** H.1 Models and Principles – H.1.1 – Systems and Information Theory; H.4.2 – Types of Systems.

---

#### Содержание проблемы

---

Задача принятия решений в общем виде [1] может быть представлена схемой

$$\{\{x\}, Y\} \rightarrow x^*,$$

где  $\{x\}$  – множество объектов (альтернатив);  $Y$  – функция выбора (правило, устанавливающее предпочтительность на множестве альтернатив);  $x^*$  – выбранные альтернативы (одна или более).

Множество  $\{x\}$  может быть дискретным (пример: несколько проектов самолета, из которых надо выбрать лучшие) или континуальным (диапазон положений регулятора настройки радиоприёмника, из которого выбирается настройка на нужный канал).

Функция  $Y$  определяется принципом выбора альтернатив. В теории принятия решений различают два подхода к оценке объектов (альтернатив), подлежащих выбору. Один из них – оценка объекта *в целом* и выбор альтернативы по непосредственному сравнению объектов как **гешталтов** (гештальт: целостный образ объекта без детализации свойств). Хрестоматийный пример – оценка игры актёра К. Станиславским: «Верю!». Понятно, что целостный подход является откровенно субъективным, основан на индивидуальных предпочтениях лица, принимающего решение (ЛПР) и совершенно не поддается формализации. Имеет место дихотомия при выборе альтернатив: «нравится» – «не нравится». Если же возникает вопрос – *почему* нравится (или не нравится), то следует воспользоваться вторым подходом к оценке альтернатив.

Второй подход – детализация и оценка тех или иных *векторов свойств* объектов и принятие решений по результатам сравнения этих свойств.

Если целостный подход предусматривает выбор  $x^*$  непосредственно по функции выбора  $Y$ , то механизм векторного подхода требует осуществить декомпозицию (разложение) функции  $Y$  на совокупность (вектор) из функций выбора  $u$ . Под *декомпозицией* функции выбора  $Y$  понимается ее эквивалентное представление с помощью определенной совокупности других функций выбора  $u$ , *композицией* которых является исходная функция выбора  $Y$ .

Современная тенденция в теории принятия решений состоит в использовании векторного подхода. Это объясняется его объективностью и всесторонностью, а также принципиальной возможностью применения формализованных методов. Учитывается также конкретность и четкость подхода, так как по узкому вопросу меньше расхождений во мнениях, легче собрать бесспорные факты.

Предполагается, что в отношении отдельного свойства существенно проще сказать, какая из альтернатив предпочтительней для ЛПР. Так, в задаче выбора наилучшего проекта самолета гораздо уверенней можно говорить о том, что проект А лучше проекта В *по свойству* комфортности, или надежности, или грузоподъемности, нежели о том, что проект А лучше проекта В *в целом*. Выделение свойств альтернатив является декомпозицией, приводящей к иерархической структуре свойств. Свойства первого иерархического уровня могут делиться на следующие наборы свойств и т.д. Глубина деления определяется стремлением дойти до тех свойств, которые удобно сравнивать друг с другом.

Действительно, в примере с самолетом судить о комфортности, конечно, легче, чем о самолете в целом, но такое качественное свойство для сравнения также не совсем удобно и требует дальнейшей декомпозиции для удобства и объективности сопоставления свойств. Поэтому свойство комфортности, в свою очередь, подвергается декомпозиции на: а) уровень шумности в салоне, б) уровень вибрации пола, в) расстояние между креслами и др. Эти характеристики выражаются в числах и объективны.

Свойства, для которых существуют объективные численные характеристики, принято называть критериями. Более строго: **критериями** называются количественные показатели свойств объекта, числовые значения которых являются мерой качества объекта оценки по отношению к данному свойству. Получение набора критериев – конечный итог иерархической декомпозиции. Количество уровней зависит от требуемой глубины декомпозиции. Сложность заключается в том, что для каждого из начальных свойств глубина декомпозиции может быть различной, а на каждом уровне иерархии необходимо нормировать разнородные множества критериев.

Подход сравнения по отдельным свойствам, при всей своей привлекательности, порождает серьезную проблему обратного перехода к требуемому сравнению альтернатив в целом. Эта проблема предполагает решение задачи *композиции* критериев по уровням иерархии, что достаточно непросто, особенно при значительной глубине декомпозиции свойств. В простейшем и наиболее распространенном случае (двухуровневая иерархия) задача композиции решается традиционным получением однократной скалярной свёртки критериев, численная величина которой является оценкой качества данного объекта (альтернативы) в целом. Но уже при наличии трехуровневой иерархии требуются другие подходы.

Изложенное дает основание утверждать, что *любая многокритериальная задача может быть представлена иерархической системой*, на нижнем уровне которой осуществляется оценка объекта по отдельным свойствам при помощи вектора критериев, а на верхнем уровне посредством механизма композиции получается оценка объекта в целом. Центральной здесь является проблема композиции критериев по уровням иерархии.

---

### Постановка задачи

---

Качество альтернативы определяется иерархической системой векторов

$$y^{(j-1)} = \{y_i^{(j-1)}\}_{i=1}^{n^{(j-1)}}, j \in [2, m],$$

где  $y^{(j-1)}$  – вектор критериев на  $(j-1)$ -м уровне иерархии, по компонентам которого оценивается качество свойств альтернативы на  $j$ -м уровне;  $m$  – количество уровней иерархии;  $n^{(j-1)}$  – количество оцениваемых свойств  $(j-1)$ -го уровня иерархии. Численные значения  $n$  критериев  $y^{(1)} = y$  первого уровня иерархии для данной альтернативы заданы. Ясно, что  $n^{(1)} = n$  и  $n^{(m)} = 1$ .

Один и тот же критерий  $(j-1)$ -го уровня может участвовать в оценке нескольких свойств  $j$ -го уровня, т.е. в иерархии возможны перекрестные связи. Структурная схема системы критериев качества альтернативы показана на Рис.1.

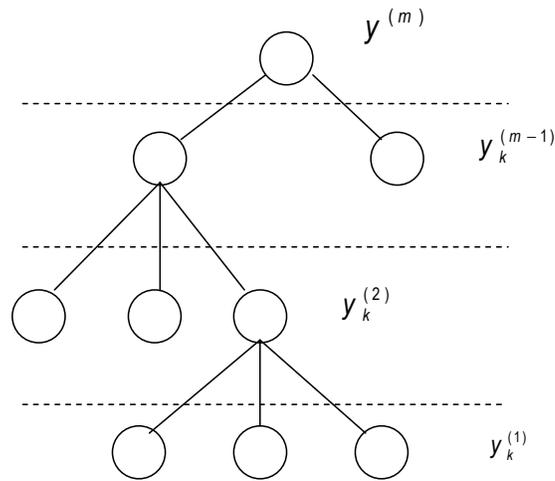


Рис.1

Важность (значимость) каждой из компонент критерия  $(j-1)$ -го уровня при оценке  $k$ -го свойства  $j$ -го уровня характеризуется коэффициентом приоритета, их совокупность составляет систему векторов приоритета

$$p_{ik}^{(j-1)} = \{p_{ik}^{(j-1)}\}_{k=1}^{n^{(j)}}, j \in [2, m].$$

Требуется найти аналитическую оценку  $y^*$  и качественную оценку эффективности данной альтернативы, а из имеющихся альтернатив выбрать лучшую.

### Метод решения

Для решения поставленной задачи используем системный подход, при котором каждая из альтернатив (объектов) рассматривается как совокупность элементов с различными (в том числе противоречивыми) свойствами, отличными от свойств всей системы в целом.

Сложные системы, находясь в разных условиях (ситуациях, режимах), обнаруживают различные системные свойства, в том числе и не совместимые ни с одной из остальных ситуаций по отдельности. При их изучении применяется подход, состоящий в создании и одновременном сосуществовании не одной, а множества теоретических моделей одного и того же явления, причем некоторые из них концептуально противоречат друг другу. Однако ни одной нельзя пренебречь, поскольку каждая характеризует какое-то свойство изучаемого явления и ни одна не может быть принята как единая, так как не выражает полного комплекса его свойств. Интересно сопоставить сказанное с **принципом дополнительности**, введенным в науку Нильсом Бором: "...Для воспроизведения целостности явления

следует применять взаимоисключающие "дополнительные" классы понятий, каждый из которых может быть использован в своих, особых условиях, но только взятые вместе, исчерпывают всю поддающуюся определению информацию". Для полного описания объекта они равно необходимы и поэтому не противоречат, а *дополняют* друг друга.

Множественные свойства сложной системы в той или иной ситуации ее функционирования количественно оцениваются соответствующими частными критериями. В разных ситуациях ранг "наиболее важного" приобретают разные свойства и, соответственно, разные частные критерии. Таким образом, взаимоисключающие "дополнительные" классы понятий, в роли которых выступают отдельные теоретические модели, характеризуются противоречивыми частными критериями, каждый из которых наиболее применим в своих, особых условиях. Именно принцип дополнительности связывает эти критерии при многокритериальной оценке. И только полная совокупность частных критериев (векторный критерий) дает возможность адекватной оценки функционирования сложной системы как проявления противоречивого единства всех ее свойств.

Однако эта возможность представляет собой только необходимое, но не достаточное условие векторной оценки всей альтернативы в целом. Действительно, пусть на нижнем уровне иерархии критериев определены численные значения таких частных критериев свойства комфортности самолета, как расстояние между креслами, уровень шума в салоне, амплитуда вибрации пола и пр. Значит ли это, что мы, зная эти величины, можем оценить свойство комфортности в целом? Нет, не можем.

Здесь уместно вспомнить старую индийскую притчу о слепых, которые знакомились со слоном. Один прикоснулся к хоботу и решил, что слон похож на змею. Второй взял в руки ухо и сказал, что слон напоминает ему простыню. Третий ощущал ногу и заявил, что слон – это столб.

Для целостной оценки необходимо выйти из нижнего уровня иерархии и подняться на следующий ярус, т.е. осуществить акт композиции критериев. Сопоставим это с теоремой о неполноте Курта Гёделя «...В любой достаточно сложной непротиворечивой теории первого порядка существует утверждение, которое средствами самой теории невозможно ни доказать, ни опровергнуть. Но непротиворечивость одной конкретной теории может быть установлена средствами другой, более мощной формальной теории второго порядка. Однако тогда встает вопрос о непротиворечивости этой второй теории, и т. д.».

Применительно к нашей задаче это значит, что для адекватной оценки альтернативы в целом мы должны решить задачу композиции критериев по уровням иерархии, последовательно переходя от нижнего уровня до верхнего.

---

### Скалярные свертки критериев

---

Инструментом акта композиции может служить скалярная свёртка критериев. Скалярная свёртка – это математический приём сжатия информации и количественной оценки её интегральных свойств одним числом.

Чаще всего применяется **аддитивная** (линейная) скалярная свертка

$$Y[y(x)] = \sum_{k=1}^s a_k y_k(x),$$

где  $a_k$  – весовые коэффициенты;  $s$  – количество частных критериев. Принцип Лапласа в теории принятия решений состоит в экстремизации линейной скалярной свертки. Недостаток (специфика) применения линейной скалярной свертки – это возможность «компенсации» одного критерия за счет других.

**Мультипликативная свертка**

$$Y[y(x)] = \prod_{k=1}^s y_k(x)$$

свободна от этого недостатка. Принцип Паскаля – экстремизация мультипликативной скалярной свертки.

Исторически принцип Блеза Паскаля изложен первым в работе "Pensees", изданной в 1670 г. Считается, что эта работа положила начало всей теории принятия решений. Здесь введены два ключевых понятия теории: 1) частных критериев, каждый из которых оценивает какую-либо одну сторону эффективности решения и 2) принципа оптимальности, т.е. правила, позволяющего по значениям критериев вычислить некоторую единую числовую меру эффективности решения.

Недостаток применения мультипликативной скалярной свертки: очень дорогая и очень эффективная система может иметь такую же оценку, как и дешевая и низко эффективная. Сравним такие «системы вооружения», как атомная бомба и рогатка, которая при низкой стоимости обладает некоторым поражающим фактором. Руководствуясь мультипликативной сверткой, можно для вооружения армии выбрать рогатку.

Принцип гарантированного результата приводит к **чебышевской** скалярной свёртке

$$Y[y_0(x)] = \max_{k \in [1, s]} y_{0k}(x),$$

где  $y_{0k}(x)$  – нормированные (приведенные к единице) частные критерии. Эта свёртка применяется в условиях неопределённости и в тех случаях, когда минимизируемые частные критерии опасно приближаются к своим предельным значениям (ограничениям).

Свёртка по концепции **Чарнза-Купера**. Концепция Чарнза-Купера основана на принципе "поближе к идеальной (утопической) точке". В пространстве критериев при заданных условиях и ограничениях определяется априори неизвестный идеальный вектор  $y^{id}(x)$ , для чего задача оптимизации решается  $s$  раз (по количеству частных критериев), причем каждый раз с одним (очередным) критерием, как если бы остальных не было вовсе. Последовательность "однокритериальных" решений исходной многокритериальной задачи дает координаты недостижимого идеального вектора  $y^{id}(x) = \{y_k^{id}(x)\}_{k=1}^s$ .

После этого скалярная свёртка  $Y[y(x)]$  вводится как мера приближения к идеальному вектору в пространстве критериев в виде некоторой неотрицательной функции вектора  $y^{id}(x)-y(x)$ , например, в виде квадрата евклидовой нормы этого вектора

$$Y[y(x)] = \left\| \frac{y^{id} - y(x)}{y^{id}} \right\| = \sum_{k=1}^s \left[ \frac{y_k^{id} - y_k(x)}{y_k^{id}} \right]^2.$$

Недостаток этого способа состоит в громоздкости процедуры определения координат идеального вектора.

В работе [2] предложена скалярная свёртка по **нелинейной схеме компромиссов** для минимизируемых критериев

$$Y[y(x)] = \sum_{k=1}^s \alpha_k A_k [A_k - y_k(x)]^{-1},$$

применяемая в тех случаях, когда ЛПР рассматривает как предпочтительные те решения, при которых значения частных критериев  $y_k(x)$  наиболее удалены от своих предельно допустимых значений  $A_k$ . Эта свёртка обладает рядом существенных преимуществ, к числу которых относятся универсальность и

аналитичность. Выбор схемы компромиссов осуществляется лицом, принимающим решение, и носит концептуальный характер.

В задаче выбора решений количество вариантов (альтернатив) составляет  $n_a \geq 1$ . Каждый вариант характеризуется своей иерархической структурой. При  $n_a = 1$  поставленная задача трансформируется в задачу оценки данной иерархической структуры. Если  $n_a > 1$ , то каждая структура оценивается как данная и выбирается тот вариант, иерархическая структура которого получила наилучшую оценку. Поэтому при дискретной многокритериальной оптимизации в качестве базовой здесь рассматривается задача оценки *данной* иерархической структуры. Однако так поступать можно только в случае относительно небольшого числа альтернатив  $n_a$ , когда метод простого перебора не вызывает значительных вычислительных трудностей. При больших объемах множеств альтернатив следует применять другие методы оптимизации, например изложенные в [2].

Оценка данной альтернативы есть не что иное, как решение задачи *анализа* качества альтернативы при *заданном аргументе*  $x^{(0)}$  из множества  $\{X\}$ . Это позволяет нам в дальнейшем не включать в выражения для критериев значение аргумента  $x$ .

---

### Вложенные скалярные свертки

---

Для аналитической оценки эффективности иерархических структур предлагается применить метод вложенных скалярных сверток [2]. Композиция осуществляется по «принципу матрешки»: *скалярные свертки взвешенных компонент векторных критериев низшего уровня служат компонентами векторных критериев высшего уровня*. Скалярная свертка критериев, полученная на самом верхнем уровне, автоматически становится выражением для оценки эффективности всей иерархической системы в целом.

Алгоритм решения задачи методом вложенных скалярных сверток представляется итерационной последовательностью операций взвешенной скалярной свертки векторных критериев каждого уровня иерархии снизу доверху с учетом векторов приоритета на основе выбранной схемы компромиссов

$$\{(y^{(j-1)}, p^{(j-1)}) \rightarrow y^{(j)}\}_{j \in [2, m]}, \quad (1)$$

а поиск оценки эффективности всей иерархической системы (альтернативы) в целом выражается задачей определения скалярной свертки критериев на верхнем уровне иерархии:

$$y^* = y^{(m)}.$$

При использовании рекуррентной формулы (1) важным представляется рациональный выбор схемы компромиссов. Для метода вложенных скалярных сверток адекватной является *нелинейная схема компромиссов*, описанная в [2]. Установлено, что без потери общности предпосылкой для ее применения является то, что все частные критерии неотрицательны, подлежат минимизации и являются ограниченными:

$$0 \leq y_i \leq A_i, A = \{A_i\}_{i=1}^n,$$

где  $A$  – вектор ограничений критериев на текущем уровне иерархии;  $n$  – их количество.

Исходя из (1), выражение для оценки  $k$ -го свойства альтернативы на  $j$ -м уровне иерархии с применением нелинейной схемы компромиссов имеет вид

$$y_k^{(j)} = \sum_{i=1}^{n_k^{(j-1)}} p_{ik}^{(j-1)} [1 - y_{0ik}^{(j-1)}]^{-1}, k \in [1, n^{(j)}], \quad (2)$$

где критерии  $(j-1)$ -го уровня нормированы (приведены к единице). Таким образом,  $y_{0ik}^{(j-1)}$  – компоненты нормированного вектора  $y_0^{(j-1)}$ , участвующие в оценке  $k$ -го свойства альтернативы на  $j$ -м уровне иерархии;  $n_k^{(j-1)}$  – их количество;  $n^{(j)}$  – число оцениваемых свойств на  $j$ -м уровне.

Коэффициенты приоритета  $p$  – это формальные параметры, имеющие двоякий физический смысл. С одной стороны, это коэффициенты приоритета, выражающие предпочтения ЛПР по отдельным критериям. С другой – это коэффициенты содержательной регрессионной модели, построенной на основе концепции нелинейной схемы компромиссов. Определение коэффициентов  $p$  на каждом уровне иерархии может быть выполнено путем оптимизации на симплексе с использованием дуального подхода, описанного в [2], или методом экспертных оценок по шкале баллов.

В последнем случае ЛПР или эксперт должен оценить относительное влияние каждого частного критерия низшего уровня иерархии на общую оценку  $k$ -го свойства альтернативы на следующем уровне в заданных условиях и соотнести свою оценку с соответствующей точкой на шкале, характеризуемой числом  $f$ . Допускается выбирать точки между числами или приписывать несколько критериев одной точке на шкале.

Областью определения коэффициентов приоритета  $p \in \Gamma_p$  является симплекс

$$\Gamma_p = \{p \mid p_i \geq 0, \sum_{i=1}^n p_i = 1\}. \quad (3)$$

Такая нормировка выполняется, если коэффициенты приоритета определить по формуле

$$p_{ik}^{(j-1)} = f_{ik} / \sum_{i=1}^{n_k^{(j-1)}} f_{ik}, k \in [1, n^{(j)}], j \in [2, m],$$

где  $p_{ik}^{(j-1)}$  –  $i$ -я компонента вектора приоритета критерия на  $(j-1)$ -м уровне иерархии при расчете оценки эффективности  $k$ -го свойства  $j$ -го уровня;  $f_{ik}$  – оценка значимости  $i$ -го свойства  $(j-1)$ -го уровня для  $k$ -го свойства  $j$ -го уровня (определяется экспертами или ЛПР по шкале баллов).

В наиболее простом и достаточно распространенном случае формулируется и решается многокритериальная задача без приоритетов, когда ЛПР полагает, что все параметры значимости для всех свойств альтернативы *одинаковы*. В этом случае используется простейшая скалярная свертка по нелинейной схеме компромиссов в унифицированной форме [2].

Для того, чтобы формула (2) отражала идею метода вложенных скалярных свертки в соответствии с рекуррентной формулой (1), необходимо полученное выражение *нормировать*, т.е. получить относительный критерий  $y_{0ik}^{(j)} \in [0; 1]$  такой, чтобы он был минимизируемым, а его предельная величина была единицей.

Конструкция нелинейной схемы компромиссов дает возможность нормировать свертку (2) не к максимальному (что в данном случае затруднительно), а к *минимальному* значению свертки критериев. Действительно, идеальными для минимизируемых критериев являются их нулевые значения. Положив в формуле (2)

$$y_{0ik}^{(j-1)} = 0, \forall i \in [1, n_k^{(j-1)}]$$

и учитывая нормировку (3), получим  $y_{k\min}^{(j)} = 1$ . После выкладок [4], окончательное выражение для рекуррентной формулы расчета аналитических оценок свойств альтернатив на всех уровнях иерархии приобретает вид

$$y_{0k}^{(j)} = 1 - \left\{ \sum_{i=1}^{n_k^{(j-1)}} p_{ik}^{(j-1)} [1 - y_{0ik}^{(j-1)}]^{-1} \right\}^{-1}, k \in [1, n^{(j)}], j \in [2, m]. \quad (4)$$

### Качественная оценка альтернатив

Качественная (лингвистическая) оценка альтернативы получается сопоставлением аналитической оценки с обращенной нормированной фундаментальной шкалой. Общее понятие о порядковой фундаментальной шкале описано в [3]. Интервальная нормированная обращенная шкала представлена Таблицей 1. Здесь показана связь между качественными градациями свойств объектов и соответствующими нормированными количественными оценками  $y_0$ . Можно сказать, что в терминах теории нечетких множеств [4] фундаментальная шкала выступает как универсальная функция принадлежности для перехода от числа к соответствующей качественной градации и обратно. Осуществляется переход от лингвистической переменной (удовлетворительное качество, высокое качество и пр.) к соответствующим количественным оценкам по шкале баллов, т.е. переход от нечетких качественных градаций к числам и обратно.

Таблица 1. Интервальная нормированная обращенная шкала.

Категория качества	Интервалы обращенной нормированной фундаментальной шкалы оценок $y_0$
Неприемлемое	1,0 – 0,7
Низкое	0,7 – 0,5
Удовлетворительное	0,5 – 0,4
Хорошее	0,4 – 0,2
Высокое	0,2 – 0,0

Оценка вариантов по единой нормированной фундаментальной шкале дает возможность решать многокритериальные задачи, кроме традиционных постановок, и в том случае, когда требуется выбрать альтернативу из множества неоднородных альтернатив, для которых нельзя сформулировать единое множество количественных критериев оценки, а также для оценки единственной (уникальной) альтернативы.

### Иллюстрационный пример

Пусть требуется найти количественную  $y_0^* = y_0^{(3)}$  и качественную оценки проекта самолета по двум основным свойствам: комфортность, характеризуемая неизвестной пока оценкой критерия  $y_{01}^{(2)}$  и надежность, которой сопоставляется неизвестная пока оценка критерия  $y_{02}^{(2)}$ . Свойство комфортности, в свою очередь, оценивается по трем критериям: расстояние между креслами в пассажирском салоне  $y_{01}$ , уровень шума в салоне  $y_{02}$  и уровень вибрации пола в салоне  $y_{03}$ . Надежность оценивается вероятностью отказов оборудования  $y_{04}$  и прочностью конструкции  $y_{05}$ . Кроме этих двух в оценке надежности принимает участие критерий уровня вибрации пола  $y_{03}$ , т.е. имеет место одна перекрестная связь. Все указанные критерии нормированы и приведены к одному способу экстремизации, а именно, все

они подлежат *минимизации*. Критерии низшего уровня принимают участие в оценке свойств высшего уровня с коэффициентами приоритета  $p_{jk}^{(j-1)}, j \in [2, m]$ . Структурная схема трехуровневой иерархии критериев для оцениваемого проекта представлена на Рис.2.

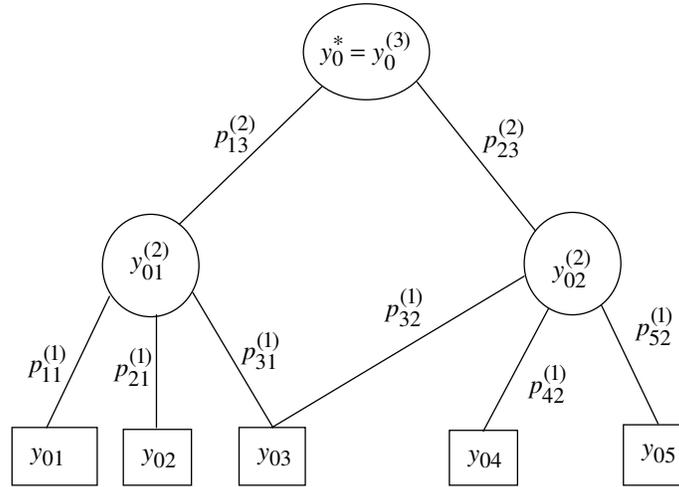


Рис.2. Структурная схема трехуровневой иерархии критериев

Заданы следующие числовые значения величин. Критерии нижнего (первого) уровня иерархии:  $y_{01}=0,3$ ;  $y_{02}=0,5$ ;  $y_{03}=0,7$ ;  $y_{04}=0,2$ ;  $y_{05}=0,1$ . Коэффициенты приоритета:  $p_{11}^{(1)}=0,7$ ;  $p_{21}^{(1)}=0,2$ ;  $p_{31}^{(1)}=0,1$ ;  $p_{32}^{(1)}=0,1$ ;  $p_{42}^{(1)}=0,45$ ;  $p_{52}^{(1)}=0,45$ ;  $p_{13}^{(2)}=0,5$ ;  $p_{23}^{(2)}=0,5$ .

На первом этапе композиции критериев, исходя из рекуррентной формулы (4), получим выражение для аналитической оценки свойства комфортабельности (второй уровень иерархии):

$$y_{01}^{(2)} = 1 - \frac{1}{\sum_{i=1}^{n_1^{(1)}} p_{i1}^{(1)} (1 - y_{0i1}^{(1)})^{-1}},$$

где  $n_1^{(1)}=3$  и  $y_{011}^{(1)} = y_{01}$ ;  $y_{021}^{(1)} = y_{02}$ ;  $y_{031}^{(1)} = y_{03}$ . Подставляя численные значения, получим

$$y_{01}^{(2)} = 1 - \frac{1}{0,7 \frac{1}{1-0,3} + 0,2 \frac{1}{1-0,5} + 0,1 \frac{1}{1-0,7}} = 0,42.$$

Сопоставляя эту аналитическую оценку с Табл.1, найдем, что свойство комфортабельности для данного проекта самолета качественно оценивается как *удовлетворительное*.

Выражение для аналитической оценки свойства надежности (тоже второй уровень иерархии) имеет вид

$$y_{02}^{(2)} = 1 - \frac{1}{\sum_{i=1}^{n_2^{(1)}} p_{i2}^{(1)} (1 - y_{0i2}^{(1)})^{-1}},$$

где с учетом перекрестной связи  $n_2^{(1)}=3$  и  $y_{012}^{(1)} = y_{03}$ ;  $y_{022}^{(1)} = y_{04}$ ;  $y_{032}^{(1)} = y_{05}$ . Коэффициенты приоритета  $p_{12}^{(1)} = p_{32}^{(1)}$ ;  $p_{22}^{(1)} = p_{42}^{(1)}$ ;  $p_{32}^{(1)} = p_{52}^{(1)}$ . Подставим численные значения и получим

$$y_{02}^{(2)} = 1 - \frac{1}{0,1 \frac{1}{1-0,7} + 0,45 \frac{1}{1-0,2} + 0,45 \frac{1}{1-0,1}} = 0,28.$$

В соответствии с Табл.1, качество свойства надежности для данного проекта оценивается как *высокое*. На заключительном (втором) этапе композиции критериев формула (4) приобретает вид

$$y_0^* = y_0^{(3)} = 1 - \frac{1}{\sum_{i=1}^{n_3^{(2)}} p_{i3}^{(2)} (1 - y_{0i3}^{(2)})^{-1}},$$

где  $n_3^{(2)}=2$  и  $y_{013}^{(2)} = y_{01}^{(2)}; y_{023}^{(2)} = y_{02}^{(2)}$ . Подставляя численные значения, получим

$$y_0^* = 1 - \frac{1}{0,5 \frac{1}{1-0,42} + 0,5 \frac{1}{1-0,28}} = 0,36.$$

Обратившись к Табл.1 видим, что по этой аналитической оценке, качество данного проекта самолета в целом оценивается как *хорошее*.

---

### Заключение

Изложенное позволяет сделать вывод, что любая задача векторной оценки альтернативы может быть представлена иерархической системой критериев, полученной в результате декомпозиции свойств альтернативы. На нижнем уровне иерархии осуществляется оценка объекта (альтернативы) по отдельным свойствам при помощи исходного вектора критериев, а на верхнем уровне посредством механизма композиции получается оценка объекта в целом. Центральной здесь является проблема композиции критериев по уровням иерархии, решаемая методом вложенных скалярных свёрток.

Методологической основой декомпозиции свойств альтернативы до получения исходного вектора критериев (многокритериальность) является принцип дополнительности Н. Бора. Это необходимое условие векторной оценки альтернативы.

Методология композиции критериев по уровням иерархии основана на теореме о неполноте К. Гёделя. Это достаточное условие векторной оценки альтернативы.

---

### Благодарности

Работа опубликована при финансовой поддержке проекта **ITHEA XXI** Института информационных теорий и приложений FOI ITHEA Болгария [www.ithea.org](http://www.ithea.org) и Ассоциации создателей и пользователей интеллектуальных систем ADUIS Украина [www.aduis.com.ua](http://www.aduis.com.ua).

---

### Библиография

1. Губанов В.А., Захаров В.В., Коваленко А.Н. Введение в системный анализ. – Л.: Изд-во ЛГУ, 1988. – 232 с.
2. Воронин А.Н., Зиятдинов Ю.К., Куклинский М.В. Многокритериальные решения: Модели и методы. – К.: НАУ, 2011. – 348 с.
3. Saaty T.L. Multicriteria Decision Making: The Analytical Hierarchy Process. – N.Y.: McGraw-Hill, 1990. – 380 p.
4. Воронин А.Н. Метод многокритериальной оценки и оптимизации иерархических систем // Кибернетика и системный анализ. – 2007. – № 3. – С. 84-92.

---

### Сведения об авторе



**Воронин Альберт Николаевич** – профессор, доктор технических наук, профессор кафедры компьютерных информационных технологий Национального авиационного университета, проспект Комарова, 1, Киев-58, 03058 Украина; e-mail: [alnv@voliacable.com](mailto:alnv@voliacable.com)

## EXPERT SYSTEM OF RATIONAL DECISION MAKING OF DISTRIBUTION OF ELECTRIC IN BRANCHED ELECTRICAL NETWORK

Kyzemin Oleksandr, Irina Gurina

**Abstract:** «Smart Grid» - is a large-scale direction in modern energy. This term is relatively recent: energy discontinues being just a facility of comfortable life; it becomes a facility of development of all directions of human activities. The significance of «Smart Grid» is to make generation; transmission and distribution of electrical energy «intelligent», to saturate electrical grids by modern facilities of diagnosis, by electronic control systems, by algorithms, by technical devices of short-circuit current limiters etc. The article offers the model of development of expert system based on the method of heuristics classification with the help of instrument called CLIPS, so it can become one of effective methods during solving the problem of consumption optimization in the system «Smart Grid».

**Keywords:** Smart Grid, expert system, CLIPS language, uncertainty, slots, sets of rules, decision-making, knowledge database, distribution of electricity, emergency situations, consumption, artificial intelligence.

**ACM Classification Keywords:** C.2.4 Distributed Systems, I.2 ARTIFICIAL INTELLIGENCE.

---

### Introduction

“Smart Grids”(intelligent grids) – are electrical grids, that satisfy the future demands of energy-efficient and economical functioning of energy system through the coordinated management and with the help of the modern bilateral communication between the elements of the electrical grids, electrical stations, accumulating devices and consumers. The development of the expert system model of the energy consumption can significantly improve the quality of the complicated system of the technical processes management; increase the quality of the problem solving and provide the economy of resources for account of effective distribution of the functions of the central control of local measurable and management subsystems. Such effect is achieved by openness of the system of knowledge representation about the object, adaptability of the system to the environment of functioning, and automatic correction of the management impacts during the parameters changes during the process of functioning.

CLIPS has been chosen as the instrumental tool for development of the expert system. The choice of CLIPS was made due to two reasons: first, this expert system developed by NASA, it has proved its efficiency and it is distributed freely over the Internet; secondly, the implementation of CLIPS in C + + allows transferring specific expert systems to various types of operating systems. It is also possible to work in real-time, when the response of the system must not exceed a few milliseconds.

---

### The essence of work

#### Goals and objectives of our work:

Since the problem of energy economy in the future will become even more acute, we need a system that will track the spending of electricity to distribute it effectively. Therefore, we were given the task to develop the model of such system that has a knowledge base capable to self-improvement. Creating of expert system controlling energy consumption can significantly speed up the development of complex management systems, improve the quality of the problem solving and give the saving of resources through the function of efficient distribution of

central management and local measuring and control subsystems. Rather, we only present the model of the expert system. This problem is very vast and deserves a serious future study.

**Sphere of application:**

1. Preventing the possible appearance of the emergency and crisis situations. The development of expert system allows taking into account the uncertainty of the system behavior and thus prevent the possible appearance of the emergency and crisis situations. In CLIPS language there is no direct way to consider uncertainty, but it's easy to include such tools in the program.

2. Performing the consideration of the system uncertainty by some combined or separately used methods.

3. Determination the priority of the rules significance. Different contradictions can appear during the management of the complicated system of the energy grid, to correct this, we can use "significance" (determining the priority of the rules) to execute the rules with the most authority first of all. Particular attention should be paid to the possibility of the optimization of management with the help of dividing expert knowledge from the management knowledge with the help of assigning different values to the rules of different phases.

4. Representation of combined reliability value. There is a possibility to put the information about the uncertainly directly to the facts and rules. It is done with the help of so called additional slots that represent the coefficient of reliability. For this purpose identical "threes" "object-attribute-value" are combined in one "three" that has combined value of reliability.

5. Minimizing the quantity of the used energy. If there is a multitude of generators producing energy and the multitude of devices consuming energy, then expert system can optimize it thus, to minimize the quantity of used generators and the amount of energy not consumed from every generator.

6. Termination of the work. It is possible to control the sensors data beyond the working and the allowable level and to determine all occurring with it trends. If the sensor readings are out of range, the appropriate device stops to work.

7. Analysis of the statistics. There is a statistic about the objects of the grid, about different parameters performance and grid security.

8. Structuring and editing of knowledge bases. The parts of the knowledge base are stored as the separate program modules and saved in different files to provide the convenience of structuring and editing knowledge bases of the large sizes.

**Scientific novelty:**

Our study demonstrates the implementation model of the expert system developed on Clips in the sphere of energy. We propose rational method of effective decision-making for suppliers and consumers of electricity in an extensive electric network, which differs from the existing methods by elements of self-learning executed by an expert system that reduces the cost of resources and time of decision-making.

The system has access to all existing data and knowledge bases, the system can learn, it can analyze the situations of uncertainty to make a conclusion (the fact) for itself, it can cultivate, accumulating experience. Then it makes decisions according to precedents using them as rules. So it is able to adapt to any environment.

**Practical value:**

The actuality of research is caused by the fact that the modern system of power moves to the new stage. The consumer becomes active. The consumer has the opportunity to generate energy and to participate in the power system in various ranges. Therefore, the development of intelligent grids is actual. The main areas of application of expert systems are management, interpretation, forecasting, planning, monitoring and training. Use of expert systems in the field of production and consumption of electric energy helps to avoid many mistakes during

decision making and thereby increase profits or save resources. In addition, the use of these systems in the planning activities of enterprises and predicting makes it possible to avoid unnecessary losses.

**Applied expert systems in the sphere of energy today:**

As a result of the analysis, we found that nowadays neural networks, algorithms of the focused sorting, genetic algorithms, statistical methods, fuzzy logic, methods of support vectors, the methods of the end user, the methods of the same day, optimization methods, systems of the situation management etc. are used in the field of energy. The expert system based on production rules can be one of the analytical methods. CLIPS has been chosen as an effective tool for developing of such expert system, since it can deal with a crisp, fuzzy (or imprecise), and combined reasoning. It allows mixing freely fuzzy and normal conditions in the rules and facts of expert system.

**The proposed method of analyses:**

The following model of electric grid system (presented on the fig. 1 below) is proposed. It describes the process of interaction of developed expert system with other blocks of the "Smart Grid". These blocks, unioned in one platform, allow a new approach to the construction of electrical grids, conversing from the strict structure "generation-grids-consumer" to more flexible system, where every unit of the grid can be an active element. At the same time intelligent grid in automatic mode executes reconfiguration, if the conditions change.

To automate the process of decision-making with the help of an expert system we should programmatically implement the domain model. For this purpose, frame-based structure and generating rules are very usable. The developed system is an expert system of production type and consists of the user interface, working memory, knowledge base and inference machine. Ontology optimization of electrical networks is used for knowledge representation in the system, it contains concepts (terms) and relationships, which contain the expert knowledge about the object field. Working memory stores the associated relationship instances of the ontology describing the qualitative and mathematical models. The knowledge database contains the operational knowledge of the subject area, expressed in terms of ontology and organized in the form of production rules.

Language CLIPS is based on rules and allows to present knowledge in the form of sentences like "if (condition), then (action)". By "condition" is meant some sample sentence, according to which the search in the knowledge base will be done, and by "action" is meant action that is performed in case of the successful result of the search.

CLIPS uses the productive model of knowledge representation and therefore contains three main elements: a list of facts; base rules; output block.

The base of facts and rules have the following functions: database of facts represents the initial state of the problem, the rules base contains operators that transform the state of the problem, leading to its decision.

In systems based on the knowledge, the part of the program (the knowledge base), that contains a representation of knowledge concerning a particular subjects, is usually separated from the program part that deals with the formulation of reasons (the logical machine).

This separation allows to make changes (of course within reason) in one part of the program without changing the other. In particular, we can add new information to the knowledge base, expand the available knowledge in the system, or adjust logical mechanism, increasing its efficiency, not modifying system code, and that is a significant advantage.

So it is much easier to use CLIPS, than traditional programming languages, because CLIPS has the logical machine that matches the facts and certain rules and finds what rules can be activated.

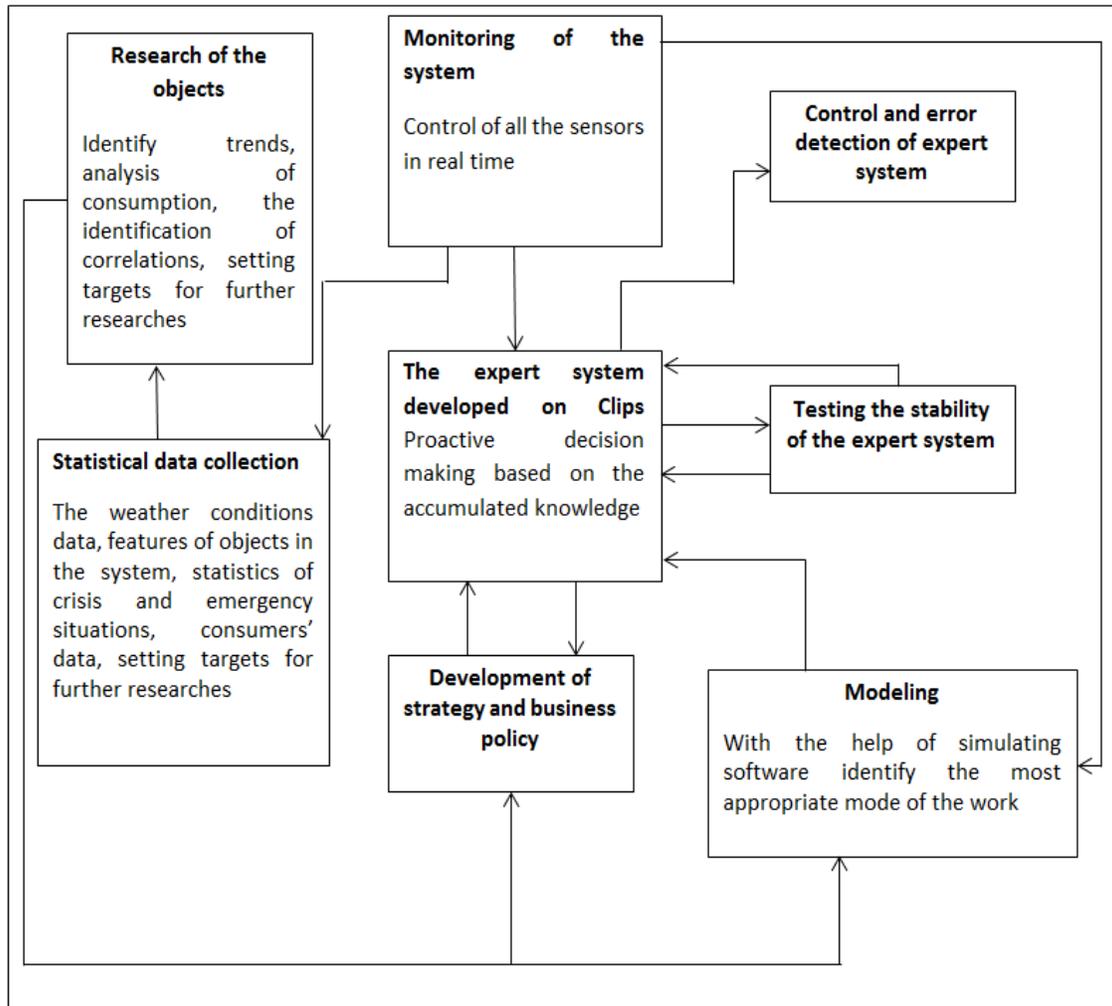


Figure 1. Model of electric grid system.

The fragment of the program prototype, that displays the relevant ideas, was implemented. It determines the optimal state of the network (grid state), a software prototype is aligned to achieve a certain goal (we can see it on the following figure Fig. 2).

This fragment of code defines a state in which a particular device should work. Logical inference of the grid status is executed with the help of search of attribute "goal".

```

(defrule propagate-goal "" // template of the rule that retrieves the goal value
  (goal is ?goal)
  (rule (if ?variable $?) // if the variable fulfills the conditions
  then ?goal ? ?value))
=> (assert (goal is ?variable))) // assert variable as goal
(defrule goal-satisfied "" // template of the rule if the goal achieved
  (declare (salience 30)) // identifiatie the importance of the of rule
  ?f <- (goal is ?goal) // designate the variable f goal value
  (variable ?goal ?value) // designate the goal variable value

```

```
(answer ? ?text ?goal) => (retract ?f) // interacting with the decision making person
```

The knowledge base in this example is a collection of facts which represent backward chaining rules. It takes into account the optimum voltage at which the device can be operated, readiness of the device, the price of the real-time and other factors.

```
(deffacts knowledge-base
(goal is grid.state) //declare grid.state as the curent goal
(rule (if device.1 is yes and price is "less than 100") // if device1 is ready and real-time price is suitable
(then grid.state is "switch_on_the_device_1")) // then switch on device1
```

Bellow we can see the the fragment of dialog of the expert system with the decision making person. But in implemented expert system model, automatic reading of sensor data is proposed.

```
(question price is "What is the price?" // interaction with the decision-making person
ANSWERS "1.less than 100" "2.more than 100" LEGALS 1 2) //legal values of the answers
(question voltage is "What is the voltage?"
ANSWERS "1.between 160 W and 240 W" "2.less than 160 W" "3.more than 240 W" LEGALS 1 2 3)
(answer is "You should probably use " " grid.state)) // goal is achieved
```

Let's learn more detail the fragments of the expert system prototype. There is a database derived from the sensors. This data is normed.

The rules are executed on the basis of database of precedents. After the current case is handled by an expert, it is entered into the precedent database, together with its decision for possible future use.

The filling of the precedent database can be executed either before the beginning of management process on the base of prior information, with the help of real or modeled precedents, or during the process of management, after the resulting output of management impact.

Sensor data, that controls the operations of certain devices, is received at the entrance of the expert system. The expert system converts this data into the facts. Then the conflict resolution mechanism, defining the importance of the rule, is used for the rules.

Also, for the execution of rules in the correct order, an approach of the work of an expert system in different modules is proposed, to divide the management knowledge from the knowledge in the subject field. For this purpose, the template, showing the mode where this rule is generally applicable, is used.

After that management rules, transmitting control between the various modules, are formed. Bellow we can see the example of the rule switching between the normal work of the grid to the mode of the emergency.

```
(defrule normal_mode-to-emergency_mode // switch to the phase of an emergency
(declare (salience-10)) // declare the salience
?phase<-(normal_mode) // extract the current phase of work
=>
retract(phase) // retract the current phase
assert phase (emergency_mode) // assert the phase of the emergency
```

In order to identify trends that could lead to emergency situations in the grid we use the command called Matches that determines the number of partial activations of the rules.

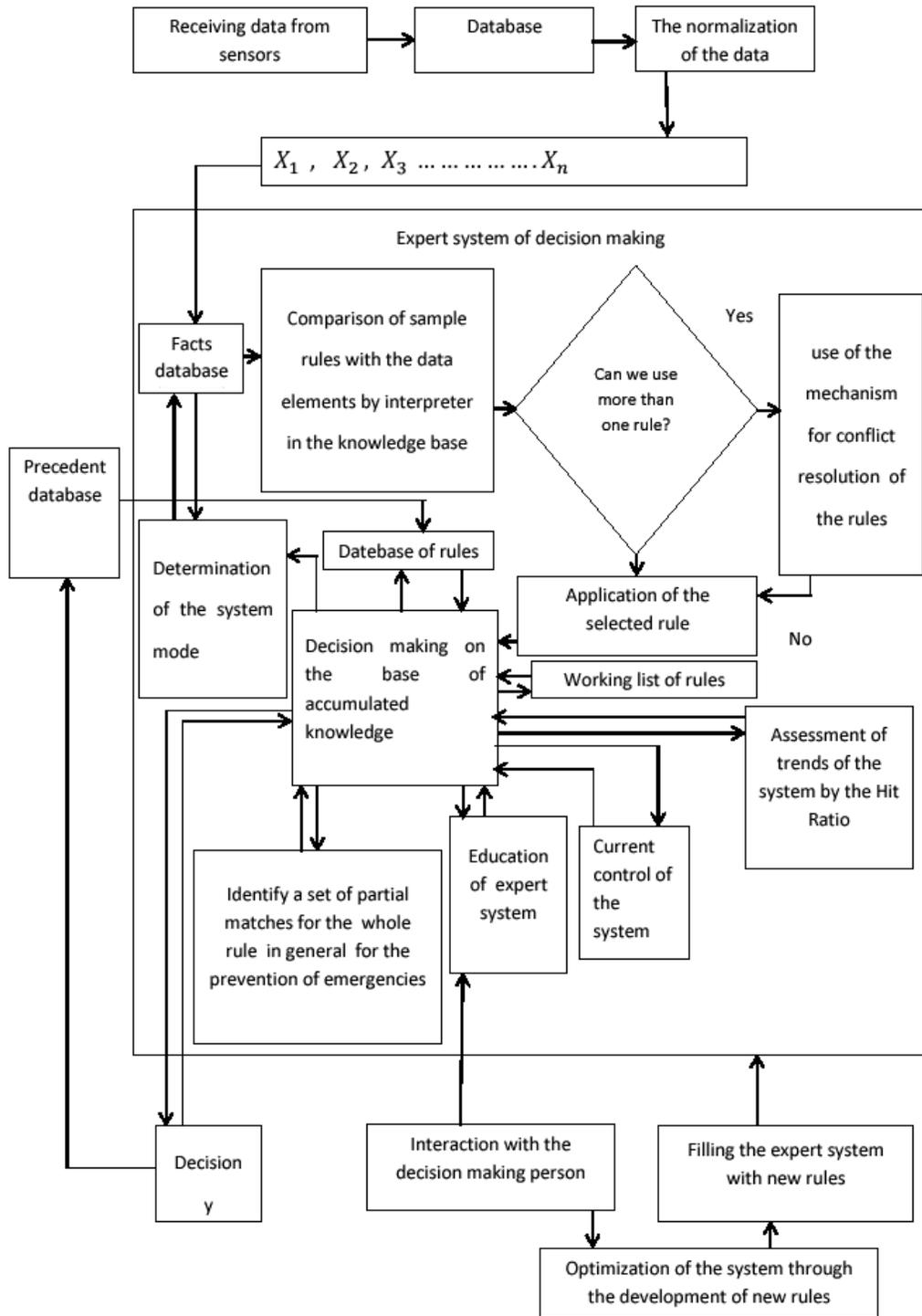


Figure 2. The fragment of the program prototype

Evaluation of trends of the network can also be accomplished with the use of parameter HitRatio, which can be described as follows. Let  $\{x^1, x^2, \dots, x^n\} \in X$  be the set of incoming facts and  $\{y^1, y^2, \dots, y^n\} \in Y$  are defining symptoms of emergencies.

$$\text{Compute} - \text{Hit Ratio}(X, Y)$$

$$\begin{aligned}
 & \text{for } i \leftarrow 1 \text{ to } \text{length}[X] \\
 & \quad \text{if } X^i \in Y \\
 & \quad \quad \text{hits} \leftarrow \text{hits} + 1 \\
 & \text{hitratio} \leftarrow \left( \frac{\text{hits}}{\text{length}[Y]} \right) \cdot 100
 \end{aligned}$$

Thus, we can determine the percentage amount of danger symptoms.

For better display of the real grid state the rules with several templates are used, that allows to execute classification and systematization of the observable facts.

```

(deftemplate grid-system // create a template fact called grid-system
(slot type) // create a template slot of grid-system
(slot status) // create a template slot t of grid-system
(defrule class-A-flood) // if the grid state is on
(grid-system (type) // if the grid state is on
(status on)) // check the current status
=>
(print out t "Shut down electrical equipment" crlf) // Shut down electrical equipment

```

The algorithm "Solve\_Tree\_and\_Learn" is used for learning of the expert system, where every unit of the decision making tree is represented in the view of facts. During the sweep through the rules of "replace-answer-node" the question of how to identify this situation is formed. Old unit for this node is replaced by the decision-making unit and by two new question nodes, to answer once again the question mastered as a result of training.

Functioning of some devices in the grid depends on the normal work of other devices. Each device has a sensor that displays the status of the device. Each cycle of the current control consists of three phases. During the first phase the values of sensors are read, at the second phase sensor values are analyzed, and at the third phase all required actions are executed (issuing of warning messages, stops of the devices work are determined by the output of sensors from the limit of permissible states etc.)

As a result, the expert system generates a solution, and the output document with all features about the done decision is formed for the decision making person.

---

## Conclusion

Energy consumption certainly depends not only on the work of power station, but also on the correct architecture, management of memory and of peripheral devices. The idea of implementation of the expert system of the Clips type can bring new results in the field of cost-saving energy consumption and energy distribution in the Smart Grid.

---

## Acknowledgements

The paper is published with financial support by the project ITHEA XXI of the Institute of Information Theories and Applications FOI ITHEA Bulgaria [www.ithea.org](http://www.ithea.org), and the Association of Developers and Users of Intelligent Systems ADUIS Ukraine [www.aduis.com.ua](http://www.aduis.com.ua).

---

**Bibliography**

---

- [Частиков, Гаврилова, Белов, 2003] Частиков, А. П. Гаврилова Т.А., Белов Д.Л. Разработка экспертных систем. Среда CLIPS. Санкт-Петербург, 2003. – 503 с.
- [Джарратано, Райли, 2007] Джарратано Дж., Райли Г. Экспертные системы: принципы разработки и программирование. М.: Издат. дом «Вильямс», 2007. – 314 с.
- [Трофимов, Пилипчук, 2003] Трофимов В., Пилипчук, Н. И. База знаний Компьютеры+программы. – 2003. – №10. – С. 56-61.
- [Гаскаров, 2003] Гаскаров, Д.В. Интеллектуальные информационные системы М. : Высшая школа, 2003. – 431 с.
- [Han, Kamber, 2000] Han J., Kamber M.. Data Mining. Concept and Techniques. Morgan Kaufman Publishers, 2000, 550 p.
- [Дюк, Самойленко 2001] Дюк В., Самойленко А. Data Mining : учебный курс (+CD). –СПб: Издательский дом «Питер», 2001. –368с.: ил.
- [Габидулин, 2007] Габидулин, Э. М., Пилипчук, Н. И. Лекции по теории информации. М.: МФТИ, 2007. — 214 с.
- CLIPS Reference Manual, Volume I, Basic Programming Guide // CLIPS: A tool for building expert systems. URL: <http://clipsrules.sourceforge.net/documentation/v630/bpg.htm> (дата обращения: 12.06.2012).

---

**Authors' Information**

---



*Gurina Irina – postgraduate student; Kharkiv National University of Radioelectronics; Kharkiv, Ukraine; e-mail: [\\_charmel\\_@mail.ru](mailto:_charmel_@mail.ru) tel.: +380 66 93 93 785*

*Major Fields of Scientific Research: General theoretical information research, Knowledge Discovery and Engineering, Business Informatics.*



*Oleksandr Kuzomin Chief of Innovation Marketing Department Professor of Information Science 14, Lenin Ave., 61166, Kharkiv, UKRAINE*

*Tel/fax: +38(057)7021515 <mailto:kuzy@kture.kharkov.ua>*

---

---

## Economics Decision Support Systems

---

---

### АНАЛИЗ КРЕДИТОСПОСОБНОСТИ ЗАЕМЩИКОВ - ЮРИДИЧЕСКИХ ЛИЦ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ

Юрий Зайченко

**Аннотация:** Рассмотрена проблема анализа платежеспособности юридических лиц в условиях неопределенности и недостаточности имеющейся информации. Определены экономические и финансовые индексы предприятия, используемые для анализа платежеспособности. Предложен новый подход для анализа платежеспособности, основанный на использовании нечетких нейронных сетей. Приведены результаты экспериментальных исследований сравнения предложенного подхода и классической методике на основе скоринговой модели.

**Ключевые слова:** анализ платежеспособности, нечеткие нейронные сети, скоринговая модель

**ACM Classification Keywords:** H.4.2 Information Systems Applications: Types of Systems: Decision Support.

---

#### Введение

---

Одной из важных задач, решаемых в банковской сфере, является задача анализа кредитоспособности заемщиков банковских кредитов. От правильного ее решения зависит финансовое состояние и благополучие банков. Выдача кредита предприятию- потенциальному банкроту неминуемо приведет к серьезным потерям финансовых средств, тогда как отказ в кредитах состоятельному заемщику приведет банк к недополучению финансовой прибыли. И первого, и второго желательно избегать.

Необходимо построить систему, которая бы помогала лицу, которое принимает решение относительно кредитования юридических лиц, определять кредитоспособность отдельных заемщиков и групп лиц. Входными данными системы является набор показателей. Для юридического лица это показатели финансового состояния предприятия, которые указываются в стандартной банковской анкете заемщика, а также данные, указанные в ежемесячных и ежегодных отчетах рассмотренного предприятия, а также размер и срок необходимого кредита. Целью настоящей работы является изложение предлагаемого подхода к прогнозированию кредитоспособности юридических лиц в условиях неопределенности с использованием нечетких нейронных сетей (ННС) и его сравнение с классической методикой на основе скоринговой модели

---

#### Выбор показателей для оценки кредитоспособности заемщиков

---

При определении банком кредитоспособности, как правило, берутся во внимание следующие факторы:

- право- и дееспособность заемщика для осуществления кредитной операции;
- его репутация;
- наличие обеспечения ссуды;

- способность заемщика получать доход.

Для осуществления оценки финансового состояния заемщика (юридического лица) банк должен учитывать такие основные показатели его деятельности:

- платежеспособность (коэффициенты текущей, мгновенной, общей ликвидности);
- финансовую стойкость;
- объем реализации;
- обороты по счетам;
- себестоимость продукции в динамике;
- состав и динамику дебет-кредитной задолженности за последний отчетный и текущий годы.

В соответствии с требованиями "Положения о порядке формирования и использования резерва для возмещения возможных потерь по кредитным операциям банков" банки, анализируя платежеспособность, обязательно рассчитывают коэффициенты мгновенной, текущей и общей ликвидности.

Например, коэффициент общей ликвидности показывает соотношение всех оборотных активов предприятия и его текущих обязательств (оптимальное теоретическое значение - не менее 2,0). Если значение показателя является больше 1,5 - предприятие является платежеспособным и его качественные показатели подтверждают тенденцию дальнейшего экономического развития.

Коэффициент текущей ликвидности рассчитывают делением суммы ликвидных активов на текущие обязательства предприятия (нормативное значение показателя - 0,5). Этот коэффициент дает общую оценку платежеспособности предприятия.

Коэффициент мгновенной ликвидности показывает, какая часть текущих обязательств может быть погашена немедленно, то есть за счет высоколиквидных активов (нормативное значение коэффициента - не менее 0,2). В условиях экономического кризиса, предприятия чувствуют дефицит оборотных средств, и нормативный уровень показателя, как правило, не достигается.

Очень высокие значения коэффициентов ликвидности оцениваются негативно, как и слишком низкие, поскольку это свидетельствует о нерациональном использовании средств или высоком уровне дебиторской задолженности, которая в будущем может привести к ухудшению финансовых показателей деятельности.

**Коэффициент общей ликвидности** (Оборотные активы / Текущие обязательства)

$$КЛ1 = Ав / Зп \geq 0,2$$

(Ав - активы высоколиквидные, Зп - текущие (краткосрочные) обязательства).

**Коэффициент текущей ликвидности** ([Денежные средства и их эквиваленты, текущие финансовые инвестиции, дебиторская задолженность] / Текущие обязательства)

$$КЛ2 = Ал / Зп \geq 0,5$$

(Ал – ликвидные активы).

**Коэффициент мгновенной ликвидности** (Денежные средства и их эквиваленты / Текущие обязательства)

$$КЛ3 = \text{активы оборотные} / Зп \geq 0,2.$$

Следующая группа показателей, которые анализируются банковскими учреждениями в процессе принятия решения о кредитовании, - показатели финансовой устойчивости. Они отображают структуру капитала, соотношения собственных и привлеченных средств в формировании ресурсов предприятия, выясняя его зависимость от тех или других источников средств, а соответственно, и возможность погашать задолженность.

Коммерческие банки рассчитывают коэффициент независимости, коэффициент маневренности собственных средств, коэффициент автономности и коэффициент финансовой зависимости (концентрации ссудного капитала).

Коэффициент автономности (оптимальное значение - больше 0,5) дает возможность оценить долю владельцев в общей стоимости имущества предприятия. Этот показатель характеризует заемщика в перспективе, дает качественную картину финансовой стойкости предприятия.

Коэффициент концентрации ссудного капитала (оптимальное значение - менее 0,5) характеризует часть ссудных средств в общей сумме средств, вложенных в имущество предприятия. Чем ниже этот показатель, тем меньшая задолженность предприятия и тем более устойчиво его положение. Рост показателя в динамике означает увеличение ссудных средств в финансировании предприятия.

Коэффициент независимости характеризует степень финансового риска, то есть соотношение ссудного и собственного капитала (оптимальное теоретическое значение - не больше 1,0).

Коэффициент маневренности собственных средств (оптимальное значение показателя - не менее 0,5) характеризует величину собственного капитала, направленную на пополнение оборотных средств. Значительная часть таких средств позволяет характеризовать состояние предприятия как финансово стойкое. При оценивании кредитоспособности заемщика банки также анализируют достаточность рабочего капитала предприятия. Наличие чистого рабочего капитала свидетельствует о том, что предприятие способно не только оплатить текущие обязательства, но и имеет в своем распоряжении финансовые ресурсы для расширения деятельности и осуществления инвестиций.

#### **Показатели финансовой устойчивости:**

1. Коэффициент маневренности собственных средств ((Собственный капитал - Необоротные активы) / Собственный капитал);
2. Коэффициент независимости (Привлеченные средства / Собственный капитал);
3. Коэффициент автономности (Собственный капитал / Валюта баланса);
4. Коэффициент финансовой зависимости (Привлеченный капитал / Итог баланса);
5. Чистый рабочий капитал (Оборотные активы - Текущие обязательства);

**Показатели деловой активности и рентабельности** позволяют банку оценить эффективность использования предприятием своих активов.

Коэффициент оборачиваемости активов является одним из важнейших показателей эффективности использования капитала и указывает на скорость его перехода из стадии производственных запасов в готовую продукцию и скорость превращения продукции в непосредственно денежную форму.

Банки анализируют также коэффициент оборачиваемости материальных запасов, который характеризует соответствие товарных запасов объемам реализации, показывает скорость оборота запасов для обеспечения текущего объема продаж. Коэффициент оборачиваемости дебиторской задолженности свидетельствует о скорости высвобождения средств при расчетах с дебиторами. Коэффициент оборачиваемости кредиторской задолженности позволяет определить, насколько быстро предприятие рассчитывается с поставщиками и подрядчиками. Резкое увеличение этого показателя может указывать на недостаток денежных средств, а снижение - на досрочную оплату счетов с целью получения скидок.

- Коэффициент оборачиваемости материальных запасов (Чистый доход от реализации / Материальные запасы)
- Коэффициент оборачиваемости активов (Чистый доход от реализации / Активы)
- Коэффициент оборачиваемости дебиторской задолженности (Чистый доход от реализации / Дебиторская задолженность)

- Коэффициент оборачиваемости кредиторской задолженности (Чистый доход от реализации / Кредиторская задолженность)

#### **Анализ данных по юридическим лицам.**

Входными данными по юридическим лицам является выборка, которая состоит из показателей финансового состояния клиентов, то есть финансовые показатели которые взяты из отчетности компании и из анкеты заемщика и данных о необходимом кредите.

Выборка состоит из 138 клиентов Банка, 111 из которых повернули полученный кредит в соответствующие сроки, 27 - оказались дефолтными заемщиками. Отметим также, что это реальная выборка из реального Банка, и это значит что данные по этим клиентам были проанализированы с помощью скоринговых карт и скоринговых моделей Банка, и все они были определены как "кредитоспособные". Выборка состоит из клиентов, которые подали заявку на получение кредита на протяжении 2003-2005 года. Данные относительно погашения этих кредитов были получены 26 ноября 2011 года.

---

#### **Анализ кредитоспособности заемщиков с использованием ННС**

---

Рассмотрим методику анализа кредитоспособности юридических лиц с использованием нечетких нейронных сетей с выводом Мамдани и Цукамото [Зайченко Ю.П.]. Ядром этих методов является база нечетких правил.

#### **База нечетких правил**

Введем следующие лингвистические переменные для реализации подходов Мамдани и Цукамото.

Для юридических лиц имеем 9 нечетких и 2 четких параметра (срок и величина кредита), введем следующие уровни ( значения) для лингвистических переменных X1-X9.

- X1: (Предельно Низкий, Очень Низкий, Низкий, Средний, Высокий, Очень Высокий, Предельно Высокий);
- X2: (Предельно Низкий, Очень Низкий, Низкий, Средний, Высокий, Очень Высокий, Предельно Высокий);
- X3: (Предельно Низкий, Очень Низкий, Низкий, Средний, Высокий, Очень Высокий, Предельно Высокий);
- X4: (Предельно Низкий, Очень Низкий, Низкий, Средний, Высокий, Очень Высокий, Предельно Высокий);
- X5: (Предельно Низкий, Очень Низкий, Низкий, Средний, Высокий, Очень Высокий, Предельно Высокий);
- X6: (Предельно Низкий, Очень Низкий, Низкий, Средний, Высокий, Очень Высокий, Предельно Высокий);
- X7 (Предельно Низкий, Очень Низкий, Низкий, Средний, Высокий, Очень Высокий, Предельно Высокий);
- X8: (Предельно Низкий, Очень Низкий, Низкий, Средний, Высокий, Очень Высокий, Предельно Высокий);
- X9: (Предельно Низкий, Очень Низкий, Низкий, Средний, Высокий, Очень Высокий, Предельно Высокий).

Для облегчения записи введем следующие сокращения:

Предельно Низкий - (ГН), Очень Низкий - (ДН), Низкий - (Н), Средний - (Ср), Высокий - (В), Очень Высокий - (ДВ), Предельно Высокий (ГВ).

Тогда мы можем записать следующие правила, учтя все возможные комбинации:

- Если X1 "ДН" и X2 "ДН" и X3 "ДН" и X4 "ДН" и X5 "ДН" и X8 "ДН" то риск невозвращения "ДВ";
- Если X1 "Н" и X2 "ДН" и X3 "ДН" и X9 "ДН" и X7 "ДН" и X6 "ДН" то риск невозвращения "ДВ";
- Если X1 "Ср" и X2 "Н" и X3 "ДН" и X4 "ДН" и X5 "ДН" и X6 "ДН" то риск невозвращения «ДВ»;
- Если X1 "Ср" и X2 "Ср" и X3 "Н" и X4 "ДН" и X5 "ДН" и X6 "ДН" то риск невозвращения "ДВ";
- Если X1 "Ср" и X2 "Ср" и X3 "Ср" и X7 "Н" и X5 "ДН" и X6 "ДН" то риск невозвращения "В";
- Если X1 "В" и X2 "Ср" и X3 "Н" и X8 "ДН" и X9 "Н" и X6 "ДН" то риск невозвращения "Н";
- Если X1 "В" и X2 "В" и X3 "В" и X4 "Ср" и X5 "Ср" и X9 "В" то риск невозвращения "Ср";
- Если X1 "ДВ" и X2 "ДВ" и X3 "В" и X4 "ДВ" и X5 "В" и X9 "ДВ" то риск невозвращения "Н";
- Если X1 "ДВ" и X2 "ДВ" и X3 "ДВ" и X4 "ДВ" и X5 "ДВ" и X9 "ДВ" то риск невозвращения "ДН".

Количество правил очень большое, если учитывать все возможные варианты перестановок значений. Для облегчения восприятия и записи правил введем баллы для лингвистических значений:

$$ГН = 7; ДН=6; Н=5; Ср=4; В=3; ДВ=2; ГВ =1.$$

Вычислим предельные показатели уровня банкротства, воспользовавшись следующими предельными правилами:

1. Если X1 "ГН" и X2 "ГН" и X3 "ГН" и X4 "ГН" и X5 "ГН" и X6 "ГН" и X7 "ГН" и X8 "ГН" и X9 "ГН" то БАЛЛ=63;
2. Если X1 "ДН" и X2 "ДН" и X3 "ДН" и X4 "ДН" и X5 "ДН" и X6 "ДН" и X7 "ДН" и X8 "ДН" и X9 "ДН" то БАЛЛ=54;
3. Если X1 "Н" и X2 "Н" и X3 "Н" и X4 "Н" и X5 "Н" и .... X9 "Н" то БАЛЛ=45;
4. Если X1 "Ср" и X2 "Ср" и X3 "Ср" и X4 "Ср" и X5 "Ср" и ... X9 "Ср" то БАЛЛ=36;
5. Если X1 "В" и X2 "В" и X3 "В" и X4 "В" и X5 "В" и.... X9 "В" то БАЛЛ=27;
6. Если X1 "ДВ" и X2 "ДВ" и X3 "ДВ" и X4 "ДВ" и X5 "ДВ" и ... X9 "ДВ" то БАЛЛ=18;
7. Если X1 "ГВ" и X2 "ГВ" и X3 "ГВ" и X4 "ГВ" и X5 "ГВ" и ... X9 "ГВ" то БАЛЛ=9.

Тогда новые правила для оценки риска банкротства запишутся таким образом:

Если БАЛЛ > 63 то вероятность возвращения ГН;

Если БАЛЛ ≤ 54 и БАЛЛ > 42 то вероятность возвращения ДН;

Если БАЛЛ ≤ 42 и БАЛЛ > 36 то вероятность возвращения Н;

Если БАЛЛ ≤ 36 и БАЛЛ > 27 то вероятность возвращения СР;

Если БАЛЛ ≤ 27 и БАЛЛ > 18 то вероятность возвращения В;

Если БАЛЛ ≤ 18 и БАЛЛ > 9 то вероятность возвращения ДВ;

Если БАЛЛ = 9 то вероятность возвращения ГВ.

Такой подход позволяет охватить все множество правил.

Приведем пример анализа кредитоспособности с помощью нечеткого вывода Мамдани и Цукамото для юридических лиц.

**Решение:**

**Этап 1 (Лингвистические переменные и нечеткие подмножества).**

Аналогично матричному подходу О. Недосекина определяем множества  $E, G, B$  [Недосекин А.О]

1. Задается лингвистическая переменная **Е «Состояние предприятия»**, которая имеет пять значений

$E_1$  – нечеткое подмножество состояний «предельного неблагополучия»;

- $E_2$  – нечеткое подмножество состояний "неблагополучия";
- $E_3$  – нечеткое подмножество состояний "среднего уровня";
- $E_4$  – нечеткое подмножество состояний "относительного благополучия";
- $E_5$  – нечеткое подмножество состояний "предельное благополучие".

2. Соответствующая переменной  $E$  лингвистическая переменная  $G$  «Риск банкротства» также имеет 5 значений:

- $G_1$  – нечеткое подмножество состояний "предельный риск банкротства",
- $G_2$  – нечеткое подмножество состояний "степень риска банкротства высокая",
- $G_3$  – нечеткое подмножество состояний "степень риска банкротства средняя",
- $G_4$  – нечеткое подмножество состояний "низкая степень риска банкротства",
- $G_5$  – нечеткое подмножество состояний "риск банкротства незначительный".

Носитель множества  $G$  – показатель степени риска банкротства  $g$  принимает значения от нуля до единицы по определению.

**Этап 2 (Показатели)** Строим набор отдельных показателей  $X=\{X_j\}$  общим количеством  $N$ , которые за усмотрением эксперта-аналитика влияют на оценку кредитоспособности предприятия и/или клиента и оценивают разные по природе аспекты деловой и финансовой жизни клиента, причем показатели не должны дублировать друг друга с точки зрения их значимости для анализа.

Выберем систему из 9 нечетких показателей, приведенных выше, и 2 четких (размер кредита и срок кредита) показателей.

**Этап 3 (Формирование базы правил системы нечеткого вывода).**

Базу правил формируют специалист предметной области в виде совокупности нечетких предикатных правил вида:

$$П_1: \text{если } x \in A_1 \text{ и } y \in B_1 \text{ то } z \in C_1$$

$$П_2: \text{если } x \in A_2 \text{ и } y \in B_2 \text{ то } z \in C_2$$

**Этап 4 (Фаззификация входных параметров).**

Проводим фаззификацию входных параметров, описание каждого из терм- множеств (лингвистических переменных) с помощью функции принадлежности. Находим степени истинности для каждого значения в предпосылках правил:  $A_1(x_0)$ ,  $A_2(x_0)$ ,  $B_1(y_0)$ ,  $B_2(y_0)$ .

В качестве функций принадлежности будем использовать трапециевидные функции. Для большей наглядности функции принадлежности отобразим их графически, а не аналитически на рис.1.

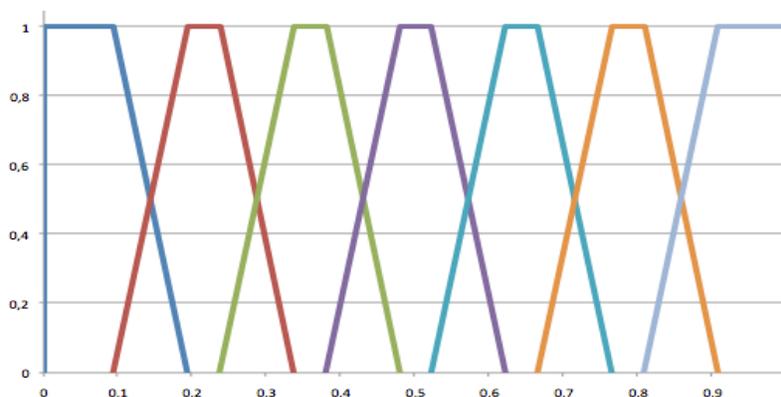


Рис 1. Функция принадлежности  $\mu_1$  параметра  $X_1$

Соответствие значений  $X_1$  функции принадлежности показано на рис. 2.

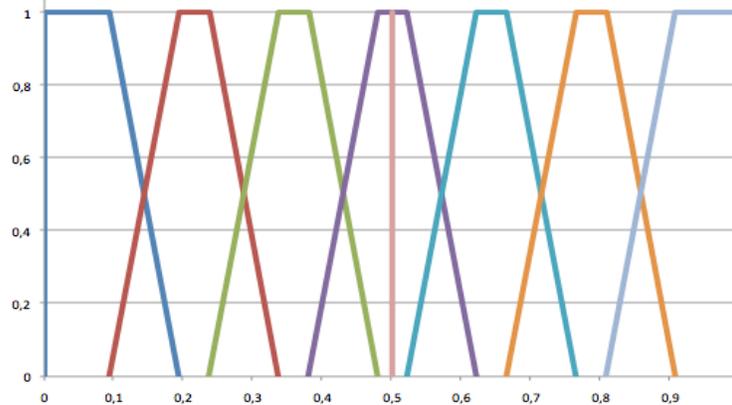


Рис. 2. Соответствие значения  $X_1$  функции принадлежности  $\mu_1$

По остальным переменным функции принадлежности имеют аналогичный вид.

**Этап 5 (Логический вывод).** Находим уровни "отсечения" для предпосылок каждого из правил с использованием операции пересечения в форме  $\min$ .

$$\alpha_1 = A_1(x_0) \wedge B_1(y_0);$$

$$\alpha_2 = A_2(x_0) \wedge B_2(y_0).$$

А также находим "усеченные" функции принадлежности для выходов правил:

$$C'_1 = (\alpha_1 \wedge C_1(z));$$

$$C'_2 = (\alpha_2 \wedge C_2(z)).$$

Для большей наглядности покажем это на рисунках 3,4.

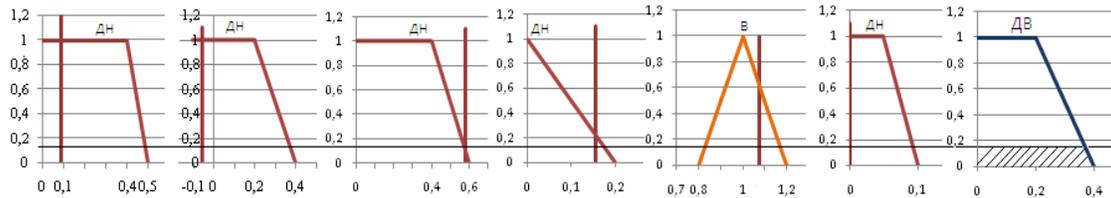


Рис. 3. Первое правило

Согласно нашим правилам, мы проводим ранжирование для каждого входного значения

$$X_i: 6 + 6 + 6 + 6 + 3 + 6 = 33 - В$$

Правило второе:

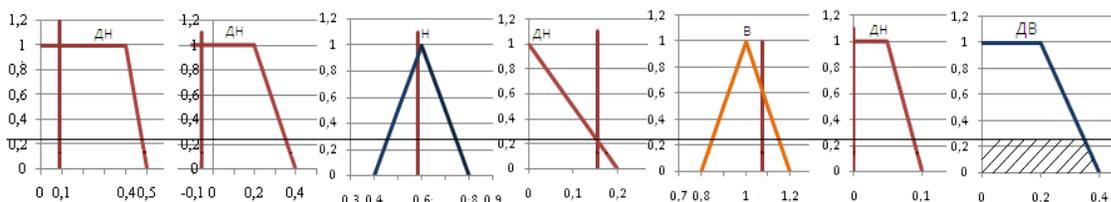


Рис. 4. Второе правило.

**Этап 6 (Композиция).** Проводится объединение найденных усеченных функций с использованием операции  $\max$ , что приводит к получению конечного нечеткого подмножества для исходной переменной с функцией принадлежности  $\mu_2$ . Для наглядности покажем это на рис. 5.

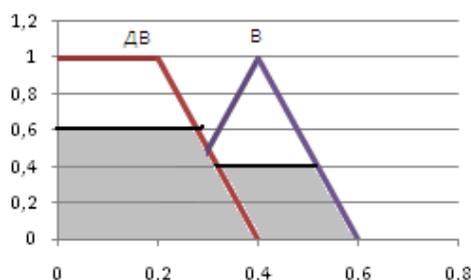
**Логический вывод:**

Рис.5. Вывод правил

**Этап 7 (Приведения к четкости (дефаззификация).** Используется когда необходимо превратить нечеткий набор выводов в четкое число. Приведение к четкости осуществляется центроидным методом [Зайченко Ю.П.].

$$w_0 = \frac{\int w \times \mu_{\Sigma}(w) dw}{\int \mu_{\Sigma}(w) dw}$$

**Этап 7 (Приведение к четкости (дефаззификация) для метода Цукамото.** Используется когда необходимо превратить нечеткий набор выводов в четкое число. Приведение к четкости осуществляется центроидным методом (используем дискретный вариант).

---

**Экспериментальные исследования и сравнительный анализ результатов**


---

Поскольку лицо, принимающее решения, использует спроектированную систему только как вспомогательную при принятии решения и для получения результатов применяется еще экспертная оценка порогового значения для вероятности возвращения кредита заемщиком, для полного анализа полученных результатов были просчитаны результаты для нескольких установленных пороговых значений, а именно на уровне 0,7; 0,8; 0,9. Соответственно была просчитаны ошибки 1-го и 2-го рода. Результаты сравнения приведены на рис.6-8 и в соответствующих таблицах 1-3. Для сравнительного анализа точности прогнозирования с помощью нечетких нейросетей был проведен анализ кредитоспособности заемщиков с применением классической скоринговой модели. Соответствующие результаты приведены на рис. 9.

Таблица 1. Сравнение результатов прогнозирования возвращения кредита с помощью ННС Мамдани с реальными данными

Общая точность принятия решений ( пороговое значение 0.7 )	0,8467
Ошибка первого рода	0,1314
Ошибка 2 рода	0,1898
Общая точность принятия решений ( пороговое значение 0.9)	0,7007
Ошибка первого рода	0.0000
Ошибка 2 рода	0,2847

Таблица 2 - Сравнение результатов прогнозирования возвращения кредита с помощью ННС Цукамото с реальными данными

Общая точность принятия решений ( пороговое значение 0.7 )	0,8394
Ошибка первого рода	0,1387
Ошибка 2 рода	0,0073
Общая точность принятия решений ( пороговое значение 0.8	0,7883
Ошибка первого рода	0,1168
Ошибка 2 рода	0,0803
Общая точность принятия решений ( пороговое значение 0.9)	0,6715
Ошибка первого рода	0,0073
Ошибка 2 рода	0.3066

Таблица 3 - Сравнение результатов прогнозирования возвращения кредита с помощью ННС Мамдани и Цукамото с реальными данными для разных пороговых значений

	ННС Мамдани	ННС Цукамото
Общая точность принятия решений ( пороговое значение 0.7 )	0,8467	0,8394
Ошибка первого рода	0,1314	0,1387
Ошибка 2 рода	0,1898	0,0073
Общая точность принятия решений ( пороговое значение 0.8	0,7810	0,7883
Ошибка первого рода	0,0146	0,1168
Ошибка 2 рода	0,1898	0,0803
Общая точность принятия решений ( пороговое значение 0.9)	0,7007	0,6715
Ошибка первого рода	0.0000	0,0073
Ошибка 2 рода	0,2847	0.3066

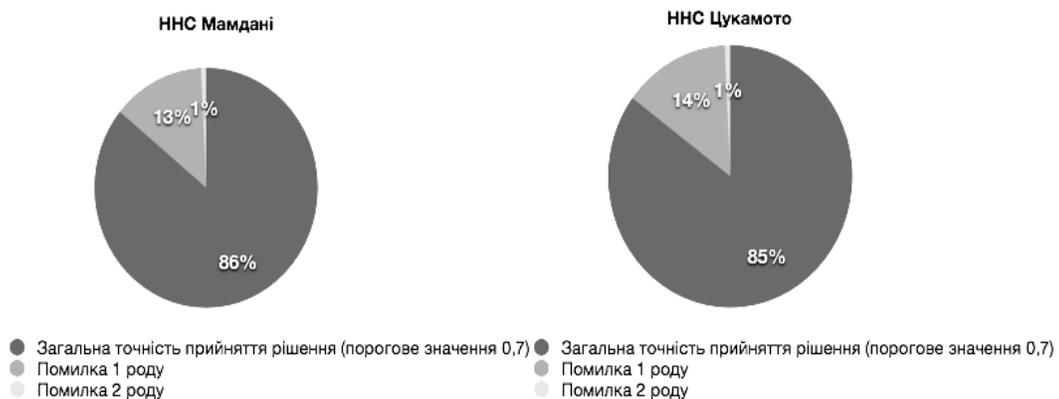


Рис. 6. Сравнение результатов прогнозирования возвращения кредита с помощью ННМ Мамдани, ННМ Цукамото с реальными данными для порогового значения 0,7

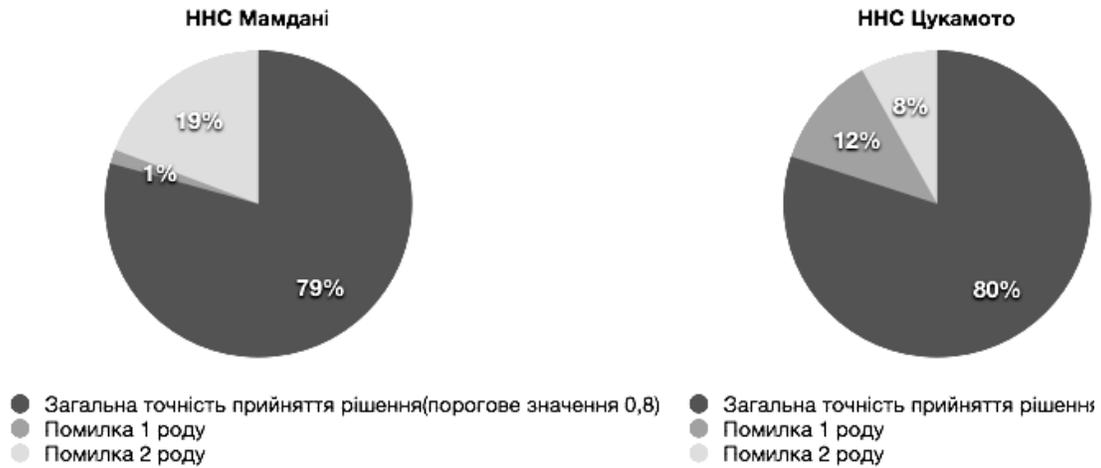


Рис. 7. Сравнение результатов прогнозирования возврата кредита с помощью ННС Мамдани, ННС Цукамото с реальными данными для порогового значения 0,8

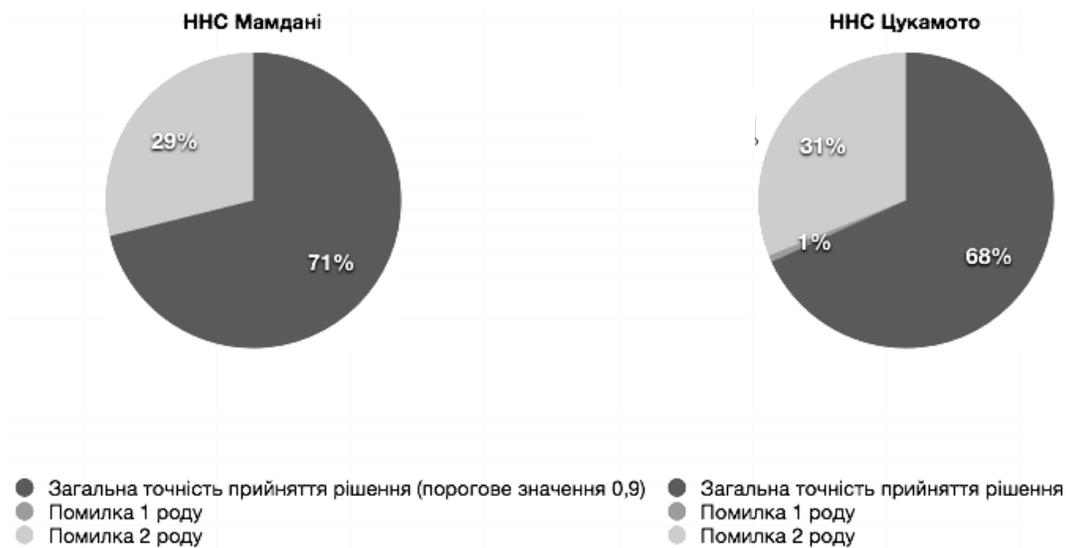


Рис. 8. Сравнение результатов прогнозирования возврата кредита с помощью ННС Мамдани, ННС Цукамото с реальными данными для порогового значения 0,9



Рис. 9. Сравнение результатов прогнозирования возврата кредита с помощью скоринговой модели с реальными данными

## Выводы

---

После проведения тщательного анализа результатов предложенного подхода - реализации нечетких нейронных сетей Мамдани и Цукамото с реальными данными и с результатами прогноза при помощи такого инструмента, как скоринговая модель, можно сделать определенные выводы. Из вышеприведенных таблиц и диаграмм легко определить, что качество принятия решений в значительной мере зависит от выбранного порогового значения вероятности возвращения кредита.

Причем при пороговом значении на уровне 0,7 для юридических лиц ошибка эксперта на 70 % это ошибка 1-го рода, который является невыгодным для Банка, поскольку ошибка первого рода - это непосредственно потерянные средства. При увеличении порогового значения ошибка первого рода уменьшается, однако увеличивается ошибка 2-го рода, поскольку лицо, которое принимает решение, автоматически отбрасывает потенциально выгодных клиентов. Ошибка 2-го рода - это недополученная прибыль. Нечеткие нейронные сети Мамдани и Цукамото показали приблизительно одинаковый результат на данной выборке, поскольку имеют очень похожие алгоритмы нечеткого логического вывода, и оказались значительно лучше, чем скоринговые модели. Следует отметить, что при формировании правил нечеткого логического вывода использовались статистические данные, что позволило значительно улучшить результаты, в сравнении с другими инструментами.

---

## Благодарности

---

Работа опубликована при финансовой поддержке проекта **ITHEA XXI** Института информационных теорий и приложений FOI ITHEA Болгария [www.ithea.org](http://www.ithea.org) и Ассоциации создателей и пользователей интеллектуальных систем ADUIS Украина [www.aduis.com.ua](http://www.aduis.com.ua).

---

## Литература

---

[Зайченко Ю.П.] Зайченко Ю.П. Нечеткие модели и методы в интеллектуальных системах. – К.: Видавничий Дім «Слово», 2008. – 352 с.

[Недосекин А.О.] Комплексная оценка риска банкротств корпорации на основе нечетких описаний [Электронный ресурс] / Недосекин А.О. // - Режим доступа до журн.: [http://sedok.narod.ru/sc\\_group.htm](http://sedok.narod.ru/sc_group.htm).

---

## Authors' Information

---

**Юрий Зайченко** – доктор технических наук, профессор. Институт прикладного системного анализа НТУУ «КПИ», 03056, Киев-56, Украина, phone: 38044 -4068393, e-mail: [baskervil@voliacable.com](mailto:baskervil@voliacable.com), [ZaychenkoYuri@ukr.net](mailto:ZaychenkoYuri@ukr.net)

## ОБОБЩЕНИЯ ПРИНЦИПОВ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЗАТРАТ ДЛЯ НЕЧЕТКИХ МОДЕЛЕЙ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ

Алексей Волошин, Василий Лавер

**Abstract:** Рассматривается задача распределения затрат как задача коллективного принятия решений. Предлагаются «четкие» и «нечеткие» обобщения принципов распределения и построенные на их основе алгоритмы распределения, которые иллюстрируются численными примерами.

**Keywords:** задача распределения затрат, нечеткие модели и методы, принятие решений.

**ACM Classification Keywords:** I. Computing Methodologies – I.6. Simulation and modelling – I.6.5. Model Development – Modeling Methodologies.

---

### Введение

Проблема распределения ресурсов (природных, финансовых, трудовых и т.п.) как задача коллективного принятия решений [Волошин, Мащенко, 2010] в современном глобализованном мире на различных уровнях иерархии (индивидуальном, межличностном, общественном, региональном, государственном, межгосударственном) в настоящее время выходит на одно из первых мест в системе приоритетов человечества. В определенном смысле все остальные задачи являются «подзадачами», обеспечивающими «исходными данными» задачи распределения в различных постановках.

«Справедливое» распределение общественных затрат (или совместной прибыли) среди агентов является центральной темой теории кооперативных игр, которая многими исследователями считается одним из наиболее важных достижений в теории принятия решений («decision making») во второй половине прошлого столетия. В серии работ [Волошин, Лавер, 2009 - 2011] рассматривается одна из «классических» постановок [Волошин, Мащенко, 2010] и ее обобщения, в частности, на случай нечетких условий [Волошин, Лавер, 2010], а также применения предложенных моделей и методов для решения прикладных задач [Лавер, 2010, 2011]. В отличие от «аксиоматического» подхода, используемого в теории кооперативных игр, в этих работах применяется «алгоритмический» подход [Мулен, 1991], в соответствии с которым задаются принципы нахождения распределения и анализ полученных результатов предоставляется лицу, принимающему решение (ЛПР). В данной работе предлагаются некоторые обобщения процедур (алгоритмов) распределения, предложенных в [Волошин, Лавер, 2010], в частности, для моделей распределения в «кооперативной» постановке [Мулен, 1991].

---

### Проблема распределения

Проблемой распределения называется тройка  $(N, c, b)$ , где  $N$  – конечное множество агентов,  $|N| = n \geq 2$ ,  $c$  ( $c \geq 0$ ) – объем ресурса, который необходимо распределить, вектор  $b = (b_i)_{i \in N}$  приписывает каждому агенту  $i$  его заявку  $b_i$ , причем

$$0 \leq b_i, \forall i \in N: 0 \leq c \leq \sum_{i \in N} b_i. \quad (1)$$

Решением проблемы распределения является вектор  $x = (x_i)_{i \in N}$ , который ставит в соответствие каждому агенту  $i$  его долю  $x_i$ , причем:

$$0 \leq x_i \leq b_i, \forall i \in N: \sum_{i \in N} x_i = c. \quad (2)$$

Возможны несколько интерпретаций проблемы распределения [Мулен, 2001]. В данной статье, без уменьшения общности, рассматривается задача распределения затрат на производство неделимого общественного продукта стоимостью  $c$ , величины  $b_i$  для каждого агента  $i$  интерпретируются как запас денег (или, альтернативно, как ожидаемая выгода от пользования общественным продуктом).

---

### Подушный и уровневый налоги

---

Рассмотрим два основных принципа распределения затрат [Волошин,Мащенко, 2010]:

- выравнивание затрат ( $x_i = \frac{c}{n}, \forall i \in N$ );

- выравнивание прибылей ( $x_i = b_i - \left( \sum_{i \in N} b_i - c \right) / n, \forall i \in N$ ).

Если нарушается условие (2), то при выравнивании затрат может возникнуть ситуация, когда некоторый агент должен будет заплатить больше своего запаса денег. Тогда он может отказаться от кооперации. При выравнивании затрат возможна ситуация, при которой некоторый агент будет субсидироваться другими. В этом случае все другие агенты могут отказаться выплачивать субсидии и коалиция распадётся. В случае выполнения условий (2) принцип выравнивания затрат обобщается на подушный налог, а принцип выравнивания затрат – на уровневый [Волошин,Мащенко, 2010].

---

### Четкие обобщения подушного и уровневого налогов

---

Предположим, что необходимо распределить затраты величиной  $c$  среди множества агентов  $N = \overline{1, n}$ , начальные запасы денег которых определяются вектором  $b = (b_i)_{i \in N}$ .

Рассмотрим подушный налог. Допустим, что существуют агенты, доля затрат которых равна их запасу денег. Обозначим это множество агентов через  $N_1$ . Также предположим, что существуют агенты, которые могут покрыть некоторую величину затрат так, чтоб «бедные» агенты не были вынуждены отдавать все свои деньги.

Установим два пороговых значения:  $\alpha_i$  – сколько процентов от своей доли затрат согласен заплатить агент  $i$  ( $i \in N_1$ ), у которого подушный налог (далее будем обозначать ПН) забирает всю сумму;  $\beta_j$  – на сколько процентов больше своей доли затрат согласен заплатить агент  $j$ , у которого после распределения по ПН еще остаются деньги (т.е.  $j \in N_2 = N \setminus N_1$ ). В общем случае эти величины определяются с учетом денежных запасов агентов («прогрессивное налогообложение»).

Обозначим через  $\hat{x}_i = b_i$  величину ПН для агента  $i$ , где  $i \in N_1$ , а через  $\underline{x}_i$  – максимальное количество денег, которые агент  $i$  согласен отдать «без возражений»,  $\underline{x}_i = b_i(1 - \alpha_i)$ . Конечная доля затрат агента  $i$  будет принадлежать отрезку  $[\hat{x}_i, \underline{x}_i]$ . Обозначим  $\Delta_i = \hat{x}_i - \underline{x}_i$  «дефицит», который возникает при уступках агенту  $i$ . Суммарный дефицит обозначим  $\Delta = \sum_{i \in N_1} \Delta_i$ . Этот дефицит покрывается за счет

агентов, ПН для которых меньше их запаса денег.

Рассмотрим множество  $N_2$ . Обозначим через  $\hat{x}_j$  величину ПН для агента  $j$ , где  $j \in N_2$ , а через  $\overline{x}_j$  – максимальное количество денег, которые агент  $j$  согласен отдать,  $\overline{x}_j = \hat{x}_j(1 + \beta_j)$ . Необходимо, чтобы

выполнялось условие  $\sum_{j \in N_2} (\bar{x}_j - \hat{x}_j) \geq \Delta$ . В случае невыполнения этого условия необходимо изменить коэффициенты  $\alpha_i, \beta_j$  так, чтобы данное неравенство удовлетворялось.

Аналогично для уровня налога – обозначим через  $N_1$  множество агентов, для которых доля затрат за уровнем налогом (УН) равна нулю. Возможно, для других агентов по некоторым соображениям является допустимым субсидирование этих агентов (например, в целях сохранения максимальной коалиции). Тогда  $\alpha_i$  обозначает на сколько процентов от своего запаса денег агент  $i$  субсидируется ( $i \in N_1$ ),  $\beta_j$  – на сколько процентов больше своей доли затрат согласен выделить агент  $j$ , у которого после распределения по УН остаются деньги ( $j \in N_2 = N \setminus N_1$ ), на субсидирование «бедных» агентов.

Обозначим через  $\hat{x}_i$  величину субсидии для агента  $i$ , где  $i \in N_1$ ,  $\hat{x}_i = \alpha_i b_i$ . Тогда  $\Delta = \sum_{i \in N_1} \hat{x}_i$  – суммарная величина субсидий, которая должна покрываться агентами из множества  $N_2 = N \setminus N_1$ .

Обозначим через  $\hat{x}_j = b_j$  величину УН для агента  $j$ , где  $j \in N_2$ , а через  $\bar{x}_j$  – максимальное количество денег, которые агент  $j$  согласен отдать,  $\bar{x}_j = b_j(1 + \beta_j)$ . Необходимо, чтобы выполнялось условие  $\sum_{j \in N_2} \bar{x}_j \geq \Delta + c$ . В случае невыполнения этого условия необходимо изменить коэффициенты  $\alpha_i, \beta_j$  так, чтобы данное неравенство выполнялось.

Для подушного налога предлагается распределять затраты в таком порядке:

1. Для агентов  $i$  ( $i \in N_1$ ) устанавливаем их доли затрат как  $x_i = \underline{x}_i$ .
2. Для агентов  $j$  ( $j \in N_2$ ) устанавливаем их доли затрат как  $x_j = \hat{x}_j + x_j^\Delta$ , где  $x_j^\Delta$  определяется как доля затрат при распределении дефицита  $\Delta$ , причем она может вычисляться как за подушным, так и за уровнем налогом.
3. Если в результате получаем допустимое распределение – процесс останавливается. Если нет – корректируем величины уступок.

Аналогичным образом поступаем и для уровня налога:

1. Для агентов  $i$  ( $i \in N_1$ ) устанавливаем их доли затрат как  $x_i = -\hat{x}_i$ .
2. Для агентов  $j$  ( $j \in N_2$ ) устанавливаем их доли затрат как  $x_j = \hat{x}_j + x_j^\Delta$ , где  $x_j^\Delta$  определяется как доля затрат при распределении дефицита  $\Delta$ , причем она может вычисляться как за подушным, так и за уровнем налогом.
3. Если в результате получаем допустимое распределение – процесс останавливается. Если нет – корректируем величины уступок

То есть, возможны четыре варианта распределения: ПН+ПН (и первый и второй этапы вычисляются за подушным налогом), ПН+УН (на первом этапе находим подушный налог, на втором дефициты делим уровнем налогом), УН+ПН, УН+УН. Выбор конкретного механизма распределения остается за лицом, принимающим решения (ЛПР).

### Нечеткие обобщения подушного и уровневого налогов

Рассмотрим проблему распределения с использованием аппарата нечетких множеств [Згуровский, Зайченко, 2011].

Предположим, что рассматривается распределение затрат в соответствии с подушным налогом. Предположим, что доля затрат агента  $i$  ( $i \in N_1$ ) является нечетким числом, функция принадлежности которого, используя предыдущие обозначения, имеет вид

$$\mu_i(x_i) = \begin{cases} 1, & 0 \leq x_i \leq \underline{x}_i; \\ \frac{x_i - \hat{x}_i}{\underline{x}_i - \hat{x}_i}, & \underline{x}_i \leq x_i \leq \hat{x}_i; \\ 0, & \text{в остальных случаях.} \end{cases}$$

То есть,  $\mu_i(x_i)$  являются правосторонними нечеткими числами трапецеидального вида.

Аналогично, для агентов  $j$  ( $j \in N_j$ ) имеем:

$$\mu_j(x_j) = \begin{cases} 1, & 0 \leq x_j \leq \hat{x}_j; \\ \frac{x_j - \bar{x}_j}{\hat{x}_j - \bar{x}_j}, & \hat{x}_j \leq x_j \leq \bar{x}_j; \\ 0, & \text{в остальных случаях.} \end{cases}$$

Тогда для поиска вектора распределения затрат  $(x_1, x_2, \dots, x_n)$  необходимо решить такую задачу линейного программирования:

$$\begin{aligned} \lambda &\rightarrow \max, \\ \mu_k(x_k) &\geq \lambda, \forall k \in N, \\ \sum_{i \in N} x_i &= c, \\ 0 \leq \lambda \leq 1, x_k &\geq 0, k \in N. \end{aligned}$$

В результате получим вектор затрат  $(x_1, x_2, \dots, x_n)$  и степень удовлетворенности агентов этим распределением  $\lambda$ . Если данная величина не удовлетворяет ЛПР, то необходимо установить иные значения для величин уступок  $\alpha_i, \beta_j$ .

Для уровневого налога, прежде всего, нужно найти величины субсидий. Далее следует распределить между агентами из множества  $N_2$  величину  $\Delta + c$  (при этом необходимо выполнение условия  $\sum_{j \in N_2} \bar{x}_j \geq \Delta + c$ ). В результате получим задачу:

$$\begin{aligned} \lambda &\rightarrow \max, \\ \mu_j(x_j) &\geq \lambda, \forall j \in N_2, \\ \sum_{j \in N_2} x_j &= c + \Delta, \\ 0 \leq \lambda \leq 1, x_j &\geq 0, j \in N_2. \end{aligned}$$

Ее решение - вектор затрат  $(x_1, x_2, \dots, x_n)$  и степень удовлетворенности агентов этим распределением  $\lambda$ . Если данная величина не удовлетворяет ЛПР, устанавливаются новые значения уступок  $\alpha_i, \beta_j$ .

### Случай нечеткой величины затрат

Предположим, что величина затрат  $c = (\underline{c}, \hat{c}, \bar{c})$  является нечетким числом треугольного вида. В этом случае необходимо рассмотреть две задачи – «задачу оптимиста» ( $c \in [\underline{c}, \hat{c}]$ ) и задачу «пессимиста» ( $c \in [\hat{c}, \bar{c}]$ ) [Згуровский, Зайченко, 2011]. Предположим, что рассматривается подушный налог (для уровня налога обобщения выводятся аналогично). Задача оптимиста для ПН имеет вид:

$$\begin{aligned} \lambda &\rightarrow \max, \\ \mu_k(x_k) &\geq \lambda, \forall k \in N, \\ \mu_c(c) &\geq \lambda, \\ \sum_{i \in N} x_i &= c, \\ 0 \leq \lambda \leq 1, x_k &\geq 0, k \in N, c \in [\underline{c}, \hat{c}]. \end{aligned}$$

Здесь  $\mu_c(c)$  - функция принадлежности совместных затрат, функции принадлежности долей затрат агентов формируются с учетом того, что ПН рассчитывается для  $\hat{c}$ . Для задачи пессимиста необходимо пересчитать ПН для затрат равных  $\bar{c}$ . Сама же задача будет иметь аналогичный вид:

$$\begin{aligned} \lambda &\rightarrow \max, \\ \bar{\mu}_k(x_k) &\geq \lambda, \forall k \in N, \\ \mu_c(c) &\geq \lambda, \\ \sum_{i \in N} x_i &= c, \\ 0 \leq \lambda \leq 1, x_k &\geq 0, k \in N, c \in [\hat{c}, \bar{c}]. \end{aligned}$$

Здесь  $\bar{\mu}_k(x_k)$  - новые функции принадлежности агентов.

Решив обе задачи, за окончательное распределение выбираем то, для которого  $\lambda$  максимально. Если же  $\lambda$  является одинаковым для обоих случаев, выбор распределения определяется ЛПР.

### Числовой пример

Рассматривается  $n=5$  агентов,  $c=30$  - величина затрат, которую необходимо распределить. Запасы денег агентов соответственно равны 4, 12, 20, 24, 30 [Волошин, Машченко, 2010]. Положим  $\alpha=25\%$ ,  $\beta=20\%$ .

Для случая четких обобщений подушного и уровня налога, получим такие данные:

Номер агента	1	2	3	4	5	c
Запас денег	4	12	20	24	30	
ПН	4	6,5	6,5	6,5	6,5	30
ПН+ПН	3	6,75	6,75	6,75	6,75	30
ПН+УН	3	6,5	6,5	6,5	7,5	30
УН	0	0	16/3	28/3	46/3	30
УН+ПН	-1	-3	20/3	32/3	50/3	30
УН+УН	-1	-3	16/3	28/3	58/3	30

Для нечетких обобщений (в частности, и для нечеткого  $c=(29,30,31)$ ), будем иметь:

Номер агента	1	2	3	4	5	c	λ
Запас грошей	4	12	20	24	30		
ПН	4	6,5	6,5	6,5	6,5	30	
Нечеткий ПН	98/31	208/31	208/31	208/31	208/31	30	26/31
НПН+Нечеткая c	113/36	481/72	481/72	481/72	481/72	1075/36	31/36
УН	0	0	16/3	28/3	46/3	30	
Нечеткий УН	-1	-3	272/45	476/45	782/45	30	1/3
НУН+Нечеткое c	-1	-3	578/93	986/93	1598/93	30	16/31

Как для случая выравнивания затрат, так и для случая выравнивания прибыли, большие значения  $\lambda$  достигаются, если величина, которую необходимо распределить, является нечеткой. Это интуитивно можно объяснить тем, что чем «большая» нечеткость, тем больше у агентов имеется возможность варьировать свои доли затрат, и тем большей есть вероятность найти распределение, которое бы максимально всех устраивало.

### Нечеткие обобщения $N$ -ядра

При сведении задачи распределения к кооперативной игре и использовании эгалитарного принципа распределения (соответствующего  $N$ -ядру [Волошин, Машенко, 2010]) необходимо вычислять или подушный, или уровневый налоги в соответствии со следующей теоремой Аумана-Машлера (1985 год).

*Теорема.*  $N$ -ядро соответствует таким долям затрат в зависимости от величины затрат  $c$ :

$$1) \quad c \leq \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n b_i : \sum_{i=1}^n \min \left\{ \alpha, \frac{b_i}{2} \right\} = c \Rightarrow x_i = \min \left\{ \alpha, \frac{b_i}{2} \right\}, i = \overline{1, n}.$$

$$2) \quad c \geq \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n b_i : \sum_{i=1}^n \min \left\{ \alpha, \frac{b_i}{2} \right\} = \sum_{i=1}^n b_i - c \Rightarrow x_i = b_i - \min \left\{ \alpha, \frac{b_i}{2} \right\}, i = \overline{1, n}.$$

То есть, существуют два крайних случая – когда доли затрат (или прибыли) агентов рассчитываются как подушный (при  $c \leq \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n b_i$ ) или же уровневый (при  $c \geq \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n b_i$ ) налог от вектора начальных запасов

$$\frac{1}{2} b = \left( \frac{1}{2} b_1, \frac{1}{2} b_2, \dots, \frac{1}{2} b_n \right).$$

Между этими крайними случаями возможны другие, «компромиссные» распределения.

Рассмотрим нечеткое обобщение  $N$ -ядра при решении задачи распределения затрат. Множество агентов разбивается на две группы –  $N_1$  и  $N_2$ , первой группе принадлежат агенты, которые хотели бы заплатить меньше того, что им приписывает  $N$ -ядро, во второй – агенты, согласные покрыть этот «дефицит».

Рассмотрим агентов первой группы. Обозначим  $\underline{x}_i$  желательную долю затрат, а  $\hat{x}_i$  величину доли затрат при  $N$ -ядре. Доли затрат агентов из этой группы будут правосторонними нечеткими числами  $(\underline{x}_i, \hat{x}_i)$ .

Для второй группы обозначим  $\hat{x}_i$  соответствующую величину  $N$ -ядра, а  $\bar{x}_i$  – максимальную величину, которую агент согласен заплатить. Тогда долю затрат отдельного агента можно задать правосторонним нечетким числом  $(\hat{x}_i, \bar{x}_i)$ .

Таким образом, распределение затрат сводится к такой задаче линейного программирования, аналогичной рассмотренным:

$$\begin{aligned} \lambda &\rightarrow \max, \\ \mu_k(x_k) &\geq \lambda, \forall k \in N_1, \mu_j(x_j) \geq \lambda, \forall j \in N_2, \\ \sum_{i \in N} x_i &= c, \\ 0 &\leq \lambda \leq 1, x_i \geq 0, i \in N. \end{aligned}$$

Задачу поиска оптимального решения предлагается решать в несколько этапов: на первом решается задача при исходных данных, получая распределение и соответствующий уровень  $\lambda$ . Если он не удовлетворяет ЛПР, то сужается область определения нечетких чисел, которые отвечают долям затрат агентов. Продолжаем процесс до тех пор, пока не будет достигнут оптимальный уровень.

Отметим, что при  $\lambda=1$  доли затрат агентов будут равны долям, которые отводятся им  $N$ -ядром.

Рассмотрим пример. Имеется три агента, запасы денег которых равны соответственно 100, 200, 300. Необходимо распределить затраты величиной 100 единиц.  $N$ -ядро приписывает каждому агенту долю затрат, равную  $33\frac{1}{3}$ . Рассмотрим и крайние случаи (подушный и уровневый налоги при половинном запасе денег агентов):

Запасы денег	100	200	300
ПН( $\frac{1}{2}$ )	$33\frac{1}{3}$	$33\frac{1}{3}$	$33\frac{1}{3}$
УН( $\frac{1}{2}$ )	0	25	75
$N$ -ядро	$33\frac{1}{3}$	$33\frac{1}{3}$	$33\frac{1}{3}$

Поскольку  $c \leq \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n b_i$ , то  $N$ -ядро совпадает с ПН( $\frac{1}{2}$ ).

Для первого и второго агента величина УН( $\frac{1}{2}$ ) является меньшей, чем величина  $N$ -ядра. Поэтому, для них желательней исход, при котором они будут платить УН( $\frac{1}{2}$ ). Отнесем их в группу  $N_1$ . В группе  $N_2$  будет только один агент – номер три. Для него УН( $\frac{1}{2}$ ) выше величины  $N$ -ядра. Предположим, что это и есть максимальная сумма, которую он согласен заплатить.

Доли затрат агентов будут нечеткими правосторонними числами  $(0, 33\frac{1}{3})$ ,  $(25, 33\frac{1}{3})$ ,  $(33\frac{1}{3}, 75)$ .

Подставив данные в вышеприведенную задачу линейного программирования, получим распределение затрат (14,79; 26,93; 58,28) при уровне  $\lambda=0,528$ . Предположим, что этот уровень не удовлетворяет ЛПР. Сделаем следующую итерацию, при нечетких долях агентов, равных  $(14,79; 33\frac{1}{3})$ ,  $(26,93; 33\frac{1}{3})$ ,  $(33\frac{1}{3}; 58,28)$ . Получим распределение затрат (24,06; 30,14; 45,8) при уровне  $\lambda=0,5$ . Продолжаем, пока результат не удовлетворит ЛПР.

## Выводы

Нечеткие обобщения модели и методы распределения затрат позволяют учесть нечеткость входных данных, свойственную реальным процессам (см., в частности, [Лавер, 2010], [Лавер, Маляр, 2011]).

Приведенные обобщения дают результаты отличные от четких аналогов, хотя и весьма близкие к ним. В конечном итоге выбор метода распределения остается за ЛПР.

---

### Благодарности

Работа опубликована при финансовой поддержке проекта ITHEA XXI Института информационных теорий и приложений FOI ITHEA Болгария [www.ithea.org](http://www.ithea.org) и Ассоциации создателей и пользователей интеллектуальных систем ADUIS Украина [www.aduis.com.ua](http://www.aduis.com.ua).

---

### Библиография

- [Волошин, 2010] Волошин О.Ф., Машенко С.О. Модели та методи прийняття рішень. - К.: ВТЦ "Київський університет", 2010.-336с.
- [Voloshin, Laver, 2009] Voloshin O., Laver V. Collective Product Cost Sharing in Conditions of Managed Economy// International Book Series "Information Science and Computing", 2009. – V. 3/2009, N15. – P. 200-205.
- [Волошин, Лавер, 2009] Волошин О.Ф., Лавер В.О. Розподіл витрат при виробництві колективного продукту в умовах регульованої економіки - Науковий вісник Чернівецького університету, в. 493, Економіка.
- [Лавер, 2010] Лавер В.О. Нечіткі моделі розподілу витрат на виробництво колективного продукту. - Схід: Аналітично-інформаційний журнал. – 2010. – № 7. – С.60-63.
- [Волошин, Лавер, 2010] Волошин А., Лавер В. Нечеткие обобщения модели распределения затрат// Information Models of Knowledge, ITHEA, Kiev-Sofia, 2010.-P.215-219.
- [Лавер, Маляр, 2011] Лавер В.О., Маляр М.М. Модель розподілу витрат на виробництво продукту особистого користування - Науковий вісник УжНУ, Серія: економіка, випуск 2 (34), 2011.
- [Мулен, 1991] Мулен Э. Кооперативное принятие решений.-М: Мир, 1991.-464с.
- [Moulin, 2001] Moulin, Herve. Axiomatic Cost and Surplus Sharing, - Working Papers 2001-06, Rice University, Department of Economics, 2001.
- [Згуровский, Зайченко 2011] Згуровский М.З., Зайченко Ю.П. Модели и методы принятия решений в нечетких условиях. – К.: Наукова думка, 2001. – 275 с.

---

### Сведения об авторах



**Волошин Алексей** – доктор технических наук, профессор, Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко, Украина, 01017 Киев, ул. Владимирская, 64; e-mail: [olvoloshyn@ukr.net](mailto:olvoloshyn@ukr.net)

**Сфера научных интересов:** принятие решений, системы поддержки принятия решений, математическая экономика, экспертные системы, е-образование



**Лавер Василий** – Ассистент, Ужгородский национальный университет, математический факультет, Украина, 88000, Ужгород, ул. Университетская, 14, e-mail: [v.laver@gmail.com](mailto:v.laver@gmail.com)

**Сфера научных интересов:** принятие решений, системы поддержки принятия решений, математическая экономика, нечеткие модели и методы

## РАЗРАБОТКА И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНТЕГРАЛЬНОГО ИНДЕКСА БЮДЖЕТНОЙ СФЕРЫ

Леонид Гуляницкий, Диана Омелянчик

**Аннотация:** Предложена иерархическая модель интегрального индекса бюджетной сферы. Представлена разработанная концепция региональных рейтинговых оценок, учитывающая особенности экономики Украины. Проанализированы основные результаты апробации разработанных индексов для ряда областей Украины. Разработанные интегральные индексы предназначены для использования при математическом моделировании бюджетной сферы в регионах.

**Ключевые слова:** математическое моделирование, индексные модели, интегральные индексы, государственное управление, бюджетная сфера.

**ACM Classification Keywords:** H.4.2 Information Systems Applications: Types of Systems: Decision Support, J.1 Computer Applications: Administrative Data Processing: Government.

---

### Введение

---

Математическое моделирование является важным инструментом исследования и анализа экономической ситуации в регионах, позволяющим осуществлять эффективную поддержку принятия ответственных решений на государственном и межгосударственном уровне. Вместе с тем, разработка технологии макроэкономического моделирования невозможна без конструктивного и легко интерпретируемого инструмента оценки текущей ситуации.

Большинство существующих методов оценки экономической ситуации в регионах Украины не учитывают особенностей региональной экономики и не соответствуют общеевропейским стандартам комплексного социально-экономического анализа. В работе предлагается и исследуется специальная индексная модель бюджетной сферы региона – разработка подобного средства является необходимым шагом при создании систем поддержки принятия решений.

Интегральные индексы представляют собой укрупненные показатели, объединяющие несколько единичных показателей с целью оценки или измерения сложного объекта, который невозможно описать с помощью только одного показателя (например, конкурентность, экономическое развитие). В контексте государственной политики, индексы применяются как показатель изменений ситуации в стране, что позволяет лицам, принимающим решения, определить тенденцию развития и выявить проблемные сферы.

Преимуществами использования интегральных индексов являются, во-первых, комплексность информации, которую они обобщают. Благодаря построению индексной модели, анализ сотен показателей, характеризующих сложный объект, сводится к анализу нескольких интегральных индексов, отображающих связи и тенденции, неявно содержащиеся во всей совокупности показателей. Во-вторых, использование интегральных индексов значительно упрощает и ускоряет сам процесс анализа. В-третьих, интегральные индексы - очень гибкий и конструктивный инструмент. Поскольку индекс зависит от набора показателей, то изменение этого набора позволяет подчеркнуть те или другие особенности объекта, а значит, изменяя состав показателей индекса, можно добиться большей точности во время анализа.

Во то же время, анализ на основе интегральных индексов требует понимания некоторых особенностей их использования. Во-первых, интегральные индексы предназначены исключительно для подчеркивания различий между сложными объектами. Они ни в коем случае не могут заменить полноценный анализ, а

являются лишь средством его упрощения и ускорения. Во-вторых, индексы являются лишь обобщенным и относительным отображением реального объекта, его средней оценкой.

Цель работы – предложить интегральный индекс бюджетной сферы, его составляющие и методологию расчета, проанализировать результаты расчета разработанного индекса для регионов Украины, а также предложить подход к разработке концепции рейтинговой оценки регионального бюджета.

---

### **О подходах к разработке и использованию интегральных индексов**

---

Обычно, индекс представляет собой относительную величину, получаемую в результате сопоставления значений сложных социально-экономических показателей во времени, пространстве и с плановыми показателями.

Наибольшее распространение индексы получили в области экономического анализа, но необходимость использования индексных показателей возникает и в социальной сфере, в областях экологии, политологии и других. Способы построения индексов зависят от содержания изучаемых показателей, методологии расчета исходных статистических показателей, целей исследования. При этом в основном используются классические виды индексов Пааше, Ласпейраса, Фишера [Борисова, 2005].

Согласно данным ООН [Bandura, 2008], существует 178 индексов, разработанных для ранжирования или комплексной оценки стран в соответствии с некими экономическими, политическими, социальными или экологическими критериями. Эти индексы разрабатываются как общественными и частными организациями, так и отдельными исследователями.

В зарубежной науке уже сформировалась теоретическая база для различных направлений исследований интегральных индексов, по ряду проблем выработаны единые позиции. Тут разрабатываются как индексы, затрагивающие отдельные проблемы, вроде здоровья населения или коррупции, так и ориентированные на максимально полный охват достаточно обширных областей (например, качества жизни или экономической свободы). В Европе и США накоплен такой объем статистической информации, который не только позволяет плодотворно работать в рамках уже существующих направлений, но и двигаться дальше [Handbook, 2008].

На территории постсоветского пространства ситуация с разработкой интегральных индексов отнюдь не так благоприятна. Внимание единичных исследователей сосредоточено преимущественно на разработке интегральных оценок таких общих понятий, как качество жизни или инвестиционная привлекательность. Многие более узкие проблемы пока вне поля зрения ученых. К тому же, национальные статистические базы крайне бедны и имеют множество изъянов, что еще больше усложняет дальнейшее развитие этого направления.

Если на Западе распространены целевой подход к конструированию интегральных индексов, продуманное отношение к выбору исходных данных и сравнительно простые методы подсчета, то в СНГ часто практикуется максимально широкий набор индикаторов наряду с весьма размытым представлением о самой интегральной оценке и чрезмерным усложнением методологии, что приводит к трудно интерпретируемым результатам.

Наибольшую известность получили интегральные индексы, разрабатываемые рядом международных организаций, в первую очередь, Программой развития ООН (ПРООН). Все они базируются на разработанной ПРООН концепции человеческого развития, и характерной их чертой является максимально возможная простота методики расчета и использование показателей, доступных и сопоставимых для широкой совокупности стран. Самым цитируемым из них является индекс развития человеческого потенциала (ИЧРП). ПРООН сконструирован также ряд индексов для оценки других

актуальных проблем, не нашедших отражения в ИЧРП: индекс развития с учетом гендерного фактора; индекс, учитывающий неравенство в распределении национального дохода; индексы нищеты населения для развивающихся и развитых стран.

Остановимся более подробно на индексах, которые оказали непосредственное влияние на наше исследование.

Австралийское бюро статистики разработало индексы SEIFA (социально-экономические индексы территорий) для обработки результатов переписи населения 1971 года. Впервые в своем нынешнем виде индексы SEIFA были представлены в 1990 году [Adhikari, 2006]. Они ранжируют географические регионы Австралии согласно их социально-экономическим характеристикам и рассчитываются на основании информации, собранной в рамках переписи населения и домохозяйств, которая проводится каждые пять лет. На данный момент, существует четыре различных индекса, отражающих отдельные аспекты социально-экономических условий территории. Среди них – индекс относительного социально-экономического неблагополучия, индекс относительного социально-экономического благополучия и неблагополучия, индекс экономических ресурсов и индекс образования и занятости.

Индекс относительного социально-экономического неблагополучия – это общий социально-экономический индекс, который обобщает информацию относительно экономических и социальных ресурсов населения и домохозяйств в рамках территории. В отличие от других индексов SEIFA, этот индекс содержит только оценки относительного благополучия (например, низкий доход или малообразованность). Индекс относительного социально-экономического благополучия и неблагополучия также обобщает информацию относительно экономического и социального потенциала территории, но включает как меры относительного благополучия, так и неблагополучия. Индекс экономических ресурсов разработан для измерения общего уровня доступности экономического потенциала населения и домохозяйств территории. Индекс образования и занятости измеряет общий уровень образованности и рабочих навыков населения территории.

Индексы SEIFA можно использовать для различных целей, например, выявления целевых территорий для бизнеса, демографического профилирования, стратегического планирования и других социально-экономических исследований.

Российские исследователи предлагают следующую методику оценки относительного финансового состояния консолидированных бюджетов субъектов РФ [Яшина, 2008]. Для каждого субъекта РФ рассчитываются и стандартизируются индивидуальные бюджетные коэффициенты (как общепринятые, так и разработанные авторами). Затем на основе полученных значений рассчитываются укрупненные стандартизованные показатели по каждой из трех выделенных групп бюджетных коэффициентов. Суммированием значений укрупненных показателей для каждого субъекта РФ авторы получают сводную оценку финансового состояния соответствующего консолидированного бюджета.

К первой группе бюджетных коэффициентов относятся коэффициенты, характеризующие степень реальной (де)централизации управления в сфере бюджетных доходов (так называемая группа коэффициентов финансовой независимости): коэффициент чистой финансовой независимости, коэффициент чистой налоговой независимости, коэффициент прямой финансовой зависимости, коэффициент общей финансовой зависимости, показатель качества финансовой помощи.

Ко второй группе относятся коэффициенты, характеризующие направленность бюджетной политики территориальных органов власти в сфере бюджетных расходов. К ним относятся: вес текущей части бюджета, коэффициент относительной стоимости содержания органов власти и управления, коэффициент социальной ориентированности бюджета.

К третьей группе относятся коэффициенты, характеризующие соотношение элементов доходной и расходной части бюджета (группа коэффициентов бюджетной устойчивости): коэффициент собственной (чистой) налоговой устойчивости, коэффициент общей налоговой устойчивости, коэффициент собственной финансовой устойчивости, коэффициент текущей финансовой устойчивости, коэффициент совокупной финансовой устойчивости, коэффициент общего покрытия расходов.

В работе [Харазішвілі, 2011] основное внимание уделяется комплексному анализу эффективности и инновационности социально-экономического развития Черновицкой области. Авторы отмечают проблематичность мониторинга и оценки результатов инновационной политики из-за отсутствия строго определения инновационного пути развития. В качестве интегрального критерия оценки уровня инновационности предлагается взвешенное среднее гармоническое таких характеристик: ВВП на единицу производительной мощности, социальная справедливость, теневая экономика, использование труда, технология производства, потенциальный ВВП.

### Этапы разработки интегрального индекса

Построение комплексной оценки в виде интегрального индекса состоит из нескольких последовательных этапов:

1. Выбор набора показателей.
2. Обработка первичных данных согласно выбранному методу обработки.
3. Нормирование расчетных показателей, т.е. приведение их в сравнимый вид в диапазоне [0, 1].
4. Определение относительной важности факторов влияния, т.е. весовых коэффициентов.
5. Вычисление значений интегрального индекса.
6. Апробация полученных результатов на реальных данных.

Первым этапом построения любого интегрального индекса является анализ всего перечня статистических данных, значимых для выбранной предметной области. Результатом анализа должен быть набор показателей, которые будут считаться основными характеристиками наблюдаемых объектов. Также выбранные для расчета индексов показатели должны отвечать следующим критериям: доступность во всех регионах, объективность отображения ситуации, актуальность, относительная независимость.

После формирования списка показателей, следующим шагом является сбор нужных первичных данных из источников информации и выбор способа обработки первичных данных в зависимости от цели исследования. Например, для вычисления разработанного индекса бюджетной сферы предлагается использовать не первичные данные, а данные в расчете на душу населения. Такой подход позволяет оценить, какая доля средств от общего объема, připадает на одного жителя региона по каждому показателю.

Интегральный индекс может содержать данные разные по природе, порядку, структуре, единицам измерения, поэтому обработанные данные следует еще и нормировать. В нашей модели для каждого показателя его нормированное (индексное) значение определяется как отношения отклонения от минимального значения выборки к размаху выборки:

$$I_j = \frac{X_j - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}},$$

где  $I_j$  – индексное значение  $j$ -ой характеристики объекта

$X_j$  – наблюдаемое значение показателя для  $j$ -ой характеристики объекта;

$X_{\min}$  – минимальное значение показателя на выборке;

$X_{\max}$  – максимальное значение показателя на выборке.

Поскольку индексы могут быть неоднородными по составу, т.е. содержать как «положительные», так и «отрицательные» показатели, полученные нормированные значения следует преобразовать так, чтобы зависимость значений индекса и соответствующего показателя соответствовала его условной «положительности» или «отрицательности». Это означает, что чем больше значение положительного показателя, тем большим должно быть значение индекса, и наоборот – чем больше значение отрицательного показателя, тем меньшим должен быть индекс.

Поэтому, если показатель является условно положительным, оставляем его без изменений. В противном случае, значение показателя следует заменить на его дополнение к единице:

$$I_j = 1 - I_j^n,$$

где  $I_j$  – конечное индексное значение «отрицательного» показателя для  $j$ -ой характеристики объекта;

$I_j^n$  – индексное значение «негативного» показателя для  $j$ -ой характеристики объекта, рассчитанное по формуле (1).

После нормирования показателей следует принять решение касательно их относительной важности. Во время расчета интегрального индекса каждому показателю присваивается соответствующий «вес», который показывает его относительное влияние на индекс. Сумма всех весов должна равняться единице.

На последнем этапе, все выбранные показатели и весовые коэффициенты агрегируются в интегральный индекс. Он рассчитывается по следующей формуле:

$$I = \sum_{j=1}^m w_j I_j,$$

где  $I$  – значение интегрального индекса объекта;

$I_j$  – индексное значение  $j$ -ой характеристики объекта;

$w_j$  – весовой коэффициент  $j$ -ой характеристики объекта.

Чтобы повысить информационную ценность индексов, результаты анализа, полученные с их помощью, требуют апробации на реальных данных. В ходе этого процесса необходимо выделить конечный набор показателей в составе индексов, определить оптимальные значения весовых коэффициентов, разработать наилучшую методику обработки первичных данных. [Омельянчик, 2011].

---

### **Иерархическая модель индекса бюджетной сферы**

---

Предлагается следующая иерархическая модель интегрального индекса бюджетной сферы (Рис. 1). Она состоит из четырех уровней: индекс бюджетной сферы, бюджетные субиндексы, расчетные показатели и первичные данные.

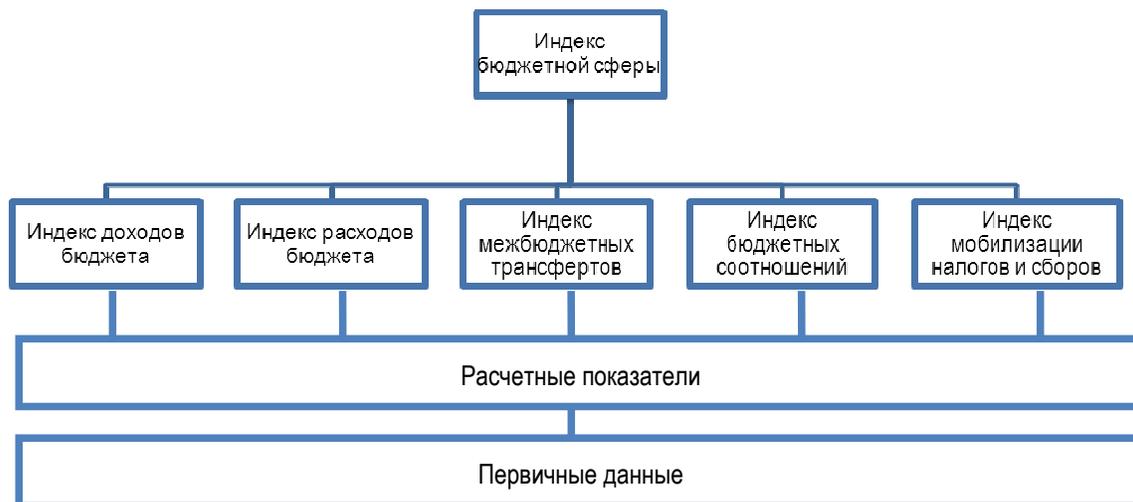
*Индекс бюджетной сферы* дает возможность оценивать общее состояние бюджетной сферы в регионе.

*Бюджетные субиндексы* предназначены для анализа ситуации в разрезе разных составляющих бюджета: доходов, расходов, межбюджетных трансфертов, бюджетных соотношений и мобилизации налогов и сборов.

*Расчетные показатели* являются основой для вычисления субиндексов и формируются с помощью обработки первичных данных.

*Первичные данные* собираются из различных региональных источников.

Рассмотрим состав и идеологию построения бюджетных субиндексов как частных интегральных индексов подробнее.



**Рис. 1.** Иерархическая модель индекса бюджетной сферы.

Индекс доходов бюджета обобщает набор показателей, которые отображают структуру доходной части бюджета. Он состоит из таких показателей:

- налог на доходы физических лиц;
- налог на прибыль предприятий;
- плата за землю;
- налоги на собственность.

Основным источником наполнения бюджета являются налоговые поступления. Для оценки сбалансированности структуры доходов, по результатам анализа фактических данных по регионам Украины за 2006-2010 гг. нами было выделено четыре основные группы налоговых поступлений, составляющих около 80% доходной части бюджета.

Все составляющие индекса доходов бюджета являются однородными по характеру влияния на индекс, т.е. чем больше значения показателя, тем большим должно быть значение соответствующего индекса. Также, в отличие от обычного сравнения суммарной величины доходов разных региональных бюджетов, индекс доходов бюджета позволяет оценить сбалансированность структуры доходной части бюджета и влияние каждого из источников поступлений. Заметим, что субиндекс доходов построен так, что большее его значение указывает на относительно лучшую ситуацию с доходами в бюджете региона.

Индекс расходов бюджета обобщает набор показателей, отражающих структуру расходной части бюджета. Его расчет базируется на следующих показателях:

- государственное управление;
- образование;
- здравоохранение;
- социальная защита и социальное обеспечение;
- ЖКХ;
- духовное развитие;
- экономическая деятельность.

В качестве основных показателей расходной части бюджета, нами были выбраны группы классификации

расходов по бюджетным программам, поскольку именно они позволяют оценить распределение бюджетных средств между основными сферами деятельности общества. Всего выделено шесть основных группы бюджетных расходов, составляющих около 90% расходной части бюджета.

Все составляющие индекса расходов бюджета являются однородными по характеру влияния. Также, в отличие от обычного сравнения итоговой величины расходов разных региональных бюджетов, индекс расходов бюджета дает возможность оценить сбалансированность структуры расходной части бюджета и значимость каждой из статей расходов.

Отметим, что величина расходов бюджета не является отрицательным фактором экономической ситуации. Наоборот, чем больше регион тратит на выполнение бюджетных программ, тем выше финансовая обеспеченность населения. С другой стороны, следует учитывать, что большая часть расходов бюджета должна покрываться за счет его собственных доходов, а не дотаций из бюджета высшего уровня. Степень сбалансированности доходной и расходной частей бюджета, финансовой независимости и дотационности региона предлагается оценивать с помощью индекса бюджетных соотношений.

Индекс межбюджетных трансфертов обобщает набор показателей, отражающих межбюджетные отношения и фиксирующих движение денежных потоков между бюджетами разных уровней. Для его расчета используются такие показатели:

- дотации выравнивания;
- субвенции для предоставления льгот;
- субвенции для выплаты помощи;
- налоговые поступления в государственный бюджет;
- налоговые поступления для формирования дотаций выравнивания.

Индекс межбюджетных трансфертов отличается от двух предыдущих субиндексов неоднородностью показателей в своем составе.

Первая группа показателей отображает поступления в региональный бюджет из других бюджетов. Чтобы оценить структуру внешних поступлений в бюджет, выделено три показателя (дотации выравнивания, субвенции для выплаты помощи и предоставления льгот), отвечающих за отдельные виды трансфертов. Заметим, что эти показатели являются отрицательными в том смысле, что при их увеличении значение субиндекса должно уменьшаться.

Вторая группа показателей (налоговые поступления в государственный бюджет, налоговые поступления для формирования дотаций выравнивания) отображает ту часть средств региона, которые минуют региональный бюджет и попадают сразу в государственный. Часть этих средств потом возвращается назад, часть выделяется на выплаты другим регионам, часть остается в государственном бюджете. Чтобы оценить структуру внешних отчислений средств региона, выделено два показателя, отвечающих за дальнейший оборот средств между бюджетами. Отметим, что эти показатели оказывают положительное влияние на субиндекс, т.е. при их увеличении значение соответствующего субиндекса растет.

Большой объем отчислений в бюджет высшего уровня не всегда является положительным фактором. Иногда это может означать слишком жесткую и централизованную государственную политику в сфере наполнения государственного бюджета. С другой стороны, при существующих условиях распределения трансфертов между региональными бюджетами, регионам часто бывает невыгодно проводить эффективную политику, поскольку в этом случае полученный трансферт будет меньше. Степень сбалансированности отчислений и поступлений предлагается оценивать с помощью индекса бюджетных соотношений.

Индекс бюджетных соотношений обобщает набор показателей, которые являются составляющими прикладного бюджетного анализа. Он состоит из восьми показателей, которые характеризуют разного рода соотношения между основными составляющими бюджета и численностью населения:

- % выполнения бюджета по доходам;
- % выполнения бюджета по расходам;
- финансовая независимость;
- дотационность региона;
- донорство региона;
- бюджетная результативность;
- бюджетное покрытие;
- бюджетная обеспеченность.

В качестве составляющих индекса бюджетных соотношений, выбрано шесть характеристик прикладного бюджетного анализа (бюджетных коэффициентов) и два показателя, отражающих соотношения плановых показателей бюджета и результатов его выполнения. Благодаря этому, их значения могут служить самостоятельным индикатором проблем государственного управления в сфере бюджетной политики.

Индекс бюджетных соотношений также неоднороден по составу. Дотационность региона является отрицательным фактором, все остальные – положительны. Формулы для вычисления бюджетных коэффициентов представлены в табл. 1, где используются следующие обозначения:  $D$  – собственные доходы бюджета,  $T$  – трансферты,  $V$  – расходы бюджета,  $G$  – налоговые отчисления в бюджет высшего уровня,  $P$  – среднегодовая численность населения региона.

Табл. 1. Бюджетные коэффициенты.

Бюджетный коэффициент	Формула для расчета
Финансовая независимость	$D/V$
Дотационность бюджета	$T/D$
Донорство региона	$G/T$
Бюджетное покрытие	$(D + T)/V$
Бюджетная результативность	$D/P$
Бюджетная обеспеченность населения	$V/P$

Индекс мобилизации налогов и сборов обобщает набор показателей, характеризующих эффективность непосредственной работы местных администраций по наполнению доходной части бюджета и содержит шесть расчетных показателей:

- % мобилизации налога на добавленную стоимость;
- % мобилизации акцизного сбора;
- % мобилизации налога на прибыль;
- % мобилизации налога для физических лиц;
- % мобилизации платы за землю;
- % мобилизации налога для владельцев транспортных средств.

Этот индекс характеризует соотношение реальной собираемости налогов и плановых показателей. Два показателя оценивают уровень сбора налогов, поступающих сразу в государственный бюджет (НДС и акцизный сбор), остальные четыре характеризуют налоги, частично остающиеся на региональном уровне.

Все составляющие индекса мобилизации являются однородными по характеру влияния на индекс. Также, в отличие от обычной оценки уровня мобилизации налогов и сборов в регионе, индекс мобилизации позволяет оценить структуру собираемости различных налогов и выявить проблемные группы поступлений.

### Рейтинговая оценка

Как отмечалось ранее, интерпретация результатов вычисления интегральных индексов предусматривает понимание некоторых особенностей их использования. Одной из таких особенностей является необходимость дополнительных преобразований полученных результатов для анализа динамики. Эти преобразования должны обеспечивать сравнимость интегральных индексов, рассчитанных для разных моментов времени, а также учитывать то, что повышение интегрального индекса региона может означать не только улучшение региональной ситуации, но и ухудшение ситуации в других регионах, и наоборот.

Поэтому, чтобы облегчить интерпретацию значений индексов и разрешить проблему анализа динамики, предлагается использовать особую рейтинговую шкалу. Согласно ей, рейтинговая оценка каждого региона является действительным числом из интервала  $[0,10]$  и имеет вид  $\alpha.\beta$ , где целая часть  $\alpha$  отвечает за принадлежность данного региона к определенному классу, а дробная часть  $\beta$  определяет относительное положение региона среди других членов этого же класса. Предлагается выделять 10 классов.

Предлагается формировать классы, исходя из среднего значения интегрального индекса  $I_{\text{сред}}$ , причем значения как выше, так и ниже среднего классифицировать отдельно. С этой целью введем параметры  $h_-$  и  $h_+$  – величины деления значений ниже и выше среднего соответственно.

Предлагается рассчитывать их следующим образом:

$$h_- = \frac{I_{\text{сред}}}{5},$$

$$h_+ = \frac{1 - I_{\text{сред}}}{5}.$$

Тогда целая часть рейтинговой оценки  $\alpha$  интегрального индекса  $I$  равна:

$$\alpha = \begin{cases} 5 + \left[ \frac{I - I_{\text{сред}}}{h_+} \right], & X_{\text{сред}} \leq X \\ \left[ \frac{I}{h_-} \right], & X_{\text{сред}} > X \end{cases}.$$

Дробная часть рейтинговой оценки  $\beta$ , определяющая место региона среди других регионов того же класса, вычисляется по формуле:

$$\beta = \frac{X - X_\alpha}{X_{\alpha+1} - X_\alpha},$$

где  $I \in [X_\alpha, X_{\alpha+1}]$ , и концы отрезка-класса вычисляются по формуле:

$$x_\alpha = \begin{cases} \alpha \cdot h_-, 0 \leq \alpha < 5 \\ x_{\text{сред}} + (\alpha - 5) \cdot h_+, 5 \leq \alpha \leq 9 \end{cases}$$

В общем виде, преобразование, которое задается рейтинговой оценкой, является вектор-функцией векторного аргумента  $F: R^n \rightarrow R^n$ , т.е.  $F(x) = F(x_1, \dots, x_n) = (f(x_1), \dots, f(x_n))$ , где

$$f(x_i) = \begin{cases} \frac{5nx_i}{\sum_{j=1}^n x_j}, x_i < \frac{\sum_{j=1}^n x_j}{n} \\ 5 \left( 1 + \frac{nx_i - \sum_{j=1}^n x_j}{n - \sum_{j=1}^n x_j} \right), x_i \geq \frac{\sum_{j=1}^n x_j}{n} \end{cases}, x_i \in [0, 1], i = \overline{1, n}.$$

Теперь разобьем рейтинговую шкалу на пять категорий: «плохо», «неудовлетворительно», «удовлетворительно», «хорошо» и «отлично». Тогда проблемными регионами будут те, рейтинговые оценки которых попадают в классы «плохо» и «неудовлетворительно». Заметим, что использование рейтинговой шкалы предусматривает неявное сравнение интегрального индекса региона с другими регионами. Также процедуру расчета рейтинговой оценки можно применять для вычисления рейтингов составляющих показателей, что позволяет не только локализовать неблагополучный регион, но и выявить источник его проблем.

### Апробация результатов

Апробация разработанного индекса проводилась на основании доступной статистической информации для четырех областей Украины (Винницкой, Черкасской, Полтавской и Житомирской) за 2006-2010 гг. Из-за недостатков полученных данных, интегральный индекс бюджетной сферы рассчитывался по сокращенной схеме, содержащей 22 показателя вместо теоретических 30. По этой же причине из рассмотрения был полностью исключен индекс межбюджетных трансфертов.

Особый интерес интегральные индексы представляют для анализа динамики. На рисунке 2 представлен график динамики индекса бюджетной сферы для четырех областей Украины за 2006-2010 гг.

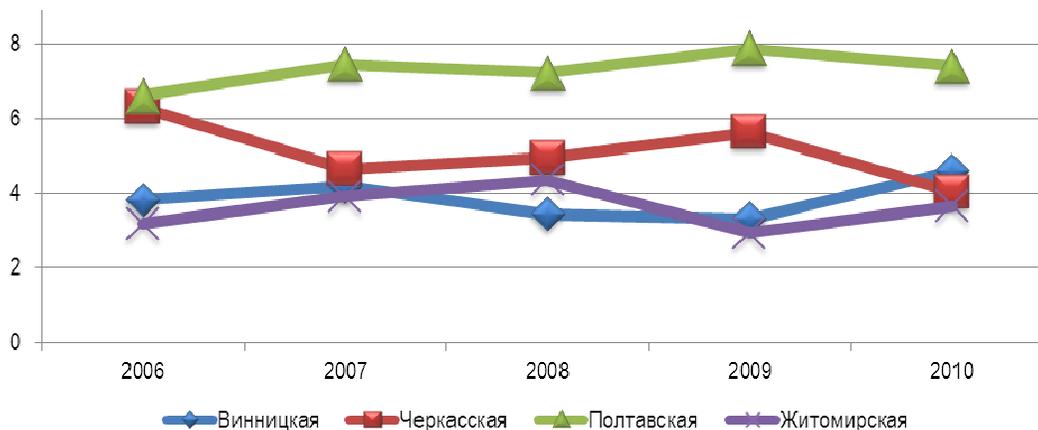


Рис. 2. Динамика индекса бюджетной сферы для областей за 2006-2010 гг.

Из приведенного графика видно, что в среднем наилучшая бюджетная ситуация среди данных четырех областей наблюдается для Полтавской области, а наихудшая – для Житомирской. Причем Полтавская область занимает лидерскую позицию на всем интервале исследования, а место аутсайдера в четырех из пяти рассмотренных годов принадлежит Житомирской области. Только в 2008 г. наихудшая бюджетная ситуация сложилась в Винницкой области.

С другой стороны, динамика отдельных областей в течение этих пяти лет также неравномерна. Так, максимум индекса бюджетной сферы Полтавской области приходится на 2009 г., минимум – на 2006, причем разрыв между крайними точками составляет 1,28 пунктов. В Черкасской области пик активности наблюдается в 2006 г., а дно достигается в 2010 г., и разрыв составляет 2,27 пункта соответственно. Наилучшая относительная ситуация в Винницкой области наблюдалась в 2010 г., а наихудшая – в 2009, т.е. размах составил 1,26 пунктов. Пики Житомирской области – это 2008 и 2009 г., причем разрыв между ними составил 1,41 пунктов.

Таким образом, наиболее сильные колебания ситуации наблюдаются в Черкасской области, а ситуация в Полтавской области наиболее однородна.

В таблице 2 представлены результаты расчета индекса бюджетной сферы для четырех областей Украины, которые изображены на рисунке 2.

Табл. 2. Индекс бюджетной сферы для четырех областей Украины.

Область	2006	2007	2008	2009	2010
Винницкая	3,81	4,17	3,43	3,32	4,59
Черкасская	6,30	4,63	4,94	5,62	4,03
Полтавская	6,62	7,45	7,22	7,88	7,40
Житомирская	3,18	3,90	4,35	2,94	3,65

Чтобы определить причины таких оценок, следует рассматривать значения составляющих субиндексов для каждой области. Проанализируем значения бюджетных субиндексов для четырех областей в 2006 г. (Табл. 3, Рис. 3).

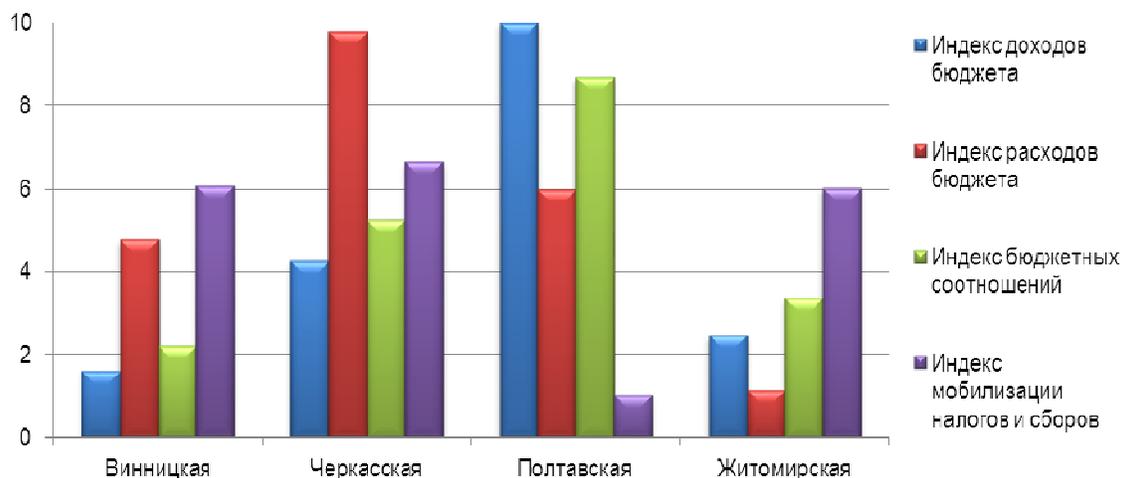


Рис. 3. Бюджетные субиндексы для областей Украины.

Наибольшее значение интегрального индекса бюджетной сферы соответствует Полтавской области, наименьшее – Житомирской. Разрыв между этими значениями составляет 3,44 пункта.

Из приведенной гистограммы видно, что лучшая ситуация, в среднем, наблюдается в Черкасской области. Среди составляющих субиндексов для Черкасской области нет ни одной плохой или неудовлетворительной оценки. В ее активе две удовлетворительные, одна хорошая и одна отличная оценки. Наивысшая оценка для Черкасс касается расходной части бюджета, а низшая – индекса доходов.

В целом, худшая ситуация в разрезе бюджетных субиндексов наблюдается в Житомирской области. Три из четырех выделенных составляющих получило определение «проблемных», в том числе две плохие оценки и одну неудовлетворительную. Также в активе Житомира одна хорошая оценка индекса мобилизации налогов и сборов

Из таблицы 3 видно, что области наиболее дифференцированы по индексу доходов бюджета, а наименее – по индексу мобилизации налогов и сборов. При этом Полтавская область занимает первое место по двум индексам из четырех (индекс доходов бюджета, индекс бюджетных соотношений) и последнее место по индексу мобилизации налогов и сборов. Черкасская область также лидирует по двум индексам (индекс расходов бюджета, индекс мобилизации налогов и сборов). У Винницкой два последних места (индекс доходов бюджета, индекс бюджетных соотношений). У Житомирской – одно (индекс расходов бюджета).

Табл. 3. Бюджетные субиндексы для областей Украины.

Название индекса	Винницкая	Черкасская	Полтавская	Житомирская
Индекс доходов бюджета	1,61	4,26	10,00	2,47
Индекс расходов бюджета	4,78	9,79	5,99	1,15
Индекс бюджетных соотношений	2,20	5,24	8,69	3,38
Индекс мобилизации налогов и сборов	6,08	6,65	1,02	6,02
<b>Индекс бюджетной сферы</b>	<b>3,81</b>	<b>6,30</b>	<b>6,62</b>	<b>3,18</b>

Как отмечалось ранее, бюджетные коэффициенты и сами по себе являются средством оценки характеристик местного бюджета. С их помощью, можно получить объективную информацию относительно соотношений доходной и расходной частей бюджета, собственных доходов и трансфертов, налоговых отчислений и полученных дотаций. Именно такие соотношения являются основными показателями эффективности бюджетной политики местных органов исполнительной власти, поэтому понимание их экономического смысла позволяет делать выводы относительно проблемных сфер бюджета.

Продемонстрируем возможности интерпретации бюджетных коэффициентов на примере расчетов для четырёх областей по данным за 2008 г. (Табл. 4).

Табл. 4. Бюджетные коэффициенты для областей Украины.

Коэффициент	Винницкая	Черкасская	Полтавская	Житомирская
Финансовая независимость	39,81%	45,32%	56,79%	53,79%
Дотационность	61,17%	56,74%	45,80%	47,10%
Бюджетная результативность	0,97	1,14	1,48	1,07
Бюджетное покрытие	102,53%	104,74%	104,77%	101,69%
Бюджетная обеспеченность	2,45	2,52	2,61	2

Коэффициент **финансовой независимости** показывает, какая часть расходов местного бюджета покрывается за счет его собственных доходов. Целевыми для этого показателя являются значения близкие к единице. Чем ниже этот показатель, тем больше выполнение бюджетных программ региона зависит от финансовых влияний из бюджетов высшего уровня. Таким образом, в Полтавской области расходная часть бюджета на 56,79% покрывается за счет собственных доходов. Для Винницкой области этот показатель составляет лишь 39,81%.

Коэффициент **дотационности бюджета** измеряет долю доходов местного бюджета, которую составляют трансферты из бюджетов высших уровней. Чем ниже эта величина, тем более самостоятельным является бюджет региона. Так, доходная часть бюджета Полтавской области меньше чем на половину формируется за счет дотаций, в то время как для Винницкой области 61% всех бюджетных доходов получены «сверху».

Коэффициент **бюджетной результативности** характеризует долю собственных доходов бюджета, порождающуюся населением региона, в расчете на одного жителя. Например, для Винницкой области эта величина составляет 970 гривен, а для Полтавской – 1480.

Коэффициент **бюджетного покрытия** показывает, какая доля расходов бюджета покрывается за счет доходной части. Целевыми для этого показателя являются значения, превышающие единицу. Во всех рассмотренных областях этот коэффициент превышает единицу, но, учитывая коэффициенты финансовой независимости и дотационности, это достигается за счет обеспечения расходов полученными трансфертами и дотациями, а не собственными доходами региона.

Коэффициент **бюджетной обеспеченности** показывает, сколько расходов бюджета предусмотрено на одного жителя региона. Например, в годовом бюджете Житомирской области на каждого жителя предусмотрено 2000 гривен, а в Полтавской – 2610.

Одной из самых важных сфер применения интегральных индексов является выявление проблемных сфер. Под проблемностью показателя будем понимать его относительно низкое значение по сравнению с соответствующими результатами других регионов. Согласно определению, данному в предыдущем разделе, проблемными показателями будем считать те, которые попадают в категории «плохо» и «неудовлетворительно».

Продемонстрируем возможности этого подхода на примере показателей выполнения бюджета Черкасской области за 2008 г. (Табл. 5).

Табл. 5. Профиль бюджета Черкасской области в 2008 г.

Показатель	Плохо	Неудовлетворительно	Удовлетворительно	Хорошо	Отлично
Налог на доходы физических лиц		X			
Налог на прибыль предприятий	X				
Плата за землю					X
Налоги на собственность	X				
Расходы на государственное управление			X		
Расходы на образование				X	
Расходы на здравоохранение				X	
Расходы на социальную защиту					X
Расходы на ЖКХ					X
Расходы на духовное развитие				X	
Расходы на экономическую деятельность			X		
Финансовая независимость		X			
Дотационность		X			
Бюджетная результативность			X		
Бюджетное покрытие					X
Бюджетная обеспеченность					X
% мобилизации налога на добавленную стоимость	X				
% мобилизации акцизного сбора					X
% мобилизации налога на прибыль	X				
% мобилизации налога для физических лиц	X				
% мобилизации платы за землю	X				
% мобилизации налога с владельцев транспортных средств			X		

Согласно нашему определению к проблемным показателям относятся следующие: налог на доходы физических лиц; налог на прибыль предприятий; налоги на собственность; финансовая независимость; дотационность; % мобилизации налога на добавленную стоимость; % мобилизации налога для физических лиц; % мобилизации платы за землю.

Исходя из данных таблицы 5 и анализа значений бюджетных коэффициентов для Черкасской области, основными проблемами бюджета Черкасс можно назвать следующие: высокий уровень дотационности, сильная финансовая зависимость от трансфертов, слишком большие объемы расходов, низкий уровень эффективности местной политики по сбору налогов.

Причиной этих проблем является, скорей всего, недостаточное наполнение бюджета налогами и непропорционально высокие объемы расходов. Чтобы решить их, рекомендуется проанализировать причины несоответствия реальных уровней мобилизации налогов и сборов плановым и принять соответствующие меры.

---

### **Заключение**

Основная идея методологического подхода, предложенного в статье, состоит в интегральном оценивании бюджетной сферы региона в целом и в разрезе отдельных аспектов бюджетной ситуации. В качестве таких групп анализа выделяются доходы и расходы бюджета, межбюджетные трансферты, соотношения между основными бюджетными характеристиками и мобилизация налогов и сборов на региональном уровне. Для упрощения интерпретации полученных результатов предложено концепцию гибкой рейтинговой оценки, предусматривающей распределение регионов по содержательным категориям («плохо», «хорошо», «удовлетворительно» и т.д.) и неявное сравнение полученной регионом оценки с баллами других регионов. Описанная апробация результатов численного эксперимента по расчету интегрального индекса для четырех областей Украины за 2006-2010 гг. продемонстрировала далеко неполный спектр применений интегральных индексов в качестве инструментов анализа и мониторинга.

В дальнейшем усовершенствование интегральных индексов планируется вести в двух направлениях. Первое направление предусматривает выделение с помощью статистических методов наиболее релевантных (значимых) показателей для оценки региональной ситуации и создание такой модификации индекса бюджетной сферы, которая будет содержать уменьшенное число показателей, но при этом отображать региональную ситуацию достаточно точно. Второе направление состоит в дальнейшей разработке специализированных субиндексов, характеризующих новые аспекты бюджетной сферы региона.

Кроме того, разработка интегрального индекса является первым этапом построения инструментария для систем поддержки принятия решений, поскольку оценка ситуации с помощью индексных моделей предоставляет широкие возможности дальнейшего использования в моделировании, прогнозировании и оптимизации исследуемого процесса. Также индексы планируется использовать в качестве критериев оптимальности при сценарном подходе к моделированию региональной политики [SAIT, 2011].

---

### **Благодарности**

Работа опубликована при финансовой поддержке проекта ITHEA XXI Института информационных теорий и приложений FOI ITHEA Болгария [www.ithea.org](http://www.ithea.org) и Ассоциации создателей и пользователей интеллектуальных систем ADUIS Украина [www.aduis.com.ua](http://www.aduis.com.ua).

---

**Библиография**

---

- [Борисова, 2005] Борисова Е.В. Индексный метод комплексной количественной оценки объектов качества сложных объектов / «Математика. Компьютер. Образование». Сборник трудов XII международной конференции. Под ред. Г.Ю. Ризниченко – Ижевск: Научно-издательский центр «Регулярная и хаотическая динамика», 2005. – Т. 1. – С. 249-259.
- [Bandura, 2008] Bandura Romina. A Survey of Composite Indices Measuring Country Performance: 2008 Update. – Office of Development Studies. – United Nations Development Programme, New York, 2008. – 96 p.
- [Adhikari, 2006] Pramod Adhikari. Socio-Economic Indexes for Areas: Introduction, Use and Future Directions. – Australian Bureau of Statistics, 2006. – 48 p.
- [Яшина, 2008] Яшина Н.И, Емельянова О.В. Методика оценки финансового состояния консолидированных бюджетов субъектов РФ // Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. – 2008. - № 5. – С. 154-166.
- [Харазішвілі, 2011] Харазішвілі Ю.М. Моделювання ефективності та інноваційності соціально-економічного розвитку Чернівецької області // Економічні науки. Зб. наук. пр. – 2011. – № 7. – С. 5-24.
- [Handbook, 2008] Handbook on Constructing Composite Indicators: Methodology and User Guide. – OECD, 2008.
- [Омельянчик, 2011] Омельянчик Д.А. Соціально-економічні індекси як комплексна оцінка диференціації регіональної ситуації в Україні // Математичні методи, моделі та інформаційні технології в економіці. Пр. II Міжн. науково-методичної конф. – Чернівці: ДрукАрт, 2011. – С. 222.
- [SAIT, 2011] Омельянчик Д.А. Индекс эффективности бюджетной политики как целевая функция задачи комбинаторной оптимизации структуры регионального бюджета // Системный анализ та інформаційні технології: матеріали Міжнародної науково-технічної конференції SAIT 2011. – К:ННК «ІПСА», 2011. – С.294.

---

**Авторы**

---



**Диана Омелянчик** – аспирантка 1-го года обучения Института кибернетики имени В.М. Глушкова НАН Украины (г.Киев), e-mail: [omelyanchikd@gmail.com](mailto:omelyanchikd@gmail.com).

Сфера научных интересов: математическое моделирование; комбинаторная оптимизация; математическая экономика; агентно-ориентированные модели; региональные бюджеты.



**Леонид Гуляницкий** – доктор технических наук, заведующий отделом Института кибернетики имени В.М. Глушкова НАН Украины, профессор НТУУУ «КПИ» (г. Киев), e-mail: [leonhul.icyb@gmail.com](mailto:leonhul.icyb@gmail.com)

Сферы научных интересов: комбинаторная оптимизация, принятие решений, математическое моделирование и прикладные приложения

## ДВУХУРОВНЕВАЯ МОДЕЛЬ НЕЧЕТКОГО РАЦИОНАЛЬНОГО МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОГО ВЫБОРА

Н.Н.Маляр, В.В. Полищук

**Аннотация:** Предлагается двухуровневая модель нечеткого рационального многокритериального выбора. Рассматривается применение модели для задачи выбора предприятий для инвестирования.

**Ключевые слова:** многокритериальный рациональный выбор, точка удовлетворения, нечеткий анализ, инвестирование.

**ACM Classification Keywords:** H.4.2 Information Systems Applications: Types of Systems: Decision Support.

---

### Введение

Проблема принятия решений – является одной из основных в современной теории и практике управления. Известный американский специалист по управлению Герберт Саймон назвал принятие решений «сутью управленческой деятельности». Рациональное решение – это выбор, базирующийся на здравом смысле, интуиции, накопленном практическом и жизненном опыте.

Решение практических задач не всегда требует единственного решения, а требует совокупности выборов альтернатив, которые можно упорядочить (ранжировать). В задачах упорядочения объектов (альтернатив) используется различный характер исходных данных, что обуславливает различие в постановках задач ранжирования. Обработка такой информации связана с двумя принципиальными вопросами. Во–первых, с определением способа учета многокритериальности [Воронин, 2010]. Во–вторых, необходимо определить способ сравнения альтернатив по одному критерию для случая, когда оценка альтернатив является нечеткой [Орловский, 1981]. В данной работе предложена двухуровневая модель, которая позволяет на нижнем уровне учитывать нечеткие оценки альтернатив по каждому из некоторого конечного множества критериев, а на верхнем – оценивать альтернативы при помощи заданного нечеткого «целевого» множества.

---

### Постановка задачи

Пусть объекты для выбора образуют множество  $P = \{P_1, P_2, \dots, P_p\}, p \geq 1$ , (далее не будем различать альтернативу и ее номер). Каждая альтернатива оценивается по конечному множеству критериев  $K = \{K_1, K_2, \dots, K_m\}, m \geq 2$ . Задано числовые векторы отчетных данных  $M(P_j) = (M_{ij}) / i = \overline{1, m}; j = \overline{1, p}$ , где  $M_{ij}$  - нечеткие числа с функцией принадлежности  $\mu_{ij}$ , которые интерпретируются как степень достоверности оценки  $j$ -ой альтернативы по  $i$ -му критерию.

Задача состоит в определении подмножества упорядоченных альтернатив из  $P$ , с учетом нечетких «целевых» множеств.

---

### Теоретические основания

В современной практике различают два типа нечетких множеств [Батыршин, 2007]:  
1. Нечеткие множества, которые определены на некоторой числовой шкале. Например, на интервале

действительных чисел. В таких случаях нечеткие множества это нечеткие величины. Примерами нечетких величин являются нечеткие числа и нечеткие интервалы.

2. Нечеткие множества определены на нечисловом множестве  $X$ . Например, на множестве целей и альтернатив, экспертных оценок, бинарных отношений между объектами. Нечеткие множества такого типа - это множества  $A = \{x, \mu(x)\}$ , где  $x$  - подмножество объектов из  $P$ ,  $\mu(x)$  - функция принадлежности подмножества  $x$  множеству подмножеств из  $X$  (булеану  $X$ ).

Рациональный выбор базируется на поиске «удовлетворительного» (для лица, принимающего решение – ЛПР) решения, которое определяется «точкой удовлетворения».

**Определение** [Маляр, 2005]. "Точкой удовлетворения" называется альтернатива, в которой оценки по всем критериям удовлетворяют ЛПР.

---

### Описание схемы решения задачи

---

Рассмотрим задачу выбора «наилучшего» предприятия (группы предприятий) для инвестиционных целей, по тем критериям  $K' = \{K_1, K_2, \dots, K_n\}, n \geq 2$ , для которых задано "точку удовлетворения" с вектором оценок  $T^* = (t_1, t_2, \dots, t_n)$  по всем критериям из  $K'$ .

Идея решения следующая. Строятся нечеткие множества критериев  $A_i (i = \overline{1,3})$ , с учетом степени удовлетворения "точки удовлетворения":

1)  $A_1$  - это подмножество критериев  $K_1''$  из  $K'$ , значения которых являются «лучшими» для всех критериев по их оценкам (для всех критериев не худшими, хотя бы по одному критерию – лучшими). То есть  $K_1''$  содержит критерии, которые определяют альтернативы, доминирующие "точку удовлетворения" по Парето [Волошин, 2010].

К критериям, которые описываются нечетким множеством  $A_1$ , можно отнести коэффициент финансовой независимости. Коэффициент финансовой независимости характеризует степень независимости предприятия от внешних заимствований. Он определяется как отношение общей суммы собственных средств к итогу баланса. Этот коэффициент характеризует долю собственного капитала в общей сумме средств, авансированных в его деятельность. Чем выше значение этого коэффициента, тем предприятие финансово более устойчиво и независимо от внешних кредиторов и инвесторов. Другим критерием можно указать коэффициент маневренности собственных средств, который определяется как разница между собственным капиталом и необратимыми активами, разделенная на собственный капитал. Приведенный показатель характеризует мобильность собственных источников средств с финансовой точки зрения. Желательно, чтобы коэффициент маневренности несколько возрастал.

2) Множество  $A_2$  определяет альтернативы (предприятия), оценки которых по критериям из  $K_2''$  являются «близкими» к "точке удовлетворения".

Для примера можно привести коэффициент «текущей ликвидности», который определяет уровень оборотных активов для полной ликвидации своих долговых обязательств. При низколиквидных активах финансовое состояние предприятия может ухудшиться, а слишком высокая ликвидность будет свидетельствовать о недостатке в использовании текущих активов.

3) Множество  $A_3$  определяется «симметрично»  $A_1$ , с учетом степени «худшести» по отношению к "точке удовлетворения". Данное нечеткое множество может описываться, например, коэффициентом периода

оборота кредиторской или дебиторской задолженности. Период оборота определяется в днях, и чем меньше период, тем лучше оценка.

По построению  $K_1'' \cup K_2'' \cup K_3'' = K'$  и предположим, что  $K_1''$ ,  $K_2''$ ,  $K_3''$  попарно не пересекаются.

Пусть задано "точку удовлетворения" и ее вектор оценок  $T^*$ . Рассмотрим оценку "точки удовлетворения" по  $j$ -му критерию (который определяет множество  $A_j$ ) со значением  $t_j$ . Если значения критериев из множества  $K_1''$  являются нечеткими и задаются с помощью треугольной функции принадлежности, то альтернативы, которые определяются множеством  $A_j$  имеют оценки, попадающие в интервал  $[t_j^1, t_j^2]$ , где  $\mu^*$  - определяет значение функции принадлежности, соответствующее "точке удовлетворения" (рис.1).

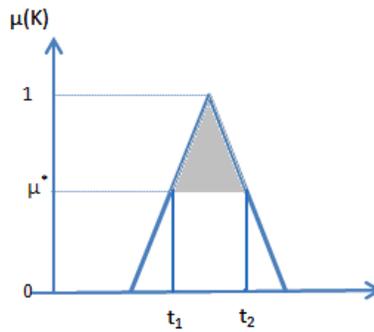


Рис.1.

При s-образной функции принадлежности, в которой  $t_j$  - оценка "точки удовлетворения" по  $j$ -му критерию, интервал  $[t_j, \max K_i^{P_j}]$  будет описывать нечеткое множества  $A_j$ , где  $K_i^{P_j}$  - значение  $j$ -го предприятия, по данному критерию (рис.2):

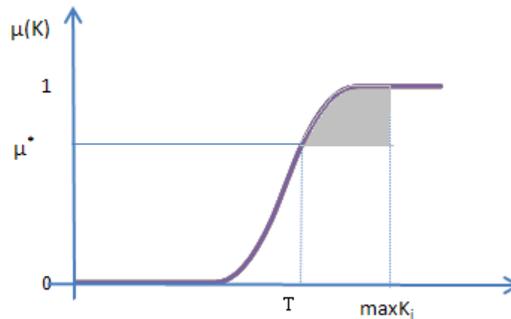


Рис.2.

Опишем определения функции принадлежности для нечетких подмножеств множества  $A$ .

Для нечеткого множества  $A_j$  определим функцию принадлежности следующим образом:

$$Z_{K_i, P_j}^1 = \begin{cases} \frac{|\mu(t_i) - \mu_{P_j}(K_i)|}{\max_j \mu_{P_j}(K_i) - \mu(t_i)}, & \mu_{P_j}(K_i) \geq \mu(t_i), \\ 0, & \mu_{P_j}(K_i) < \mu(t_i), \end{cases} \quad (1)$$

где  $\mu(t_i)$  - значение функции принадлежности "точки удовлетворения" для  $i$ -го критерия,  $\mu_{P_j}(K_i)$  - функция принадлежности  $i$ -го критерия, для  $j$ -го предприятия,  $i = \overline{1, n}; j = \overline{1, p}$ .

Для нечеткого множества  $A_2$  функция принадлежности находится в некоторой  $\varepsilon$ -окрестности относительно заданной "точки удовлетворения". Например, для треугольной функции принадлежности интервал значений оценок следующий –  $[t_1 - \varepsilon, t_1 + \varepsilon] \cup [t_2 - \varepsilon, t_2 + \varepsilon]$ . Аналогично для линейных функций принадлежности запишем интервал значений оценок –  $[T - \varepsilon, T + \varepsilon]$ .

Далее для нечеткого множества  $A_2$  определим функцию принадлежности следующим образом:

$$Z_{K_i, P_j}^1 = 1 - \frac{|\mu(t_i) - \mu_{P_j}(K_i)|}{\max\{\mu(t_i) - \min_j \mu_{P_j}(K_i); \max_j \mu_{P_j}(K_i) - \mu(t_i)\}}.$$

$$Z_{K_i, P_j}^2 = \begin{cases} Z_{K_i, P_j}^1, & Z_{K_i, P_j}^1 > \alpha, \\ 0, & Z_{K_i, P_j}^1 \leq \alpha, \end{cases} \quad (2)$$

где  $\alpha$  - порог,  $\alpha \in [0; 1]$ .

Каждая такая величина является относительной оценкой близости значения "точки удовлетворения" к значению соответствующего критерия.

Нечеткое множество  $A_3$  описывается аналогично  $A_1$  по множеству критериев  $K_3''$ , для которых оценки значений могут быть хуже относительно значения "точки удовлетворения". Нижнюю границу выбираем минимальное значение по всем предприятиям в конкретном критерии. Для треугольной функции принадлежности интервал значений оценок следующий –  $[\min_j K_i^{P_j}, t_1] \cup [t_2, \max_j K_i^{P_j}]$ , для линейных функций принадлежности интервал значений оценок будет –  $[\min_j K_i^{P_j}, T]$ .

Определим функцию принадлежности для нечеткого множества  $A_3$ :

$$Z_{K_i, P_j}^3 = \begin{cases} \frac{|\mu(t_i) - \mu_{P_j}(K_i)|}{\mu(t_i) - \min_j \mu_{P_j}(K_i)}, & \mu_{P_j}(K_i) \leq \mu(t_i), \\ 0, & \mu_{P_j}(K_i) > \mu(t_i). \end{cases} \quad (3)$$

На основании величин  $Z_{K_i, P_j}^1, Z_{K_i, P_j}^2, Z_{K_i, P_j}^3$ , выбираем предприятия в порядке убывания значений этих величин, исключая те, которые получили нулевые значения, формируя соответствующие множества  $P^1 = \{P_1, P_2, \dots, P_j\}$ ,  $P^2 = \{P_1, P_2, \dots, P_j\}$ ,  $P^3 = \{P_1, P_2, \dots, P_k\}$ . Пересечение оставшихся подмножеств объектов с учетом подмножеств критериев  $K_1'', K_2'', K_3''$  и будет образовывать множество тех объектов, которые удовлетворяют ЛПП для последующего упорядочения (ранжирования).

### Практическое применение

Пусть имеем множество предприятий  $P = (P_1, P_2, \dots, P_5)$ , которые нужно оценить. Множество критериев  $K' = (K_1, K_2, K_3, K_4, K_5)$  - следующие [Маляр, 2012]:

1. Коэффициент финансовой независимости –  $K_1$ . Функцию принадлежности (ФП) построим следующим образом:

$$\mu(K_1; 0; 1; 2) = \begin{cases} 0, & \text{если } K_1 \leq 0; \\ K_1, & \text{если } 0 < K_1 \leq 1; \\ 2 - K_1, & \text{если } 1 < K_1 < 2; \\ 0, & \text{если } K_1 \geq 2. \end{cases}$$

2. Коэффициент маневренности собственных средств –  $K_2$ . ФП можем записать:

$$\mu(K_2; 0; 0,5; 1) = \begin{cases} 0, & \text{если } K_2 \leq 0; \\ 2K_2, & \text{если } 0 < K_2 \leq 0,5; \\ 2 - 2K_2, & \text{если } 0,5 < K_2 < 1; \\ 0, & \text{если } K_2 \geq 1. \end{cases}$$

3. Коэффициент текущей ликвидности –  $K_3$ . ФП запишем следующим образом:

$$\mu(K_3; 0,5; 1) = \begin{cases} 0, & \text{если } K_3 \leq 0,5; \\ 2(2K_3 - 1)^2, & \text{если } 0,5 < K_3 \leq 0,75; \\ 1 - 8(1 - K_3)^2, & \text{если } 0,75 < K_3 < 1; \\ 1, & \text{если } K_3 \geq 1. \end{cases}$$

4. Коэффициент периода оборачиваемости дебиторской задолженности –  $K_4$ . ФП вычисляется:

$$\mu(K_4; 30; 120) = \begin{cases} 0, & \text{если } K_4 \leq 30; \\ \frac{K_4 - 30}{90}, & \text{если } 30 < K_4 < 120; \\ 1, & \text{если } K_4 \geq 120. \end{cases}$$

5. Коэффициент периода оборота кредиторской задолженности –  $K_5$ . ФП имеет вид:

$$\mu(K_5; 30; 120) = \begin{cases} 0, & \text{если } K_5 \leq 30; \\ \frac{K_5 - 30}{90}, & \text{если } 30 < K_5 < 120; \\ 1, & \text{если } K_5 \geq 120. \end{cases}$$

Для каждого из критериев ЛПР определяет оценки для "точки удовлетворения" –  $T = (t_1, t_2, t_3, t_4, t_5)$ .

Множество критериев  $K'$  разобьем на подмножества  $K''$  по определению нечеткого множества

$$A = \{A_1, A_2, A_3\}: K_1'' = \{K_1, K_2\}, K_2'' = \{K_3\}, K_3'' = \{K_4, K_5\}.$$

Значение оценок предприятий по каждому критерию и значение "точек удовлетворения" запишем в таблицу 1.

Таблица 1

$K'$	$K''$	$T$	$P_1$	$P_2$	$P_3$	$P_4$	$P_5$
$K_1$	$K_1''$	0,5 или 1,5	0,4	1,2	0,7	1,6	0,8
$K_2$		0,3 или 0,7	1	0,35	0,4	0,2	0,55
$K_3$	$K_2''$	0,9	0,95	0,93	0,81	0,77	1
$K_4$	$K_3''$	50	45	40	50	90	30
$K_5$		50	60	25	45	60	35

Следующим шагом с помощью функций принадлежности вычислим значения для "точек удовлетворения" по всем критериям  $\mu(t_i), i = \overline{1,5}$ , и значения всех предприятий по каждому критерию  $\mu_{P_j}(K_i), i = \overline{1,5}, j = \overline{1,5}$ . Результат вычислений запишем в табл. 2:

Таблица 2

	$\mu(T)$	$P_1$	$P_2$	$P_3$	$P_4$	$P_5$
$\mu(K_1)$	0,5	0,4	0,8	0,7	0,4	0,8
$\mu(K_2)$	0,6	0	0,7	0,8	0,4	0,9
$\mu(K_3)$	0,92	0,98	0,96	0,71	0,58	1
$\mu(K_4)$	0,22	0,17	0,11	0,22	0,67	0
$\mu(K_5)$	0,22	0,33	0	0,17	0,6	0,06

Далее вычисляем множество значений величин по формулам (1) - (3) соответственно по множеству критериев  $K_1'', K_2'', K_3''$ , и значения  $\alpha = 0,7$  (табл. 3):

Таблица 3

	$P_1$	$P_2$	$P_3$	$P_4$	$P_5$
$Z_{K_1}^1$	0	1	0,67	0	1
$Z_{K_2}^1$	0	0,33	0,67	0	1
$Z_{K_3}^2$	0,82	0,88	0	0	0,76
$Z_{K_4}^3$	0,23	0,5	0	0	1
$Z_{K_5}^3$	0	1	0,23	0	0,73

На основании данных табл.3, для каждого критерия строим соответствующие подмножества:  $P_{K_1}^1 = \{P_2, P_5, P_3\}$ ,  $P_{K_2}^1 = \{P_5, P_3, P_2\}$ ,  $P_{K_3}^2 = \{P_2, P_1, P_5\}$ ,  $P_{K_4}^3 = \{P_5, P_2, P_1\}$ ,  $P_{K_5}^3 = \{P_2, P_5, P_3\}$  и их пересечение  $P_{K_1}^1 \cap P_{K_2}^1 \cap P_{K_3}^2 \cap P_{K_4}^3 \cap P_{K_5}^3 = \{P_2, P_5\}$ . В результате получаем предприятия  $P_2, P_5$ , которые по своим финансовым показателям удовлетворяют ЛПР. Их можно упорядочить относительно интегральной функции принадлежности, используя свертки, приведенные в работе [Маляр, 2005].

**Заклучение**

---

Задание разных типов нечетких множеств связано с тем обстоятельством, что не для всех критериев, которые их определяют, выполняется условие их монотонности. То есть, чем больше (меньше), тем лучше. Как правило, для функций оценок критериев условие монотонности не выполняется. Поэтому представляется целесообразным использование подхода с «точкой удовлетворения».

---

**Благодарности**

---

Работа опубликована при финансовой поддержке проекта ITHEA XXI Института информационных теорий и приложений FOI ITHEA Болгария [www.ithea.org](http://www.ithea.org) и Ассоциации создателей и пользователей интеллектуальных систем ADUIS Украина [www.aduis.com.ua](http://www.aduis.com.ua).

Авторы выражают благодарность проф. Волошину А.Ф. за консультации при подготовке статьи.

---

**Библиография**

---

- [Батыршин, 2007] Нечеткие гибридные системы: Теория и практика / [Батыршин И.З., Недосекин А.О., Стецко А.А. и др.]; под ред. Ярушкиной Н.Г. – М.: Физматлит, 2007. – 208 с.
- [Воронин, 2011] Воронин А.Н., Зиатдинов Ю.К., Куклинский М.В. Многокритериальные решения: модели и методы. – К.: Национальный авиационный университет, 2011. – 348 с.
- [Орловский, 1981] Орловский С.А. Проблемы принятия решений при нечеткой исходной информации. – Москва: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1981. – 208 с.
- [Маляр, 2005] Маляр М.М. Описання задач вибору на мові розмитих множин/ Маляр М.М. // Вісник Київського університету. Вип.4. Серія фіз.-мат. Науки, Київ, 2005. – С. 197-201.
- [Волошин, 2010] Волошин О.Ф., Мащенко С. О. Моделі та методи прийняття рішень: навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. – К.: Видавничо-поліграфічний центр «Київський університет», 2010. – 336 с.
- [Маляр, 2012] Маляр М.М. Нечітка модель оцінки фінансової кредитоспроможності підприємств/ Маляр М.М., Поліщук В.В.// Східно-Європейський журнал передових технологій. Сер. Математика і кібернетика – фундаментальні і прикладні аспекти. – Харків, 2012. - №3/4(57). – С.8-16.
- 

**Сведения об авторах**

---

**Маляр Николай Николаевич** - декан математического факультета, заведующий кафедрой кибернетики и прикладной математики Ужгородского национального университета, кандидат технических наук, доцент, Украина, Ужгород, ул. Подгорная, 46; e-mail: [malyarmm@gmail.com](mailto:malyarmm@gmail.com)

**Поліщук Владимир Владимирович** - аспирант кафедри інформаційних управляючих систем і технологій, факультета інформаційних технологій Закарпатського державного університету, асистент, Украина, Ужгород, ул. Корзо, 15/9; e-mail: [v.polishchuk87@gmail.com](mailto:v.polishchuk87@gmail.com)

## ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ И ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ НА ФИНАНСОВОМ РЫНКЕ

Александр Берзлев

**Аннотация:** В статье предложена схема для принятия решений на бирже, с использованием комплекса адаптивных моделей прогнозирования. Данный комплекс состоит из комбинированных моделей селективного и гибридного типов, построенных на базе адаптивных полиномиальных моделей. Также предлагается метод оценки качества моделей принятия торговых решений на валютном рынке.

**Ключевые слова:** временной ряд, прогнозирование, модель принятия решений.

**ACM Classification Keywords:** I. Computing Methodologies; H.4.2 Information Systems Applications: Types of Systems: Decision Support.

---

### Введение

Задача прогнозирования будущих значений временных рядов на основании их ретроспективных данных является основой финансового планирования деятельности хозяйственных субъектов. Прогнозирование временных рядов широко применяется на фондовом рынке, в банковском деле, страховом бизнесе, сфере электронной коммерции, торговли и маркетинга. Это одна из самых сложных, но в то же время наиболее востребованных задач, поскольку часто является незаменимой составляющей принятия управленческих решений и организации процесса управления экономикой в целом [Stevenson, 1985]. С развитием информационных технологий значительно расширился круг подходов к прогнозированию временных рядов, появилось немало модификаций традиционных моделей, возникли концептуально новые методы, которые способны выполнять обработку больших объемов информации, оценивать и отбирать только те модели, использование которых обусловлено целями прогнозирования и дальнейшего планирования. Некоторые теоретические аспекты построения интеллектуальных инструментов Time-Series Data Mining описаны в работах [Чубукова, 2006], [Vercellis, 2009].

В данной работе предложена схема прогнозирования и принятия решений на валютном рынке, которая включает многоуровневый комплекс адаптивных моделей прогнозирования и модель принятия торговых решений. Эта модель помогает минимизировать ошибки в управлении капиталом и максимизировать прибыльность сделок. Кроме того, предлагается универсальный метод оценки ее качества, который анализирует потенциал прибыльности стратегий на конкретном временном ряде. В работах [Лукашин, 2003], [Бокс, Дженкинс, 1974] исследованы адаптивные полиномиальные модели, приведены принципы построения комбинированных моделей разных типов. Работы [Берзлев, 2009], [Берзлев, Маляр, 2011], [Берзлев, 2011] посвящены разработке многоуровневых алгоритмов прогнозирования на основе комплекса из адаптивных моделей, используя методы классификации. В работах также приводится анализ различных адаптивных комбинированных моделей селективного и гибридных типов.

---

### Постановка задачи

Рассмотрим сначала общую постановку задачи прогнозирования. Пусть значения временного ряда определены в дискретные моменты времени  $t = 0, 1, \dots, n$ , тогда временной ряд можно записать в виде:

$$Z = (z_0, z_2, \dots, z_n) = (z(0), z(1), \dots, z(n)). \quad (1)$$

В данной работе будем рассматривать временные ряды валютных котировок.

Рассмотрим две задачи прогнозирования, которые возникают в этом случае:

- построение такой модели  $M$ , которая для любого  $s$ ,  $s > 0$ , определяла бы прогнозное значение  $\hat{z}_s$  в момент  $n$ , на основании множества данных  $\{z_i | i \leq n\}$ , и ошибка прогноза была бы минимальной. Прогноз, который рассчитывается в момент  $n$  на  $\tau$  шагов вперед обозначим через  $\hat{z}_\tau(n)$ .
- построение такой модели, которая бы определяла прогноз знака прироста значения ряда на одну точку вперед. Данная задача используется для определения направления движения цены валютных пар [Лукашин, 2003] и может использоваться для определения точек разворота, т.е. таких точек, которые указывают дальнейшее направление движения цены.

Каждая из приведенных задач в свою очередь включает несколько основных этапов, а именно: анализ структуры и первичная обработка временного ряда, выбор методов прогнозирования, реализация прогноза с помощью моделей прогнозирования, оценка качества прогнозирования и, как следствие, построение модификаций моделей с учетом этой оценки.

Ставится задача построения интегрированной многоуровневой модели прогнозирования временных рядов (ИММП) и модели принятия торговых решений на рынке (МПТР), а также оценка их эффективности.

---

### **Интегрированная многоуровневая модель прогнозирования**

---

Интегрированная многоуровневая модель может сочетать в себе большое количество разнотипных моделей прогнозирования, качество работы которых оценивается в каждой точке временного ряда. Рассмотрим алгоритм построения интегрированной многоуровневой модели прогнозирования (ИММП).

Предположим, что каким-то образом уже построено множество  $I_{PS}$  моделей прогнозирования  $M_1, M_2, \dots, M_k$ , каждой из которых соответствует общий набор параметров, назовем его общим или программным. В данной работе была построена ИММП на основе комплекса адаптивных полиномиальных моделей, а именно: моделей простого экспоненциального сглаживания Брауна и адаптивного экспоненциального сглаживания Тригга-Лича с контрольным скользящим сигналом. Рассматривались модели нулевого, первого и второго порядков. Здесь в общем случае принимается гипотеза, что исследуемый процесс является полиномом  $n$ -го порядка и с помощью метода экспоненциального сглаживания и прогнозирования можно вычислить коэффициенты предсказывающего полинома через экспоненциальные средние соответствующих порядков [Лукашин, 2003]. Будем считать, что задан механизм адаптации моделей  $M_i$  из общего множества  $I_{PS}$ ,  $i = 1, 2, \dots, k$ , через уточнение их параметров в каждой точке входного ряда в соответствии с погрешностями прогнозов на предыдущих шагах. Отметим, что начальные параметры моделей задаются априорно, исходя из особых характеристик каждой из моделей прогнозирования или рассчитываются на экспериментальном интервале ряда.

На первом шаге по определенному критерию строится подмножество множества  $I_{PS}$ ,  $I_{BS} \subset I_{PS}$ .

Множество  $I_{BS}$  назовем основным или базовым. Основное множество состоит из тех моделей, которые дают наиболее точные прогнозы на исследуемом интервале временного ряда. Одним из таких критериев является D-критерий, который предлагается в работе [Лукашин, 2003]. Согласно этому критерию в каждой фиксированной точке  $p$  осуществляется отбор тех моделей, которые удовлетворяют неравенство:

$$D_i(\tau) \leq m D_{\min}(\tau), \quad (2)$$

где  $D_i(\tau) = \frac{1}{p-c+1} \sum_{j=0}^{p-c} (\hat{z}_\tau^i(p-\tau-j) - z_{p-j})^2$ ,  $\tau$  – период прогноза, т.е. единица времени, на которую делается прогноз,  $c$  – период предыстории,  $\hat{z}_\tau^i(p-\tau-j)$  – прогноз, рассчитанный в момент  $(p-\tau-j)$  на  $\tau$  шагов вперед по модели  $M_i$ ,  $i = \overline{1, k}$ ,  $D_{\min}(\tau) = \min_{i=1, k} D_i(\tau)$ ,  $m \in \mathbb{R}$ .

Тогда множество основных моделей будет иметь вид:  $I_{BS} = \{I_i \in I_{PS} \mid D_i(\tau) \leq m D_{\min}(\tau), i = \overline{1, k}\}$ .

В D-критерии нужно выбирать такое значение параметра  $m$ , которое бы обеспечивало отбор некоторого числа наиболее точных моделей из общего множества. Можно утверждать, что с увеличением периода прогноза  $\tau$  нужно увеличивать и параметр  $m$ , поскольку увеличиваются погрешности прогноза. Кроме того, следует подчеркнуть тот факт, что в случае среднесрочного прогнозирования, точность прогноза возрастает, если значение  $m$  выбирать не фиксированным, а адаптивно определяющемся на интервале, который предварительно оценивается в экспериментальной области временного ряда с учетом изменения периода прогноза  $\tau$ . Таким образом, в каждой точке ряда формируется множество прогнозов с разным уровнем точности. Специальные методы селекции, такие как (2), позволяют сформировать подмножество моделей  $I_{BS}$ , наиболее точных на исследуемом участке временного ряда. Существующая система адаптации моделей к динамике временного ряда обеспечивает их конкуренцию.

На следующем шаге путем селекции или гибридизации моделей из множества  $I_{BS}$  строятся адаптивные комбинированные модели селективного и гибридного типов. Прогноз адаптивной комбинированной модели гибридного типа рассчитывается как свертка прогнозов, которые являются результатом работы моделей из основного множества. В работе [Лукашин, 2003] веса прогнозов предлагается выбирать адаптивными, обратно пропорциональными величине  $B_i$ , которая рассчитывается по формуле (3). Работа комбинированных моделей селективного типа заключается в отборе из основного множества одной модели. Этот отбор реализуется на основе определенного критерия селекции. Параметры селективной модели имеют адаптивный характер. Например, в работе [Лукашин, 2003] предлагается, так называемый, В-критерий, который задается по формуле:

$$B_i = (1 - \alpha_B) B_{i-1} + \alpha_B e_\tau^2(t - \tau), \quad (3)$$

где  $0 < \alpha_B \leq 1$  – параметр сглаживания, а  $e_\tau(t - \tau)$  – погрешность прогноза, который выполняется в момент  $(t - \tau)$  на  $\tau$  шагов вперед.

В данной работе используется R-критерий отбора, суть которого заключается во введении коэффициентов  $\lambda_i$  для каждой модели из общего множества,  $M_i \in I_{PS}$ ,  $i = \overline{1, k}$ . Пусть  $z_p$  – последняя текущая точка временного ряда (1). Осуществим выбор моделей в данной точке. Для этого рассмотрим интервал  $[p-c, p]$ , где  $c$  – период предыстории. В каждой точке этого интервала осуществляется отбор наиболее точных моделей за D-критерием и если  $i$ -вая модель попадает в основное множество, то соответствующий ей коэффициент  $\lambda_i$  возрастает на единицу. Модель, коэффициент которой в момент  $p$  оказался максимальным, выбирается для расчета прогноза по адаптивной комбинированной модели. Если же существуют несколько моделей с одинаковыми максимальными коэффициентами, то выбирается та из них, которая получила прирост коэффициента позже остальных. При переходе к очередному интервалу  $[p-c+1, p+1]$  все коэффициенты  $\lambda_i$ ,  $i = \overline{1, k}$ , обнуляются и их расчет начинается сначала.

Использование представленного критерия, а также адаптация значения  $m$  в D-критерии (2) увеличивает точность прогнозирования по сравнению с другими подходами [Берзлев, 2011].

Важной проблемой в задаче прогнозирования является построение модели, которая бы адекватно отражала динамику временного ряда. Сложность анализа именно финансовых временных рядов связана с наличием большого количества динамических связей, а также влияния внешних факторов, которые могут определенным образом изменить структуру этих связей. Тем не менее, используя результаты работы реализованных моделей прогнозирования и адаптируя наборы параметров каждой из этих моделей к динамике ряда, можно построить эффективную модель принятия решений на рынке.

### Построение модели принятия решений для торговли на валютном рынке

Под моделью принятия торговых решений будем понимать совокупность технических инструментов и правил, которыми пользуется трейдер в работе на валютном рынке. Важными составляющими модели являются стратегии нахождения точек разворота и определения моментов входа в рынок и выхода из него. Ниже предлагается модель принятия торговых решений, основанная на интегративной многоуровневой модели прогнозирования.

На первом шаге реализуем включенные в основное множество модели прогнозирования на экспериментальном интервале временного ряда, производим адаптацию параметров в каждой точке. В общее множество включаем адаптивные полиномиальные модели нулевого, первого и второго порядков. Дальше, на основании D-критерия (2) осуществляется формирование основного множества моделей. На следующем этапе реализуются адаптивная гибридная и комбинированная селективная модели на основании определенных критериев селекции, например (3). На следующем шаге формируется множество  $\tilde{I}_{AS}$ , которое состоит из моделей основного множества, а также моделей высших уровней, в частности адаптивных комбинированных моделей гибридного и селективного типов. Пусть  $\hat{z}_p^j(n)$  – прогноз, который рассчитывается в точке  $n$  на  $p$  шагов вперед на основании  $j$ -й модели из множества  $\tilde{I}_{AS}$ , где  $p = \overline{1, \mu}$ ,  $j = \overline{1, q}$ ,  $\mu$  – горизонт прогнозирования, т.е. число периодов в будущем, которые покрывает прогноз,  $q$  – мощность множества  $\tilde{I}_{BS}$ . Для каждой модели прогнозирования поставим в соответствие погрешности:

$$E_j^p = \frac{1}{l} \sum_{i=n-l+1}^n \left( 1 - \frac{|\hat{z}_p^j(i) - z_{i+p}|}{z_{i+p}} \right). \quad (4)$$

Оптимальным прогнозом  $\hat{z}_p^*(n)$  для каждого фиксированного  $p = \overline{1, \mu}$  будем считать прогноз, который реализуется той моделью из множества  $\tilde{I}_{AS}$ , которая максимизирует выражение (4),  $\max_j E_j^p$ ,  $j = \overline{1, q}$ ,  $l$  – период предыстории,  $l = const$ . Расчет оптимальных прогнозов можно осуществлять и другими способами, например, используя свертку прогнозов.

Предложенная МПТР находит моменты входа на рынок и выхода из него таким образом:

- если трейдер находится в долгой позиции, предлагается закрывать текущую позицию в точке  $z_n$ , когда для каждого  $p = \overline{1, \mu}$ ,

$$z_n > \hat{z}_p^*(n); \quad (5)$$

- если трейдер находится в короткой позиции, предлагается закрывать позицию в точке  $z_n$ , если для всех  $p = \overline{1, \mu}$  выполняется условие

$$z_n < \hat{z}_p^*(n). \quad (6)$$

Расчет погрешностей по формуле (4) можно производить в каждой точке временного ряда или периодически с определенным интервалом.

### Построение коэффициентов накопления для оценки качества модели принятия торговых решений на рынке

Пусть на основе некоторой модели определяются точки разворота временного ряда (например, используя условия (5)-(6)). При открытии или закрытии в данных точках позиций изменяется первоначальная величина денежных или товарных запасов трейдера с  $S^0$  на  $S^1$ . Тогда  $S^1 = NS^0$  или  $N = \frac{S^1}{S^0}$ , где  $N$  – коэффициент накопления. Если  $N > 1$ , то капитал увеличился, если же  $N < 1$  – уменьшился.

Для определения абсолютной оценки качества принимаемых решений на фиксированном временном ряде предлагается алгоритм, который заключается в определении коэффициента накопления  $N$ , путем выполнения в каждой точке максимума операций продажи, а в точках минимума операций покупки наиболее эффективным образом.

Точками покупки и продажи будем считать моменты открытия и закрытия позиций на покупку и соответственно продажу. В данной работе предлагается алгоритм определения точек покупки и продажи при помощи скользящего выбора трех последовательных точек из временного ряда (1) и определении относительно второй точки, назовем ее значимой, знаков правой и левой разностей (определения (1)-(3)). В этом случае справа и слева от значимой точки размещено по одной разности, поэтому этот метод поиска точек покупки и продажи назовем алгоритмом  $Q(1,1)$ . Понятно, что в этом случае точки покупки будут совпадать с точками минимума, а точки продаж с точками максимума. Значимые точки ряда в свою очередь можно считать точками разворота рынка.

Рассмотрим временной ряд (1). Пусть с помощью алгоритма  $Q(1,1)$  выбираются значимые точки этого ряда, т.е. точки минимума и точки максимума. Обозначим все точки минимума или покупок через  $\hat{z}_1, \hat{z}_2, \dots, \hat{z}_r$ , а все точки максимума или продаж через  $\check{z}_1, \check{z}_2, \dots, \check{z}_r$ . Приведем пример: пусть для временного ряда (1)  $Z = (z_0, z_1, \dots, z_n)$  с помощью алгоритма  $Q(1,1)$  было определено, что в точке  $z_2$  нужно открыть позицию на покупку, а в точке  $z_5$  – закрыть позицию продажей. Тогда  $z_2$  будем считать первой точкой покупки и запишем  $\hat{z}_1 = z_2$ , а  $z_5$  будем считать первой точкой продажи и запишем  $\check{z}_1 = z_5$ . Таким образом, с помощью алгоритма  $Q(1,1)$  образуются пары операций покупки-продажи  $(\hat{z}_k, \check{z}_k)$ ,  $k = 1, 2, \dots, r$ ,  $r$  – количество точек покупки или продажи.

Если  $\hat{z}_k = z_i$  – точки покупки, а  $\check{z}_k = z_j$  – точки продажи для ряда  $Z = (z_0, z_1, \dots, z_n)$ ,  $i < j$ ,  $i = 0, 1, \dots, n$ ,  $j = 0, 1, \dots, n$ ,  $k = 1, 2, \dots, r$ , тогда

$$S^r = S^0 \left( 1 + \frac{\check{z}_1 - \hat{z}_1}{\hat{z}_1} \right) \left( 1 + \frac{\check{z}_2 - \hat{z}_2}{\hat{z}_2} \right) \dots \left( 1 + \frac{\check{z}_r - \hat{z}_r}{\hat{z}_r} \right) = S^0 \frac{\check{z}_1}{\hat{z}_1} \frac{\check{z}_2}{\hat{z}_2} \dots \frac{\check{z}_r}{\hat{z}_r}$$

и коэффициент накопления определяется так:

$$N = \frac{\bar{z}_1 \bar{z}_2 \dots \bar{z}_r}{\underline{z}_1 \underline{z}_2 \dots \underline{z}_r} = \prod_{k=1}^r \frac{\bar{z}_k}{\underline{z}_k}. \quad (7)$$

где в числителе  $\bar{z}_1, \bar{z}_2, \dots, \bar{z}_r$  – цены продаж, а в знаменателе  $\underline{z}_1, \underline{z}_2, \dots, \underline{z}_r$  – цены покупок.

Абсолютным потенциалом ряда называется такое число  $N$  (7), где  $\bar{z}_1, \bar{z}_2, \dots, \bar{z}_r$  – все точки максимума, а  $\underline{z}_1, \underline{z}_2, \dots, \underline{z}_r$  – все точки минимума, которые находятся с помощью алгоритма  $Q(1,1)$ .

С помощью рассмотренной в предыдущем параграфе МПТР тоже находятся точки покупки и продажи (условия (5)-(6)). МПТР может быть построена не только на основе введенных условий (5)-(6). Могут быть разработаны другие условия определения точек разворота. Если считать  $\bar{z}_1, \bar{z}_2, \dots, \bar{z}_r$  – точками продажи, а  $\underline{z}_1, \underline{z}_2, \dots, \underline{z}_r$  – точками покупки, которые определяются на основе некоторой МПТР, тогда (7) будет называться коэффициентом накопления этой МПТР.

Пусть рассматривается две МПТР  $A_1$  и  $A_2$ , по каждой из которых получены коэффициенты накопления, обозначим их через  $N^{A_1}$  и  $N^{A_2}$  соответственно, то эффективность этих МПТР можно сравнить по следующим формулам:  $\Phi(A_1, A_2) = \frac{N^{A_1}}{N^{A_2}}$  или  $F(A_1, A_2) = \frac{N^{A_1}}{N^{A_2}} \cdot 100\%$ .

**Определение 1.** Разностным рядом или рядом приростов временного ряда (1) будем называть ряд  $\Delta z_0, \Delta z_1, \dots, \Delta z_{n-1}$ , где  $\Delta z_i = \Delta z_{i+1} - \Delta z_i$ ,  $i = 1, 2, \dots, n-1$ .

**Определение 2.** Точка максимума  $\bar{z}_k$  алгоритма  $Q(1,1)$  абсолютного потенциала ряда – это такая точка временного ряда (1), что  $\bar{z}_k = z_i$  и правая разность  $\Delta z_i < 0$ , а левая разность  $\Delta z_{i-1} > 0$ ,  $k = 1, 2, \dots, r$ .

**Определение 3.** Точка минимума  $\underline{z}_k$  алгоритма  $Q(1,1)$  абсолютного потенциала ряда – это такая точка временного ряда (1), что  $\underline{z}_k = z_i$  и правая разность  $\Delta z_i > 0$ , а левая разность  $\Delta z_{i-1} < 0$ ,  $k = 1, 2, \dots, r$ .

**Определение 4.** Абсолютным потенциалом ряда называется показатель, который рассчитывается по формуле (7), где точка покупки  $\underline{z}_k$  будет точкой минимума алгоритма  $Q(1,1)$ , а точка продажи  $\bar{z}_k$  будет точкой максимума алгоритма  $Q(1,1)$ ,  $k = 1, 2, \dots, r$ .

**Определение 5.** Элементы справа от значимой точки называются правым плечом значимой точки ряда.

**Определение 6.** Элементы слева от значимой точки называются левым плечом значимой точки ряда.

**Определение 7.** Количество разниц справа (слева) от значимой точки или количество элементов ряда справа (слева) от значимой точки называется длиной правого (левого) плеча.

Абсолютный потенциал ряда показывает максимальную теоретическую прибыль, которую невозможно превзойти.

Обобщим алгоритм  $Q(1,1)$  на  $Q(\alpha, \beta)$  и соответственно понятия.

**Определение 1'.** Точкой минимума  $\underline{z}_k$  алгоритма  $Q(\alpha, \beta)$  называется такая точка временного ряда (1), что если  $\underline{z}_k = z_i$ ,  $k = 1, \dots, r$ , все правые разницы  $\Delta z_{i+j-1} > 0$  для всех  $j = \overline{1, \beta}$ , а все левые разницы  $\Delta z_{i-j} < 0$ ,  $j = \overline{1, \alpha}$ .

**Определение 2'.** Точкой максимума  $\bar{z}_k$  алгоритма  $Q(\alpha, \beta)$  называется такая точка временного ряда (1), что если  $\bar{z}_k = z_i$ ,  $k = 1, \dots, r$ , все правые разницы  $\Delta z_{i+j-1} < 0$  для всех  $j = \overline{1, \beta}$ , а все левые разницы

$$\Delta z_{i-j} > 0, \quad j = \overline{1, \alpha}.$$

Длина правого плеча в алгоритме  $Q(\alpha, \beta)$  равна  $\beta$ , а длина левого плеча равна  $\alpha$ . Поэтому этот алгоритм будем также называть  $Q$ -стратегией с плечами  $\alpha$  и  $\beta$ .

В условиях реального рынка, очевидно, значимые точки, которые находятся с помощью алгоритма  $Q(\alpha, \beta)$ , могут использоваться МПТР, как точки покупки и продажи. Если трейдер, который использует алгоритм  $Q(\alpha, \beta)$  для поиска точек покупки и продажи и не пользуется моделями прогнозирования, то операции покупки и продажи он делает в последней точке правого плеча. Решение опаздывает на  $\beta$  шагов по сравнению с абсолютным алгоритмом.

**Определение 3'.** Алгоритм  $Q(\alpha, \beta)$ , точки покупки и продажи которого учитываются со смещением вправо от значимых точек на длину правого плеча, назовем алгоритмом  $\tilde{Q}(\alpha, \beta)$ .

В результате смещения, потенциал ряда резко уменьшается. МПТР, которая описана выше (условия (5)-(6)), позволяет определить появление точек разворота на более ранних шагах.

Для того чтобы оценить качество некоторой МПТР на определенном ряде (1), рассчитаем в каждой его точке потенциал, точки покупки и продажи которого определяются по алгоритму  $Q(\alpha, \beta)$ . Сформируем временной ряд из потенциалов  $\nabla = (N_1, N_2, \dots, N_n)$ ,  $N_i$  – значение потенциала ряда в момент  $i$ ,  $i = \overline{1, n}$ . Если значимые точки будем искать по алгоритму  $\tilde{Q}(\alpha, \beta)$ , то временной ряд потенциалов обозначим через  $\tilde{\nabla} = (\tilde{N}_1, \tilde{N}_2, \dots, \tilde{N}_n)$ . Для  $\alpha$  и  $\beta$  равных единице, график ряда  $\nabla$  показывает максимальную теоретическую прибыль, а следовательно является верхней асимптотой, которую невозможно превзойти, но к которой нужно стремиться. График ряда  $\tilde{\nabla}$  определяет нижнюю асимптоту, то есть коэффициент накопления в отсутствии прогноза. Остается построить график временного ряда коэффициентов накопления исследуемой МПТР  $\nabla^* = (N^*_1, N^*_2, \dots, N^*_n)$  и сравнить его с асимптотами.

Пусть  $T_1, T_2, \dots, T_h$  – некоторые МПТР, каждой из которых соответствует определенные условия нахождения точек покупок и продаж. Обозначим через  $\tilde{z}_1^d, \tilde{z}_2^d, \dots, \tilde{z}_{r_d}^d$  точки покупки, а через  $\tilde{z}_1^d, \tilde{z}_2^d, \dots, \tilde{z}_{r_d}^d$  точки продаж, которые определяются  $d$ -ой МПТР,  $r_d$  – количество точек покупки или продажи  $d$ -ой МПТР,  $d = 1, 2, \dots, h$ , тогда коэффициент накопления  $N^d$   $d$ -ой МПТР определяется по формуле:

$$N^d = \frac{\tilde{z}_1^d \tilde{z}_2^d \dots \tilde{z}_{r_d}^d}{\tilde{z}_1^d \tilde{z}_2^d \dots \tilde{z}_{r_d}^d} = \prod_{i=1}^{r_d} \frac{\tilde{z}_i^d}{\tilde{z}_i^d}. \quad (8)$$

Если  $N^{Q(\alpha, \beta)}$  – потенциал ряда, значимые точки которого находятся по алгоритму  $Q(\alpha, \beta)$ ,  $r$  – количество точек покупки или продажи потенциала, то эффективность  $d$ -ой МПТР определяется по формуле:

$$F(T_d, Q(\alpha, \beta)) = \frac{N^d}{N^{Q(\alpha, \beta)}} \cdot 100\% = \frac{\tilde{z}_1^d \tilde{z}_2^d \dots \tilde{z}_{r_d}^d}{\tilde{z}_1^d \tilde{z}_2^d \dots \tilde{z}_{r_d}^d} \cdot \frac{\tilde{z}_1 \tilde{z}_2 \dots \tilde{z}_r}{\tilde{z}_1 \tilde{z}_2 \dots \tilde{z}_r} \cdot 100\% = \prod_{i=1}^{r_d} \frac{\tilde{z}_i^d}{\tilde{z}_i^d} \cdot \prod_{j=1}^r \frac{\tilde{z}_j}{\tilde{z}_j} \cdot 100\%.$$

Средний потенциал ряда по алгоритму  $Q(\alpha, \beta)$  на одну операцию покупки-продажи рассчитывается так:

$$\bar{N}^{Q(\alpha, \beta)} = \frac{1}{2r-1} \prod_{k=1}^r \frac{\bar{z}_k}{\hat{z}_k} \quad (9)$$

Среднее накопление в пересчете на одну операцию покупка-продажа  $d$ -ой МПТР:

$$\bar{N}^d = \frac{1}{2r_d-1} \prod_{k=1}^{r_d} \frac{\bar{z}_k}{\hat{z}_k}, \quad (10)$$

Тогда эффективность  $d$ -ой МПТР можно определить и относительно среднего накопления и среднего потенциала ряда:

$$\bar{F}(T_d, Q(\alpha, \beta)) = \frac{\bar{N}^d}{\bar{N}^{Q(\alpha, \beta)}} \cdot 100\% = \frac{2r-1}{2r_d-1} \prod_{i=1}^{r_d} \frac{\bar{z}_i^d}{\hat{z}_i^d} \cdot \prod_{j=1}^r \frac{\bar{z}_j}{\hat{z}_j} \cdot 100\% \quad (11)$$

МПТР оценивается с помощью формул (7)-(11).

Для иллюстрации эффективности предложенной методики использованы следующие данные: ряды курсов валют EUR-USD, EUR-GBP, EUR-JPY. Каждый ряд имеет по 3000 измерений. Были рассчитаны потенциалы этих рядов, точки покупки и продажи которых получены с помощью  $Q$ -стратегий с плечами  $\alpha$  и  $\beta$  (верхняя асимптота). Абсолютный потенциал рядов равен: для ряда EUR-USD – 166,86, для ряда EUR-GBP – 30,76, EUR-JPY – 251,59. Потенциал каждого из рядов падает с увеличением длины плеч. Например, потенциалы указанных трех рядов, значимые точки которых находятся по алгоритму  $Q(2,2)$ , равны 6,76; 3,43; 6,41 соответственно. Потенциалы для алгоритма  $Q(3,3)$  равны 1,78; 1,43; 1,93 соответственно. Количество значимых точек уменьшается с увеличением длины плеч  $Q$ -стратегий.

Используя для определения потенциалов алгоритм  $\tilde{Q}(\alpha, \beta)$ , получаем следующие результаты для трех рядов соответственно: 1,02; 1,04; 1,10. Количество значимых точек с увеличением длины плеч уменьшается, однако среднее накопление увеличивается.

Для оценки эффективности схемы прогнозирования и принятия решений была построена интегративная многоуровневая модель прогнозирования, в общее множество которой были включены адаптивные полиномиальные модели (адаптивные модели экспоненциального сглаживания Брауна, Тригга-Лича разных порядков [Vercellis, 2009], [Лукашин, 2003]). В расширенное множество при построении модели принятия торговых решений, кроме указанных моделей, были включены также комбинированные модели гибридного и селективного типов (селекция осуществлялась по R-, B-критериями и т.д.). Детальнее о принципах построения ИММП и о моделях, которые она включает описано в работе [Берзлев, 2011]. Расчет коэффициентов накопления каждой из моделей в отдельности показал, что коэффициенты накопления комбинированных моделей ИММП (они составляют для ряда EUR-USD – 3,49, для ряда EUR-GBP – 2,23, EUR-JPY – 3.86) более чем в два раза превосходят коэффициенты накопления моделей низшего уровня (в зависимости от моделей, они составляют от 1,1 до 1,3 для указанных рядов).

## Заключение

В работе определен специальный метод построения и оценки модели принятия торговых решений на рынке. Построена интегрированная многоуровневая модель прогнозирования временных рядов, как составная часть схемы прогнозирования и принятия решений на основании комбинированных моделей селективного и гибридного типов и адаптивных полиномиальных моделей. Сформулированы собственные модификации критериев селекции, которые позволяют строить более точные модели высшего уровня. Предложена модель принятия торговых решений на рынке, которая базируется на интегративной

многоуровневой модели прогнозирования. Также предложено универсальный метод оценки качества модели принятия торговых решений, в основе которого лежит сравнение коэффициентов накопления МПТР и потенциалов, в частности абсолютного потенциала ряда на котором реализуется МПТР. Зная максимальную теоретическую прибыль, получаемая на данном ряде и которую невозможно превзойти, можно оценить потенциальные прибыли конкретной модели принятия торговых решений.

В дальнейшем, в целях увеличения коэффициента накопления, предполагается построить более мощные схемы прогнозирования и принятия решений.

---

### Благодарности

Работа опубликована при финансовой поддержке проекта ITHEA XXI Института информационных теорий и приложений FOI ITHEA Болгария [www.ithea.org](http://www.ithea.org) и Ассоциации создателей и пользователей интеллектуальных систем ADUIS Украина [www.aduis.com.ua](http://www.aduis.com.ua).

Автор благодарен д. т.н., проф. Волошину А.Ф., к. т.н., доц. Маляру Н.Н и к. ф.-м. н., доц. Николенку В.В. за консультации при написании статьи.

---

### Список литературы

- [[Берзлев, 2009] Берзлев А.Ю., Маляр Н.Н., Николенко В.В. Многоуровневые адаптивные модели в задачах прогнозирования // Науч. вестник Ужгород. ун-та. Серия матем. и инф. – 2009. – Вып. 19. – С. 4-10. (укр. яз.).
- [Берзлев, Маляр, 2011] Берзлев А.Ю., Маляр М.М., Николенко В.В. Адаптивные комбинированные модели прогнозирования биржевых показателей // Вестник Черкасского гос. технолог. ун-та. Серия: технические науки. – 2011. – № 1. – С. 50-54. (укр. яз.).
- [Берзлев, 2011] Берзлев А.Ю., Маляр Н.Н., Николенко В.В. Методы прогнозирования для принятия эффективных решений в многоуровневых моделях // Науч. вестник Ужгород. ун-та. Серия матем. и информатика. – 2011. – Вып. 22. – С. 18-25. (укр. яз.).
- [Бокс, Дженкинс, 1974] Бокс Дж., Дженкинс Г.М. Анализ временных рядов, прогноз и управление. – М.: Мир, 1974. – 406 с.
- [Лукашин, 2003] Лукашин Ю.П. Адаптивные методы краткосрочного прогнозирования временных рядов: Учеб. пособие. – М.: Финансы и статистика, 2003. – 416 с.
- [Чубукова, 2006] Чубукова И. А. Data Mining: Учебное пособие /И.А. Чубукова. — М.: Интернет-университет Информационных Технологий; БИНОМ. Лаборатория знаний, 2006. — 382 с.
- [Stevenson, 1985] Stevenson, William J. Business Statistics: Concept and Application. 2<sup>nd</sup> ed. New York: Harper & Row, 1985. – 637 p.
- [Vercellis, 2009] Vercellis, Carlo. Business intelligence: data mining and optimization for decision making. – John Wiley & Sons, Ltd., Publication, 2009. – 417 p.

---

### Сведения об авторах

**Берзлев Александр Юрьевич** – аспирант, ГБУЗ «Ужгородский национальный университет», математический факультет, e-mail: [berzlev@gmail.com](mailto:berzlev@gmail.com).

## МОДЕЛЬ ОПТИМИЗАЦИИ ПРИБЫЛИ ПРЕДПРИЯТИЙ ЛЕСОПИЛЬНОЙ ОТРАСЛИ

Роман Шулла, Михаил Повидайчик

**Аннотация:** Для предприятий лесопильной отрасли предложена модель оптимизации раскроя пиловочного сырья с учетом критерия маржинальной прибыли. Кроме факторов сферы сбыта в модели учитываются некоторые аспекты сферы снабжения предприятия, которые в значительной степени влияют на выбор релевантных показателей для целевой функции.

**Ключевые слова:** маржинальная прибыль, оптимизация раскроя, целочисленное линейное программирование.

**ACM Classification Keywords:** H.4.2 Information Systems Applications: Types of Systems: Decision Support.

---

### Введение

Характерной особенностью лесопильного производства является его комплексный характер: в результате соответствующего управленческого решения результатом процесса раскроя бревна могут быть одновременно два или более видов продукции. Комплексность процесса раскроя леса, как характерный признак лесопильного производства, формирует определенные сложности при планировании затрат в связи с возникновением так называемых комплексных затрат [Bungenstock, 1995]. Комплексные затраты на основе критерия зависимости затрат от изменения объема производства можно разделить на две группы: постоянные и переменные [Schweitzer, 1998]. Постоянные комплексные затраты по определению не могут быть распределены между отдельными видами продукции (полуфабрикатов). Но также и переменные комплексные затраты, в соответствии с принципом причинности или идентичности, не могут быть распределены между отдельными видами продукции [Männel, 1992]. То есть все комплексные затраты являются косвенными по отношению к видам продукции, которые, в свою очередь, являются результатом процесса комплексного производства.

В процессе раскроя леса первичным фактором комплексных маржинальных (переменных) затрат выступает не объем производства конкретного вида продукции, а план раскроя как управленческое решение о формировании поставов для пиловочного сырья. Следовательно, распределение маржинальных затрат процесса комплексного производства (как материальных, которые формируют материально-вещественную основу выпускаемой продукции, так и конверсионных, возникающих в процессе трансформации предмета труда в готовую продукцию) между видами продукции будет условным (фиктивным) [Kilger, 1992].

Поэтому обобщающий вывод о комплексных затратах может быть сформулирован следующим образом: комплексные затраты являются следствием не управленческого решения относительно производственной программы (объемов производства спецификационной пилопродукции), а управленческого решения относительно плана раскроя (хотя план раскроя и исходит из спроса на отдельные виды продукции). Составление поставов на плановый период – это взаимосвязанные последовательные решения, которые в совокупности, как целостная система, утверждаются в плане раскроя. Но, если на предприятии используется система стандартных поставов  $p_j(d_i)$   $j = 1, 2, \dots, m$ , стабильных во времени типовых схем раскроя для каждого диаметра  $d_i$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$ , то отдельный постав также можно рассматривать как фактор комплексных маржинальных затрат:

$$МП_{ij} = V_j - MЗ_{ij},$$

где  $MP_{ij}$ ,  $B_{ij}$ ,  $MZ_{ij}$  - маргинальная прибыль, выручка и маргинальные затраты для бревна  $i$ -го диаметра, раскroенного  $j$ -м поставом.

Конечно же, показатели маргинальных затрат по поставу имеют в определенной степени стохастический характер, так как кроме управленческих решений менеджмента на маргинальные затраты влияет также такой фактор как качественные характеристики пиловочного сырья (кривизна, овальность и другие пороки формы ствола согласно ГОСТа).

---

### **Классификация факторов, учитываемых при построении оптимизационной модели раскroя пиловочного сырья**

---

При построении модели линейного программирования для оптимизации раскroя пиловочного сырья необходимо сначала осуществить классификацию «сбытового (рыночного) аспекта» деятельности предприятия на основании следующих критериев:

- степени дифференцированности производственной программы предприятия;
- степени определенности информации относительно спроса на продукцию, на основе которой разрабатывается производственная программа предприятия;
- степени влияния покупателей на размерно-качественные свойства продукции (при ее конструировании).

В рыночной среде по вышеприведенным критериям предприятие можно отнести к одной из трех групп:

Группа 1. К этой группе относятся предприятия по производству стандартизированной продукции для «анонимного» рынка (покупатели не имеют непосредственного влияния на размерно-качественные свойства продукции на стадии ее разработки). При этом планирование производственной программы осуществляется на основе прогностической информации относительно спроса на продукцию в плановом периоде (например, производство электроэнергии).

Группа 2. К этой группе относятся предприятия, производящие стандартизированную продукцию для «анонимного» рынка, но при укомплектовании конечного изделия учитываются специфические требования заказчика. Планирование производственной программы на таких предприятиях осуществляется комбинированным принципом: на первоначальных стадиях планирование производственной программы происходит на основе прогностических значений спроса на стандартные комплектующие, а на стадии (многовариантного) монтажа планирование происходит на основе спецификации заказчика (например, автомобилестроение).

Группа 3. К этой группе относятся предприятия, производящие дифференцированную продукцию на заказ. Заказчик имеет полное влияние на размерно-качественные характеристики выпускаемой продукции. Планирование производственной программы на таких предприятиях осуществляется на основе фактически имеющихся на предприятии спецификаций от заказчика (например, авиастроение).

Предприятия лесопильной отрасли по вышеприведенным критериям относятся, как правило, к группе 3.

Также при построении оптимизационных моделей для лесопильной отрасли необходимо учитывать некоторые аспекты из сферы снабжения, так как размерно-качественные свойства пиловочного сырья имеют значительное влияние на выход процесса лесопиления. Составление плана раскroя на лесопильных предприятиях может исходить из двух ситуаций относительно пиловочного сырья:

1. План раскroя базируется на фактической или прогностической информации о цене и возможных объемах закупки пиловочного сырья в течение планового периода в разрезе диаметров и сортов;
2. План раскroя базируется на фактической информации относительно имеющихся на предприятии объемах пиловочного сырья в разрезе диаметров и сортов.

В первом случае релевантными затратами в оптимизационной модели являются маргинальные затраты, включающие также и материальные затраты (т.е. затраты на покупку и доставку леса). Во второй ситуации релевантными являются только маргинальные конверсионные затраты, а материальные затраты являются уже нерелевантными – это так называемые безвозвратные затраты (англ. sunk cost).

Последним важным аспектом при построении оптимизационных моделей для лесопильной отрасли является выбор целевой функции, которые можно классифицировать следующим образом:

- функции максимизации целевого показателя (максимизация объемного выхода лесопильной продукции, максимизация маржинальной прибыли за период, максимизация выручки за период);
- функции минимизации целевого показателя (минимизация объемных затрат пиловочного сырья для фиксированного выхода, минимизация маргинальных затрат за период для фиксированного выхода).

Функции минимизации целевого показателя целесообразно использовать на тех предприятиях, где процесс раскря пиловочного сырья есть только составным элементом процесса более глубокой переработки лесопильных материалов. Примером может служить производство паркетной доски, где процесс раскря является первичным элементом в стоимостной цепочке. На таких производствах обычно выгодно осуществлять субоптимизацию (итеративная оптимизация на основе локальных оптимизационных моделей) по каждой стадии стоимостной цепи, так как построение тотальной (синхронной) оптимизационной модели является достаточно сложной и неэффективной с точки зрения принципа «затраты на информацию – экономический эффект от информации». Для предприятий с глубоким циклом переработки пиловочного сырья процесс оперативного планирования производства осуществляется по принципу «обратного» (ретроградного) планирования: исходным пунктом при составлении планов и бюджетов есть план сбыта. Для лесопильных цехов таких предприятий на плановый период задается определенный фиксированный объем выхода продукции. Оптимизационная модель в этом случае должна сформировать такой план раскря пиловочного сырья, который обеспечит выполнение производственной программы лесопильного цеха с минимальными затратами (в натуральном или стоимостном выражении).

На предприятиях, специализирующихся на производстве лесопильных материалов, целесообразно использовать оптимизационные модели с функциями максимизации целевого показателя. При этом в рыночной среде модели со стоимостной целевой функцией являются более подходящими в качестве инструмента управления.

---

### **Оптимизация плана раскря сырья на основе моделей линейного программирования**

---

Рассмотрим практически ориентированную модель оптимизации раскря пиловочного сырья на примере одного из предприятий лесопильной отрасли Закарпатской области.

Предприятие осуществляет раскрой пиловочного сырья на заказ. Сырье после раскря в сыром виде сразу отгружается покупателям. После накопления определенного остатка пиловочного сырья на складе осуществляется оптимизационный расчет его раскря. Те объемы сырья, которые не попали в оптимизированный план, переносятся в остаток следующего планового периода. Необходимо отметить, что особенностью лесопильной отрасли является ограниченность срока хранения пиловочного сырья на складе: в летний период – до 5-7 дней, в зимний – 3-4 недели. Т.е. сырье, у которого заканчивается срок хранения, должно быть включено в оптимальный план раскря.

Приведем основные предположения, которые лежат в основе модели:

- 1) На ленточнопильном оборудовании раскраивается пиловочное сырье с его первичными размерными параметрами;

- 2) Оптимизационная модель касается одного периода (статическая модель);
- 3) Модель предполагает, что весь выход из поставка (в том числе отходы) реализуются на рынке;
- 4) Для отходов существует рынок сбыта без ограничений объема реализации;
- 5) В модели за каждой технологической операцией закреплены отдельные производственные мощности;
- 6) Отсутствует возможность введения дополнительной смены и возможность варьирования скорости выполнения технологических операций.

Исходя из приведенных выше предположений, мы предлагаем следующую модель целочисленного линейного программирования для оптимизации плана раскроя (с целевой функцией максимизации маржинальной прибыли).

$$\text{Целевая функция: } Z = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m d_{ij} \cdot x_{ij} \rightarrow \max ;$$

$$\text{Ограничения объемов производства: } U_k \leq \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m v_{ijk} \cdot x_{ij} \leq O_k, k = 1, 2, \dots, s ;$$

$$\text{Ограничения мощностей производства: } \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m p_{ijk} \cdot x_{ij} \leq P_k, k = 1, 2, \dots, r ;$$

$$\text{Ограничение, учитывающие лимитированность срока хранения сырья: } \sum_{j=1}^m x_{ij} \geq R_i, i = 1, 2, \dots, n ;$$

$$\text{Ограничение складских запасов: } \sum_{j=1}^m x_{ij} \leq T_i, i = 1, 2, \dots, n ;$$

$$\text{Условие неотрицательности: } x_{ij} \geq 0, i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m ;$$

$$\text{Условие целочисленности: } x_{ij} - \text{целое.}$$

Здесь  $Z$  – маржинальная прибыль на плановый период (не включает материальные затраты);  $x_{ij}$  – количество бревен  $i$ -го диаметра, раскроенных  $j$ -м поставом в плановом периоде;  $d_{ij}$  – плановая маржинальная прибыль, генерируемая в результате раскроя бревна  $i$ -го диаметра  $j$ -м поставом;  $v_{ijk}$  – нормативный объем выхода  $k$ -го спецификационного вида продукции, при производстве последней из бревна  $i$ -го диаметра  $j$ -м поставом;  $U_k, O_k$  – нижняя и верхняя границы объема производства  $k$ -го спецификационного вида продукции;  $P_k$  – имеющиеся в течение планового периода мощности для выполнения  $k$ -й технологической операции;  $R_i$  – минимальное количество бревен  $i$ -го диаметра, которое должно быть раскроено в плановом периоде;  $T_i$  – количество бревен  $i$ -го диаметра, которые есть на бирже сырья предприятия на момент оптимизационного расчета;  $p_{ijk}$  – коэффициент использования мощностей по  $k$ -й технологической операции в случае раскроя бревна  $i$ -го диаметра  $j$ -м поставом.

Если предприятие формирует план раскроя и производственной программы исходя из более широкого контекста, т.е. при наличии информации о предложении пиловочного сырья на плановый период, то материальные затраты становятся также релевантными: решение о приобретении пиловочного сырья принимается синхронно с решением по раскрою пиловочного сырья в одной оптимизационной модели.

Сама модель оптимизации останется без изменений, только величины  $T_i$  и  $R_i$  будут интерпретироваться как максимальное и минимальное количество бревен  $i$ -го диаметра, которые будут приобретены для выполнения программы раскроя планового периода.

### **Заключение**

---

В данной статье была исследована задача оптимизации плана раскрытия пиловочного сырья для предприятий лесопильной отрасли исходя из стоимостного целевого критерия маржинальной прибыли. В статье показано, что в широком контексте планирования (ситуация наличия информации об альтернативных возможностях приобретения пиловочного сырья) оптимизационная модель в целевой функции должна учитывать кроме маржинальных конверсионных затрат также и материальные затраты на приобретение леса, и затраты на внешнюю логистику, а в узком контексте (ситуация наличия только информации о пиловочном сырье на складе) – последние две статьи расходов не включаются в целевую функцию. Дальнейшим направлением совершенствования данной модели может быть учет фактора количества смен в плановом периоде, возможности интенсификации некоторых технологических операций, возможность интеграции в модель динамических элементов в форме нескольких плановых периодов, сроков выполнения заказов, что позволит еще в большей степени повысить практическую ценность модели.

---

### **Благодарности**

---

Работа опубликована при финансовой поддержке проекта ITHEA XXI Института информационных теорий и приложений FOI ITHEA Болгария [www.ithea.org](http://www.ithea.org) и Ассоциации создателей и пользователей интеллектуальных систем ADUIS Украина [www.aduis.com.ua](http://www.aduis.com.ua).

Авторы выражают благодарность проф. Волошину А.Ф. за консультации при подготовке статьи.

---

### **Библиография**

---

- [Bungenstock, 1995] Bungenstock, Christian: Entscheidungsorientierte Kostenrechnungssysteme: eine entwicklungsgeschichtliche Analyse. Mit einem Geleitwort von Jürgen Weber. – Wiesbaden: Dt. Univ. – Vlg. Wiesbaden: Gabler, 1995.
- [Kilger, 1992] Kilger, Wolfgang: Einführung in die Kostenrechnung. – Wiesbaden: Gabler, 1992. – 482 p.
- [Schweitzer, 1998] Marcel Schweitzer, Hans-Ulrich Küpper Systeme der Kosten und Erlösrechnung. 7. überarbeitete und erweiterte Auflage. Verlag Franz Vahlen München. 1998. – 787 p.
- [Männel, 1992] Wolfgang Männel. Handbuch Kostenrechnung. – Wiesbaden: Gabler, 1992. – 1532 p.
- 

### **Сведения об авторах**

---

**Шулла Роман Степанович** – преподаватель кафедры учета и аудита экономического факультета Ужгородского национального университета; Украина, г. Ужгород, ул. Подгорная, 46; e-mail: [schulla@mail.ru](mailto:schulla@mail.ru).

**Повидайчик Михаил Михайлович** – доцент кафедры кибернетики и прикладной математики математического факультета Ужгородского национального университета, кандидат экономических наук; Украина, г. Ужгород, ул. Подгорная, 46; e-mail: [povidm@gmail.com](mailto:povidm@gmail.com).

---

---

## Modern (e-) Learning

---

---

### ФОРМИРОВАНИЕ БАЗОВЫХ СТРУКТУР ВОСПРИЯТИЯ ИНФОРМАЦИИ

Владимир Донченко

**Аннотация:** Процесс обучения, как процесс накопления «знания», предлагается рассматривать как процесс формирования нейронных структур мозга, отвечающих основным органам чувств, а также нейронных структур на их основе. «Знание» при таком подходе, это готовые к употреблению связи между основными составляющими структуры. «Готовое к употреблению» означает возможность использования во взаимодействии с внешним миром без дальнейшей структуризации и непосредственно. Отмечены основные особенности и закономерности формирования таких структур как результата процесса обучения и организации любого обучения, в том числе с использованием электронных средств.

**Ключевые слова:** Нейроны, нейронные структуры.

**ACM Classification Keywords:** H.3 INFORMATION STORAGE AND RETRIEVAL: H.3.2 Information Storage. I.2.6 Learning, Connectionism and neural nets. K3.1 Computer Uses in Education.

---

#### Вступление

---

В работе обсуждается роль современных электронных средств в обучении как формировании и использовании базовых структур мозга. В работе [Донченко, 2010] отмечалось, что процесс обучения следует рассматривать как двуединый процесс: 1. как процесс формирования специализированных структур мозга (“hardware”) и 2. и, как их последующее использование с целью адаптации особи к условиям существования (использование “hardware” для формирования и накопления “software”). Первый: “hardware” - представляет собою формирующиеся в мозге на определённом этапе жизни человека и при определённом состоянии, характерном для определённого этапа развития личности структуры, второй – накопление и использование индивидуумом «связей» информационного характера, проявляющихся и выявленных сформированным ранее “hardware”. Именно «связи» между существенными элементами восприятия той или иной мозговой структурой и представляют собою «готовое к употреблению знание [Пойа, 1975].

Основным модельным примером формирования нейронных структур (“hardware”) является модель формирования нейронных структур восприятия запахов Г.Воронкова [Воронков, Изотов, 2005], являющаяся результатом тонких и кропотливых нейрофизиологических экспериментов с высокоорганизованными биологическими организмами. Проведённый в работе анализ позволяет сделать определённые выводы о закономерностях обучения и, прежде всего, в том, что касается понимания обучения как двуединого процесса формирования специализированных нейронных структур в соответствии с чёткими временными рамками существования особи, и дальнейшего использования сформированных структур. Если принять концепцию обучения как формирование пары “hardware”-“software”, то процесс обучения представляется не только как накопление информации и её

структурирование с помощью имеющихся механизмов, но и формирование самих механизмов восприятия соответствующей информации на основе нейрофизиологических процессов, заложенных природой в развивающиеся высокоорганизованные биологические организмы.

Всё более весомым становится влияние электронных средств на формирование обеих составляющих “hardware”- “software” структур, как основы «знания». При этом «знание» рассматриваются как готовые к употреблению «связи» в составляющих восприятия внешнего мира органами чувств. Эти «знания» могут носить как информационный характер: связи между понятиями, фактами и т.д., так и информационно-моторный: связей между внешними воздействиями и моторными реакциями на них.

Обратим внимание также на важные два принципиальных способа формирования знаний: доказательные рассуждения (математика, логика) и «правдоподобные рассуждения» по терминологии уже цитированной выше работы [Пойа, 1975]. Последние, в сущности, являются способом формирования основных гипотез о связях между «объектами», фигурирующими в наблюдении (опыте, эксперименте).

---

### **Электронные средства в обучении**

---

Характерной чертой современного обучения как формирование пары “hardware”- “software” у индивидуума является принципиальное и неустранимое влияние электронных средств в указанном процессе. Сознательное контролируемое использование в обучении электронных средств носит название E-learning. Напомним, что в соответствии, например с Wikipedia [Wikipedia] E-learning (сокращение от англ. *Electronic Learning*) определяется как «система электронного обучения, синоним таких терминов, как электронное обучение, дистанционное обучение, обучение с применением компьютеров, сетевое обучение, виртуальное обучение, обучение при помощи информационных, электронных технологий». Обратим внимание, что расшифровка термина E-learning подчёркивает достаточно узкий, «образовательный», смысл его использования. Однако не вызывает сомнений, что его следует понимать значительно шире. Это означает: не только в смысле использования электронных средств в системе образования, но и в значительно более широком смысле сознательного и взвешенного использования таких средств для целенаправленного формирования базовых структур восприятия и их контролируемого развития.

---

### **Модель формирования базовых нейронных структур восприятия**

---

Основой представления о формировании нейронных структур восприятия внешнего мира является модель формирования запахов Г. Воронкова (см., например, уже цитированную работу [Воронков, Изотов, 2005]). Напомним, что в упомянутой работе речь шла о компьютерном моделировании нейрофизиологической модели формирования нейронных структур восприятия запахов. Механизмы формирования нейронной мозговой структуры является, как нам представляется, модельными с точки зрения иллюстрации основных закономерностей адаптации биологических организмов к среде обитания, а также, - иллюстрации того, что же представляют собой механизмы адаптации вообще.

Напомним, что в модели формирования нейронных структур мозга для восприятия и анализа запахов речь идёт о том, что появившаяся на свет особь не имеет готового механизма восприятия запахов, а имеет только заложенный природой потенциал формирования такого аппарата. Этот потенциал включает в себя основные конструктивные элементы, из которых механизм формируется. Эти элементы должны быть определённым образом связаны. Процесс формирования связей представляет собой, собственно, процесс обучения. Важно отметить, что основной особенностью модели Г.Воронкова является то, что связи являются не информационными, а физическими: это структуры определённым образом соединяемых в процессе обучения нейронов.

К основным конструктивным элементам относятся, прежде всего, два первоначально изолированных слоя нейронов: слоя рецепторных нейронов и слоя нейронов, которые будем называть структурными. Изолированность означает, что нейроны каждого их слоёв не связаны между собой, как и нейронами другого слоя: рецепторные нейроны первоначально не связаны со «структурными».

Условием использования конструктивных элементов является наличие специальных физиологических механизмов, характерных для определенного этапа развития особи. Упомянутые физиологические механизмы включают в себя такое состояние организма, при котором возможен рост (удлинение, прорастание) аксонов нейронов рецепторного и структурного слоёв и их соединение с другими нейронами. Для нейронов рецепторного слоя такое образование аксонов и установление связей через них носит «вертикальный» характер: аксоны нейронов этого слоя, удлиняясь - прорастая, соединяются с нейронами структурного слоя. Для нейронов «структурного» слоя удлинение - прорастание носит горизонтальный характер: проросшие аксоны соединяют нейроны одного и того же, структурного, слоя. При наличии упомянутого специфического состояния организма развивающейся особи стимулятором: спусковым механизмом и раздражителем, поддерживающим процесс, - является наличие постоянно присутствующего в течение определенного периода развития особи раздражения рецепторных нейронов. Такое раздражение нейронов рецепторного слоя является реакцией на определенные стандартные трёхкомпонентные («трехбуквенные») фрагменты из заранее определенного набора фрагментов возможных молекул запаха. Рецепторный слой представляет собой стратифицированный набор нейронов, в которой каждый стратум (совокупность нейронов) настроен на отдельный элемент из стандартизированного набора фрагментов.

Как уже отмечалось, спусковым механизмом и стимулятором протекающего процесса прорастания, первоначально, аксонов нейронов рецепторного слоя, настроенных на реакцию на те или иные фрагменты, является наличие постоянного раздражения нейронов этого слоя: присутствием на их входе соответствующих фрагментов. Таким образом, растут только аксоны тех рецепторных нейронов, которые подвергаются постоянному возбуждению наличием в окружающей среде фрагментов, на которые они настроены. Нейроны, которые настроены на те фрагменты из набора возможных, которые отсутствуют в молекулах запахов окружающей среде, не возбуждаются и, соответственно, их аксоны не прорастают. Выборочное «прорастание» аксонов нейронов рецепторного слоя представляют собою первую, «вертикальную» фазу процесса формирования структуры. Она протекает в течение определённого, обусловленного физиологией, периода. Такой способ формирования структуры восприятия обеспечивает адаптацию к специфической среде запахов, в которой находится особь. Набор фрагментов является достаточно обширным, чтобы обеспечить формирование нейронной структуры для восприятия всех значимых запахов среды обитания, однако природа предусмотрела «экономное» использование ресурсов мозга: нейронная структура восприятия запахов формируется как специфическая: для использования именно в той среде обитания, в которой пребывает развивающаяся особь. Таким образом, нейронная структура восприятия, в данном случае - запахов, не является универсальной по возможным средам обитания.

Второй, «горизонтальной», фазой является фаза роста - прорастания аксонов нейронов «структурного» слоя и их соединение с другими нейронами этого же слоя. Такое прорастание испытывают аксоны тех нейронов этого слоя, которые соединились с нейронами рецепторного слоя. Следует отметить в дополнение к сказанному, что соединение нейронов структурного слоя с нейронами рецепторного слоя происходит двумя разными способами. При одном, нейроны структурного слоя соединяются в результате завершения «вертикальной» фазы только с одним «проросшим» нейроном рецепторного слоя, другие - с двумя.

Процесс формирования нейронной структуры восприятия, в данном случае запахов, завершается после окончания последовательных «вертикальной» и «горизонтальной» фаз, чётко укладываясь в определённый временной период, когда, физиологически вообще возможно прорастание нейронов.

Г. Воронковым и его соавторами в цитированной выше работе приведены результаты компьютерного моделирования процесса формирования нейронной структуры восприятия запахов. Такое моделирование полностью подтвердило результаты нейрофизиологических исследований и продемонстрировало возможности двухслойной нейронной структуры для формирования систем распознавания.

Очевидным образом, нейронная структура в последующем используется для решения задач, связанных с восприятием и накоплением информации (запоминанием, структуризацией) соответствующего типа: формированием «знания» как готовых к употреблению связей – структуры составляющих соответствующей структуры.

---

### **Формирование нейронных структур восприятия окружающей среды у человека**

---

Можно предположить, что механизм формирования нейронных структур восприятия запахов является модельным в обеспечении адаптации биологических организмов к условиям существования в окружающей среде на основе адаптивного формирования и использования нейронных структур мозга, отвечающих за тот или иной способ восприятия окружающей среды. Так специалисты по детской психологии, в частности, отмечают, что для адекватного формирования аппарата восприятия тактильной информации ребёнок в определённый период развития, чётко обусловленный временными рамками, должен в играх иметь дело с мелкими предметами. Он должен иметь возможность активно контактировать с ними. Как можно предположить на основе модельного механизма формирования запаха, такой контакт должен гарантировать постоянное раздражение тактильных рецепторов в течение определённого времени. Наличие такого постоянного раздражения должно обеспечить протекание и завершение «вертикальной» и «горизонтальной» фаз формирования соответствующей нейронной структуры восприятия. Если временные рамки формирования нейронной структуры упущены, запустить механизм формирования невозможно: отсутствуют физиологические механизмы. Это означает, что вне определённой фазы развития биологического организма аксоны нейронов, отвечающих за тот или иной вид восприятия, не могут «прорасти», формируя соответствующую нейронную структуру.

Отмеченная модельная закономерность: адаптивного формирования, а не наличие готовой, - нейронной структуры, характерна и для восприятия зрительной информации. Так, вместе с другими фактами известно, что, в числе прочего, в первые две – три недели жизни ребёнка зрительный нерв прорастает, соединяя сетчатку глаза с корой головного мозга. Можно предположить, что этот этап развития системы восприятия зрительной информации обеспечивает настройку формирующегося механизма восприятия такой информации на специфику спектрального состава и интенсивности воспринимаемого электромагнитного поля.

---

### **Основные закономерности формирования базовых нейронных структур**

---

Модельный характер механизма формирования нейронных структур восприятия запахов заключается в том, что он демонстрирует некоторые принципиальные закономерности адаптации высоко развитых биологических организмов к окружающей среде на основе использования нейронных структур.

Прежде всего (во-первых), модель свидетельствует о том, что обучение-адаптация включает в себя не только накопление информации (не только software, говоря языком компьютерной техники), но и

формирование необходимых нейронных структур (формирование hardware, обращаясь к той же компьютерной терминологии).

Во-вторых, речь идёт о том, что возможности адаптации-обучения носят характер потенциально возможных. Это означает, что соответствующие механизмы формируются только при наличии востребованности: наличия: постоянного раздражителя соответствующего типа.

В-третьих, формирование нейронных структур мозга, отвечающих за восприятие тех или иных воздействий внешней среды, возможно только на определённом, чётко обусловленном, периоде физиологического развития особи высокоорганизованного биологического вида, когда только и возможно «прорастание» нейронов, обеспечивающих формирование нейронной структуры. Известные примеры «детей-Маугли», являются типичной иллюстрацией отмеченной закономерности.

В-четвёртых, - формирование нейронной структуры происходит через реакцию на стандартные составляющие информации соответствующего типа восприятия. в модели восприятия запахов, к примеру, такими элементарными составляющими являются стандартные фрагменты молекул запаха, образующие определённый, заранее обусловленный для биологического вида набор.

Очевидным образом, модельность механизма формирования нейронных структур восприятия запахов заключается и в том, что он является характерным и в формировании механизмов восприятия и обучения-адаптации на основе более сложных, возможно – абстрактных, типов информации: семиотической, лингвистической, математической и т.д.

---

### **Предположение о механизме накопления информации в базовых структурах**

---

Если «правдоподобное рассуждение» о механизме формирования базовых структур восприятия в модельном варианте выглядит вполне убедительно, то физиологический механизм формирования “software” менее очевиден, что, по-видимому, обусловлено большей сложностью нейрофизиологических экспериментов. Во всяком случае, можно предположить, что различия между ними обусловлены не самой конструкцией формирования структур, а чем-то иным. Прежде всего, это касается источников раздражения: внешних – что естественно - в случае структур восприятия мира, и внутренних – в случае накопления информации от структур восприятия. Последнее означает, что механизм «накопления» и структурирования информации – приобретения знания – должен иметь «раздражитель». Это означает, что выходом базовой структуры является выход возбуждённых нейронов восприятия и распознавания. Он – этот выход- служит входом для системы запоминания и структурирования, которая, формируется в соответствии с теми же принципами, что и система восприятия внешних воздействий. В частности, возбуждении в сочетании с определённым состоянием среды головного мозга должно обеспечивать прорастание аксонов и их соединение в структуры, аналогичные структура восприятия. Кроме того, возбуждение должно быть достаточно долговременным, чтобы обеспечить физиологически обусловленное время формирования структур и т.д.

Следует заметить, что в формировании «знания» могут принимать участие одновременно несколько структур восприятия(базовых структур) и несколько «софтверных» структур. Причём, последние могут отвечать за «знания», касающиеся разных типов информации: лингвистической, абстрактной и т.д.

---

### **Некоторые выводы для систем обучения, включая E-learning**

---

Модели формирования базовых структур свидетельствуют, что процессам формирования «знания» как процессу структурирования информации о внешнем мире, отвечают вполне определённые физиологические процессы. Обучение, если оно ставит целью достижение эффективности, должно,

безусловно, эту физиологию учитывать. Это в полной мере касается и того, что связано с обучением, идентифицируемым как E-Learning.

---

### Заключение

Обучение в высокоорганизованных биологических видах является проявлением механизма адаптации к условиям существования организмов в сложных и изменяющихся условиях внешней среды. Адаптация для высокоорганизованных видов имеет основой использование нейронных структур. Такое использование предполагает их первоначальное адаптивное к условиям существования формирование, что обеспечивается наличием определённых физиологических механизмов, включающихся на чётко определённых этапах развития организма. Обучение – адаптация включает как использование «software», так и использование «hardware». Наличие двух составляющих обучения: «hardware» , «software», - является существенной особенностью обучения. Принципиальную роль играет также наличие элементарных составляющих информации, которая анализируется и используется в результате обучения.

В заключение автор выражает солидарность и разделяет мысль, высказанную Д.Пойа в уже цитированной работе «Математика и правдоподобные рассуждения» [Пойа, 1975]:

«В строгом рассуждении (*математическом доказательстве – авт.*) главное — отличать доказательство от догадки, обоснованное доказательство от необоснованной попытки. В правдоподобном рассуждении главное — отличать одну догадку от другой, более разумную догадку от менее разумной ...Конечно, будем учиться доказывать, но будем также учиться догадываться».

---

### Благодарности

Работа опубликована при финансовой поддержке проекта ITHEA XXI Института информационных теорий и приложений FOI ITHEA Болгария [www.ithea.org](http://www.ithea.org) и Ассоциации создателей и пользователей интеллектуальных систем ADUIS Украина [www.aduis.com.ua](http://www.aduis.com.ua).

---

### Литература

[Воронков, Изотов, 2005] Воронков Г. С., Изотов В.А. Формирование нейронных элементов в обонятельной коре: обучение путём прорастания // Proceedings of the XI-th International Conference “Knowledge-Dialogue-Solution”. – June 20-30, Varna, 2005.– Volume 1.– С. 17–23.

[Донченко, 2010] Донченко В.С. Обучение: формирование структур восприятия информации на примере одной модели Г.Воронкова //Proceedings of the : V-th International Conference:” Modern (electronic)Learning” MEL 2010-September,9-10, Kyiv.- 2010 p.- С.31-35.

[Пойа, 1975] Пойа Д. Математика и правдоподобные рассуждения. – Москва: Наука. – 1975 – 465 с.

[Wikipedia] <http://ru.wikipedia.org/>

---

### Информация об авторе



**Владимир С. Донченко** – профессор; Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко, факультет кибернетики, Украина, e-mail: [voldon@unicyb.kiev.ua](mailto:voldon@unicyb.kiev.ua)

## ПОЧЕМУ НЕ ИСПОЛЬЗУЮТСЯ ЭЛЕКТРОННЫЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ РЕСУРСЫ

**Андрей Федосеев**

**Аннотация:** *Накопленные в мире огромные количества электронных образовательных ресурсов не вызывают положительного эффекта на эффективность учебного процесса. На первый взгляд – из-за того, что учителя не используют их в своей работе. Но так ли это? Сделана попытка найти причины сложившейся ситуации и показать, каким образом она могла бы быть исправлена.*

**Ключевые слова:** *информатика, информационно-телекоммуникационные технологии, электронные образовательные ресурсы, эффективность учебного процесса.*

**ACM Classification Keywords:** *K3.1 Computer Uses in Education.*

---

### Введение

Ни для кого не является секретом, что применение электронных образовательных ресурсов (ЭОР) учителем связано с дополнительными затратами труда и времени. Эти затраты складываются из необходимости найти и подобрать нужный ресурс, добыть его из соответствующего хранилища и разместить там, где он будет использоваться, освоить ресурс и включить его использование в план урока и т. п. Здесь предполагается, что школа оборудована соответствующими устройствами и доступом к ресурсам. Если это не так, то затраты еще более возрастают на суммы и время обеспечения школы требуемой техникой и интернетом. Все эти затраты должны компенсироваться тем эффектом, который учитель ожидает от применения ЭОР. Под эффектом можно понимать снижение затрат времени и труда учителя в той мере, в которой ЭОР берет на себя какую-то часть учебного процесса. Можно оценивать эффект по возрастанию успеваемости. К сожалению, существует еще один эффект, который хотелось бы исключить из списка компенсаций затрат на применение ЭОР. Речь идет о вознаграждении учителей, применяющих ЭОР на своих уроках. Безусловно, такое вознаграждение может компенсировать затраты труда учителя, но очевидно, что оно не имеет отношения к повышению качества учебного процесса.

Ряд публикаций, как в России, так и в других странах, например, [Itoaki, 2006], [Федосеев, 2011], [Христочевский, 2011] отмечают не только незначительный уровень использования ЭОР по сравнению с тем количеством ЭОР, которые уже накоплены в мире, но и отсутствие какой-либо наблюдаемой пользы от тех случаев, когда ЭОР применяются. Вместе с тем, не удается обнаружить публикаций, в которых описывался бы положительный результат (в смысле упомянутого выше эффекта) практического применения ЭОР.

Доклад посвящен анализу с позиций информатики причин отсутствия эффекта от применения ЭОР.

---

### Информационная модель основного учебного процесса

Как указывается во многих работах по теории обучения, например, [Бордовская, 2000], [Габай, 2008], [Лернер, 1989] основной учебный цикл начинается с предъявления учебного материала ученику, продолжается усвоением этого материала и завершается убеждением учителя в том, что цикл состоялся (или не состоялся). Если отвлечься от психологических моментов, составляющих суть процесса учения и происходящих в голове ученика, сопровождая его активную учебную деятельность, и сосредоточиться на

информационных потоках, обеспечивающих описанный учебный цикл, то информационный аспект учебного цикла выглядит следующим образом:

1. Учитель готовит (ищет, подбирает, создает и т. д.) учебную информацию для последующей передачи ученику.
2. Подготовленная учителем учебная информация передается (либо учителем непосредственно, либо в виде текстов, фильмов, ЭОР и т. п.) ученику.
3. Ученик информацию усваивает.
4. Результат усвоения представляет собой некоторую информацию, которая должна поступить от ученика к учителю.
5. На основании полученной информации учитель делает вывод о степени усвоения учебной информации учеником и принимает решение о назначении дополнительного учебного цикла или о переходе к следующему учебному материалу.

Этот алгоритм можно изобразить в схематическом виде, отображающем информационную модель учебного цикла (см. Рис. 1).

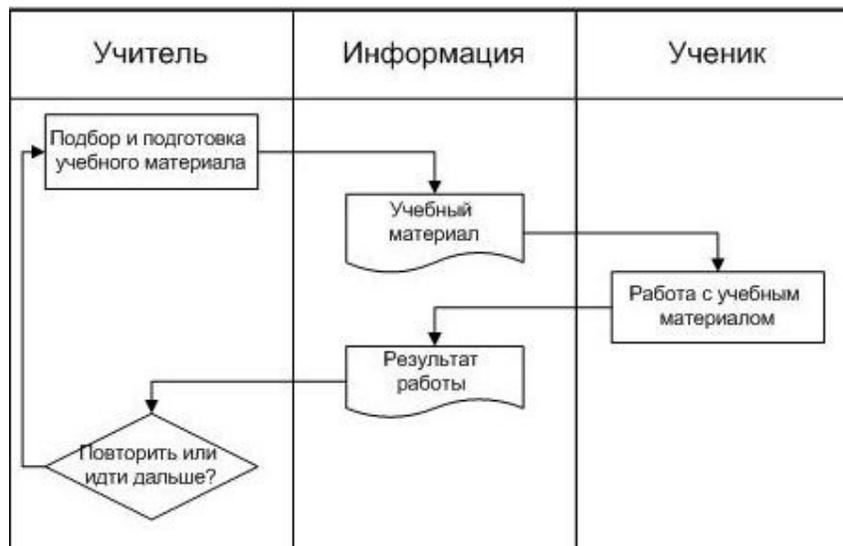


Рис. 1. Информационная модель учебного цикла.

Модель, при всей ее простоте, позволяет проанализировать все информационные аспекты существующего учебного процесса и выделить те его аспекты, в которых желательно применение ЭОР.

### **Анализ учебного процесса с помощью информационной модели**

Для подбора и подготовки учебного материала по теме у учителя имеется множество возможностей. На самом деле каждый раз используется незначительная часть существующих учебников и учебных пособий. В настоящее время нет проблемы донести до ученика учебный материал в желательном для учителя виде. Подавляющее большинство существующих ЭОР посвящены предъявлению учебного материала. Совершенно иначе дело обстоит с формированием информации о результатах работы ученика. ЭОР, как правило, этот этап учебного цикла не поддерживают, а у учителя остаются его стандартные методы: выборочный опрос, проверка выполнения домашних заданий, проверка результатов контрольных работ. И если учебный материал может быть дан во всеохватывающем тему объеме, то результат работы всегда оказывается не полным. Учитель не может опросить всех учащихся по каждой изучаемой теме. Он

не может дать на дом задание, полностью охватывающее все аспекты изложенного материала. Всегда остаются моменты, относительно которых учитель вынужден предположить достаточное их усвоение, коль скоро задания выполняются правильно. С позиций информатики здесь происходит нарушение процесса: не получая необходимой обратной связи от ученика, учитель вынужден переходить к следующим темам, допуская и накапливая возможный педагогический брак в виде неувоенного знания и не сформированных умений и навыков.

Что происходит в условиях использования ЭОР? Учитель получает дополнительные возможности по предъявлению учебной информации ученику. Но с этим этапом учебного цикла и до появления ЭОР дело обстояло вполне приемлемо. А там, где учителю требуется дополнительная помощь в виде формирования обратной связи о степени усвоения учебного материала учеником, учитель остается в совершенно не изменившейся ситуации. Тот этап учебного цикла, на котором было возможно возникновение брака, остался без изменений. Теперь становится понятным, почему ЭОР не применяются: они просто не способны повысить качество обучения (или разгрузить учителя), поскольку имеют областью своего приложения не то, что требуется учителю, а то, что способны и хотят сделать производители ЭОР.

---

### **Возможности ИКТ применительно к ЭОР**

---

Было бы крайне обидно, если бы оказалось, что информационно-коммуникационные технологии (ИКТ) в области образования способны только предъявить ученику красивые картинки, видеоклипы, тексты, схемы и отображение различных моделей. В других отраслях человеческой деятельности ИКТ смело берут на себя такие глубокие и сущностные вопросы, что дальнейшее развитие этих отраслей без ИКТ становится немислимым. Что сущностного изменится в учебном процессе, если исчезнут красивые картинки и «мультяшки» на экранах компьютеров? Следует признать, что по существу ничего не изменится. Просто учитель перестанет отвлекаться на изучение компьютерных отображений учебного материала и вернется к проверенным временам учебникам и наглядным пособиям.

По-видимому, суть применения ИКТ в учебном процессе заключается в чем-то ином. Здесь автору хотелось бы обратить внимание читателя на то, что когда ученик взаимодействует с ЭОР, а именно в интерактивном режиме изучает информацию, предъявленную на экране, и либо переходит на другой экран в соответствии со своим выбором и с заложенными в ЭОР возможностями, либо выполняет предусмотренные авторами ЭОР действия. При этом действия ученика заключаются в передаче компьютеру некоторых сигналов. С некоторым приближением к истине можно считать, что состав передаваемых учеником компьютеру сигналов в некоторой степени отображает уровень усвоения изученного учеником материала. Более того, ЭОР можно целенаправленно конструировать таким образом, чтобы повысить степень соответствия обратной связи от ученика уровню усвоения им предъявленного материала. Таким образом, обратная связь от ученика будет формироваться в той же среде, в которой предъявляется учебный материал, а именно в компьютере. Эта ситуация сулит некоторые дополнительные преимущества, невозможные без применения средств ИКТ. А именно, появляется возможность автоматического анализа степени усвоения различных аспектов предъявляемого ученику материала и автоматического же возвращения ученика к той части материала, которую он усвоил в недостаточной мере. При этом существует возможность вернуть ученика не к той же самой порции учебного материала, которую он недостаточно усвоил, а предъявить ему этот аспект знания в более глубоком и подробно изложенном виде. В этом случае ЭОР приобретает свойства доведения уровня усвоения учебного материала учеником до приемлемого, заранее определенного уровня прежде, чем ЭОР «отпустит» ученика. При этом учителю не требуется дополнительно контролировать знания, умения и навыки, приобретенные учеником. Ему достаточно получить отчет, сформированный соответствующей

компонентой ЭОР об уровнях усвоения учеником каждого аспекта предъявленного учебного материала. Такой ЭОР можно назвать интеллектуальным.

### Информационная модель основного учебного процесса с интеллектуальным ЭОР

Реализованная на практике изложенная идея интеллектуального ЭОР существенно изменит основной учебный процесс. Информационная модель такого процесса выглядит следующим образом (Рис. 2).



Рис. 2. Информационная модель учебного цикла с интеллектуальным ЭОР.

Как видно из модели, ЭОР берет на себя ту часть работы учителя, которая была источником брака из-за невозможности всеобъемлющего контроля уровня усвоения материала. А это означает, что интеллектуальные ЭОР (в описанном выше смысле) по крайней мере, направлены на устранение тех недостатков, которые традиционные ЭОР совершенно не затрагивают. Поэтому потенциально интеллектуальные ЭОР в состоянии улучшить ситуацию с нежеланием учителей использовать ЭОР на своих уроках.

### Заключение

Попытка рассмотреть ситуацию с применением ЭОР в учебном процессе с позиций информатики привела к построению информационной модели учебного цикла, на основании которой стало ясно, что подавляющее большинство существующих ЭОР не в состоянии хоть каким-то образом повлиять на качество результатов учебного процесса. Вместе с тем, дальнейший анализ показал, какими свойствами должен обладать ЭОР, чтобы называться интеллектуальным и чтобы действительно влиять на результат учебного процесса.

### Благодарности

Работа опубликована при финансовой поддержке проекта ITHEA XXI Института информационных теорий и приложений FOI ITHEA Болгария [www.ithea.org](http://www.ithea.org) и Ассоциации создателей и пользователей интеллектуальных систем ADUIS Украина [www.aduis.com.ua](http://www.aduis.com.ua).

---

## Библиография

---

- [Бордовская, 2000] Н. В. Бордовская, А. А. Реан. Педагогика. Учебник для вузов. СПб: Издательство "Питер", 2000. 304 с
- [Габай, 2008] Т. В. Габай. Педагогическая психология. Учебное пособие. 2008. 240 с.
- [Ilomaki, 2006] L. Ilomaki, M. Lakkala and S. Paavola, "Case Studies of Learning Objects Used in School Settings" // Learning, Media and Technology, 2006, Vol. 31, No. 3, pp. 249-267.
- [Лернер, 1989] И. Я. Лернер. Теория современного процесса обучения, ее значение для практики. Советская педагогика, 1989, – № 11, – С. 10-17.
- [Федосеев, 2011] А. А. Федосеев. К вопросу о недостаточном использовании электронных образовательных ресурсов. Материалы третьей международной научно-практической конференции «Электронная Казань 2011». Казань, ЮНИВЕРСУМ, 2011, с. 125-127
- [Христочевский, 2011] С. А. Христочевский. Почему использование ИКТ в образовании до сих пор не приводит к повышению качества образования. Материалы XXII Международной конференции «Применение новых технологий в образовании». Троицк, ЦНПТ, МОО фонд новых технологий в образовании «Байтик», 2011, с. 208-209.

---

## Об авторе

---



**Андрей Федосеев** *Институт проблем информатики Российской академии наук,*  
*к.т.н., в. н.с. e-mail: a.fedoseev@ipiran.ru*

*Область интересов: e-образование, качество электронных образовательных ресурсов*

## ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ПАРАДИГМЫ В ЦИФРОВУЮ ЭПОХУ

Диана Богданова

**Аннотация:** Все более широкое внедрение информационно-коммуникационных технологий (ИКТ) в повседневную жизнь затрагивают сферу образования. В настоящее время школа отстает от требований времени. Специалисты давно говорят о необходимости смены парадигмы. В работе рассматриваются коннективизм и навигационизм как образовательные парадигмы будущей цифровой эры.

**Ключевые слова:** образовательная парадигма, реформа образования, новая разновидность информационной грамотности, коннективизм, Навигационизм

**ACM Classification Keywords:** K3.1 Computer Uses in Education.

---

### Введение

Современная технологическая революция вводит новый, альтернативный взгляд на взаимодействие людей с информацией, на знания и умения необходимые для жизни в современную эпоху. Наибольшее влияние оказывают информационно-коммуникационные технологии (ИКТ), все шире входящие в нашу жизнь. Объем информации, произведенной прессой-журналами-фильмами-телевидением-радио намного превышает информацию учебного характера для школ и учебных заведений [Brown, 2006]. По оценкам специалистов цифровая вселенная в последней четверти прошлого века удваивалась каждые 7 лет, к 2010 году ожидалось, что удвоение будет происходить каждые 11 часов [Bontis, 2002]. По данным компании IDC в настоящее время средняя скорость роста цифровой вселенной составляет приблизительно 60% в год [IDC]. Происходящие изменения не могут не затронуть сферу образования. В мире создано весьма значительное количество хранилищ цифровых образовательных ресурсов, как открытого доступа, так и ориентированных на пользователей определенных регионов. Растет число последователей (они объединяются в ассоциации) пользователей ресурсов, разрабатываемых академией Кхана, и сторонников методики «перевернутого урока». В США, несмотря на протестные выступления и публикации, идет бум дистанционного школьного обучения. В тех штатах, где это разрешено законодательно, число учеников, обучающихся дистанционно, либо по смешанной методике, растет год от года [Богданова, 2012]. Крупнейшая в США компания K-12, занимающаяся дистанционным школьным образованием, в последнее время широко продвигает свои услуги, публикуя статистику и выступая спонсором целого ряда образовательных мероприятий. Несмотря на происходящие изменения, центральной фигурой в рамках действующих схем обучения по-прежнему продолжает оставаться учитель, а само обучение происходит с теми или иными вариациями в рамках классно-урочной системы. Однако специалисты считают, что в настоящее время школа по существующим программам, методикам и используемым технологиям отстает от веяний времени. Система образования остро нуждается в переменах для того, чтобы дать учащимся знания и подготовить специалистов с учетом происходящих изменений в жизни. О необходимости смены образовательной парадигмы и глубокой реформы образования в целом говорят и над этим работают психологи, исследователи, работники образовательных структур, как в России, так и за рубежом. Настоящая работа представляет краткий обзор работ специалистов, посвященных новым образовательным парадигмам цифровой эпохи.

---

## О коннективизме и навигационизме

---

Новое поколение и изменившаяся среда требует иной образовательной модели, которая может быть сформулирована следующим образом:

- В результате перегруженности информацией возникает потребность в новых способах просеивать, отбирать, структурировать и использовать информацию в соответствии с ее значимостью.
- Обучение в цифровую эру - коллективное по своей природе. Социальные сети, в рамках проводимых проектов, срастаются с образовательными задачами и способствуют упрощению процесса обучения, обеспечивают социальное и когнитивное руководство и поддержку.
- Ученик становится ключевой фигурой в процессе обучения. Он – не пассивный получатель информации, но также и активный соавтор, созидатель и критик.
- И, как следствие, учебный процесс должен становиться в значительной степени персонифицированным, приспособленным к интересам и потребностям индивидуума [Redecker, 2009].

По мнению D. Passig [Passig, 2001], в цифровую эру совершенно необходимыми будут особые когнитивные умения, позволяющие успешно взаимодействовать с информацией в режиме реального времени: люди, которые будут обладать умениями находить информацию, а также анализировать, структурировать и классифицировать ее, бесспорно, будут иметь социальное, культурное и экономическое преимущество. Следует отметить и его утверждение о том, что одним из наиболее интеллектуальных видов деятельности в будущем станет повышение ценности имеющейся информации. Взяв за основу таксономию Блума, он расширил перечень разработанных ранее категорий для того, чтобы четко определить потребности будущего. Результатом его работы стали сформулированные предположения о новом типе когнитивных умений, которыми должны обладать учащиеся в ближайшем будущем. По его мнению, когнитивные навыки будущего должны включать следующие:

- Знание, где найти нужную информацию, и постоянное совершенствование навигационных навыков.
- Расширение существующих моделей мышления, всесторонний анализ информации, нахождение аналогий, образование новых связей и формулирование выводов.
- Оценка надежности информации с учетом фактора времени, контекста и личной интерпретации.
- Нахождение отдельных элементов информации и создание на их основе нового интеллектуального продукта.
- Выбор подходящих наборов информации и их использование для решения проблем в различных ситуациях.
- Создание ассоциативной связи между мыслями, чувствами, идеями.

Существует много примеров обучающих структур на основе доступности информации в цифровой век. Но ни один из примеров не дает полного описания практик обучения, и впоследствии может оказаться ошибочным. Однако все вместе эти примеры отражают основные изменения, происходящие в последнее время в процессе обучения. В первую очередь, это коллективная природа обучения, необходимость просеивания и отбора информации, изменение роли учащегося в учебном процессе с пассивного получателя на активного творческого соавтора, комментатора. Повышение скорости возникновения

нового содержания меняет и отношение к нему, поскольку человек не в состоянии переработать появляющееся новое.

Обучающая стратегия – коннективизм – возникла естественным путем как реакция на существование в переизбытке информации [Siemens, 2004]. Процесс обучения концентрирован на создании специализированных наборов информации, а связи, побуждающие к обучению, становятся, более важными, чем текущее состояние знания. Происходит постоянное потребление новой информации. Первостепенным становится умения ранжировать, отличать важное от неважного. Существенную роль играет умение вовремя осознать тот момент, в который начинает происходить изменение окружающей среды, созданной на основе принятого ранее решения.

Взамен традиционного в прошлом подхода к тщательному анализу информации пользователь создает сеть из так называемых «доверенных» «узлов». Доверие (взамен истины) становится основным условием восприятия или использования информации.

Таким образом, по теории коннективизма обучение – это процесс создания «правильной» сети. Обучающие сети могут рассматриваться как внешние структуры, создаваемые для того, чтобы быть в курсе и непрерывно потреблять, создавать и объединять новые знания, поступающие извне. «Узлы» в таких сетях – это внешние субъекты – люди, организации, web-сайты, книги и т.д.

Обоснованность, или степень, до которой содержимое каждого ресурса совпадает с потребностями пользователя, становится основным критерием восприятия информации, предоставляемой сетью. Обучение проходит следующие стадии [Siemens, 2006]:

- Освоение и восприятие – обучающийся набирает базовые умения для того, чтобы справиться с изобилием информации, имея доступ к ресурсам и инструментарию.
- Образование связей: обучающийся начинает применять знания и инструментарий, накопленные на первом этапе, для создания собственной сети. Он активно действует в пространстве обучения, используя освоенные ресурсы. На этом этапе очень важна способность к фильтрации. Эмоциональные факторы, влияющие на восприятие, играют существенную роль в принятии решения о присоединении или неприсоединении того или иного «узла» к своей сети.
- Участие и вклад – учащийся начинает проявлять себя в сети, становясь, таким образом, «узлом» «видимым». Его активное участие дает возможность другим «узлам» познакомиться с новым ресурсом, его идеями, завязать обоюдные отношения, и появиться общему взгляду. Выбор «правильного» «узла» в обучающей среде существенно повышает эффективность процесса обучения.
- Изучение примеров – активное проявление себя в сети приводит к тому, что учащийся переходит от просто пассивного потребления информации к активному участию. В результате время, проведенное в сети, приводит к развитию способности ощущать сеть и происходящие в ней процессы, распознавать возникающие новые тенденции.
- Осознание важности – учащийся понимает, как реагировать на появляющиеся тенденции, как их можно использовать. Понимание смысла – это основа действий, повод для пересмотра точек зрения, мнений и перспектив.
- Практика – он активно действует, перестраивая свою сеть. Практика – это циклический процесс анализа, эксперимента и действий, позволяющий критически оценивать инструментарий, процессы и элементы созданной им сети. Метакогнитивные навыки позволяют оценить, какой из «узлов» сети полезен, а какой следует удалить или заменить.

Более широкая образовательная парадигма – навигационизм, по мнению автора [Brown, 2006], включает в себя коннективизм (Рис. 1.).



Рис. 1. Соотношение навигационизма с коннективизмом

Опираясь на исследования процесса обучения на основе коннективизма, и, в частности, утверждение о том, что коннективизм формирует взгляд на умения учащегося, а также на учебную деятельность, необходимую для процветания в цифровую эпоху, автор утверждает, что коннективистские умения учащегося совершенно необходимы для обучения в рамках навигационистской парадигмы. В частности, он считает, что постоянное пребывание он-лайн, присущее коннективизму, является обязательным свойством обучающей среды, необходимым в навигационизме, а основные умения и навыки коннективизма, перечисленные ниже, составляют базовый набор умений, необходимых для навигационистской парадигмы:

- Обучение – это процесс объединения специализированных узлов или источников информации.
- Потребность знать больше является более важной, чем то, что уже известно.
- «Взращивание» и поддержка существующих связей необходима для упрощения постоянного обучения.
- Умение увидеть взаимосвязь между идеями, концепциями, отраслями становится ключевым.

Процесс принятия решений также входит в процесс обучения. Умение выбрать, что учить, оценка поступающей информации формируются сквозь призму меняющейся действительности. То, что может казаться правильным сегодня, может завтра оказаться ошибочным в результате изменения информационного климата, влияющего на принятие решений. Появляется новый тип информационной грамотности – навигационная. По мнению [Brown, 2006] настоящая грамотность завтрашнего дня – это умение быть для себя личным библиотекарем, умеющим проводить поиск в безмерных информационных пространствах, не испытывая при этом никаких затруднений.

В навигационизме учащиеся должны будут уметь найти, определить, манипулировать и оценивать информацию и знания для того, чтобы применять их в своей работе и жизни, для решения проблем и передачи этого знания другим.

Помимо перечисленных базовых умений автор приводит несколько примеров знаний и умений, требуемых навигационной парадигмой:

- Умение – «знаю-как» и «знаю-где», позволяющие найти интересующую свежую информацию наряду с умениями, необходимыми осмысленно участвовать в процессе создания знания. Это включает постоянное совершенствование сетевых навыков, позволяющих оставаться составной частью сообществ практики и сообществ обучения.
- Умение определять, анализировать, синтезировать и оценивать примеры и связи.
- Умение интегрировать из разных представленных форм необходимую информацию, исходя из требуемого контекста.

- Умение реструктурировать информацию.
- Умение управлять информацией: определять, анализировать, организовывать, классифицировать, оценивать, добывать и т.д.
- Способность различать важную, нужную и ненужную информацию в процессе решения поставленных задач.
- Придание смысла и упорядочивание хаоса.

Знания и умения, требуемые навигационизмом и приведенные [Brown, 2006] практически полностью совпадают с требованиями коннективизма, и на основе рассмотренных публикаций сложно оценить, насколько и за счет чего навигационизм полнее и шире коннективизма.

---

### **Заключение**

---

Рассмотренные публикации говорят об актуальности темы. Каким образом будет меняться образование, каким путем оно пойдет – сказать сложно. Но совершенно очевидно, что мы стоим на пороге фундаментальных изменений в сфере образования, аналогов которым еще не было.

---

### **Благодарности**

---

Работа опубликована при финансовой поддержке проекта ITHEA XXI Института информационных теорий и приложений FOI ITHEA Болгария [www.ithea.org](http://www.ithea.org) и Ассоциации создателей и пользователей интеллектуальных систем ADUIS Украина [www.aduis.com.ua](http://www.aduis.com.ua).

---

### **Библиография**

---

- [Brown, 2006] Brown, J.S. Beyond constructivism: Navigationism in the knowledge era. On the Horizon, Volume 14 №3, 2006, Emerald Group Publishing limited, Bradford, UK
- [Bontis, 2002] Bontis, N. The rising star of the Chief Knowledge Officer. Ivey Business Journal, March/April 2002
- [Passig, 2001] Passig, D. A taxonomy of ICT mediated future thinking skills. In Taylor, H. and Hogenbrik, P. (2001) Information and Communication Technologies in Education: The School of the Future. Kluwer Academic Publishers, Boston
- [Redecker, 2009] Redecker, C. Review of Learning 2.0 Practices: Study on the Impact of Web 2.0 Innovations on Education and Training in Europe JRC Scientific and technical report. (EUR 23664 EN – 2009)
- [Siemens, 2004] Siemens, G. Connectivism: A learning Theory for the Digital Age. E-learn space <http://www.elearnspace.org/Articles/connectivis.htm>
- [Siemens, 2006] Siemens, G. Knowing Knowledge [www.knowingknowledge.com](http://www.knowingknowledge.com)
- [IDC] [www.idc.com/prodserv/maps/businessintel.jsp](http://www.idc.com/prodserv/maps/businessintel.jsp)
- [Богданова, 2012] Богданова Д.А. Смотрим видео: об эффективном применении информационно-коммуникационных технологий в образовательном процессе, Конференция «Электронные образовательные ресурсы» Москва, 22-25 июня 2012
- 

### **Об авторе**

---



**Диана Богданова** *Институт проблем информатики Российской академии наук,*  
*к.п.н., ст. н.с. e-mail: [d.a.bogdanova@mail.ru](mailto:d.a.bogdanova@mail.ru)*

*Область интересов: дистанционное образование, Интернет-безопасность, качество образовательных ресурсов*

## ЭЛЕКТРОННОЕ ПОРТФОЛИО КАК СРЕДСТВО СОПРОВОЖДЕНИЯ СТУДЕНТОВ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНОМ ПРОЦЕССЕ ВУЗОВ

Воронцов Сергей, Болгов Михаил, Артемьева Ирина

**Abstract:** Портфолио представляет собой одновременно форму, процесс организации и технологию работы с продуктами познавательной деятельности учащихся, предназначенных для демонстрации, анализа и оценки, для развития рефлексии, для осознания и оценки ими результатов своей деятельности, для осознания собственной субъектной позиции. Эти факторы определяют актуальность проблемы, ее значимость для современной системы образования. В свою очередь, электронное портфолио позволяет в значительной степени упростить задачу ведения, хранения и предоставления портфолио обучающегося, а также сделать процесс более эффективным. Но полноценного использования технологии электронного портфолио в России на сегодняшний день нет, как не существует программных комплексов для внедрения в образовательные учреждения с целью реализации технологии портфолио, что делают разработку подобного комплекса чрезвычайно актуальным.

**Keywords:** портфолио обучающегося, электронное портфолио, рефлексивная оценка, самореализация.

**ACM Classification Keywords:** K3.1 Computer Uses in Education

---

### Введение

---

Использование портфолио в системе образования в последнее время получает широкое распространение. В рамках федерального эксперимента по совершенствованию структуры и содержания общего образования отмечается, что «изменения, произошедшие в содержании современного образования за последнее десятилетие, влекут за собой изменение системы оценивания» (отмечает Павельева Н.Г.).

Портфолио представляет собой одновременно форму, процесс организации и технологию работы с продуктами познавательной деятельности учащихся, предназначенных для демонстрации, анализа и оценки, для развития рефлексии, для осознания и оценки ими результатов своей деятельности, для осознания собственной субъектной позиции. Эти факторы определяют актуальность проблемы, ее значимость для современной системы образования. Использование технологии портфолио в образовании давно стало нормой в зарубежном образовании. В России использование технологии пока имеет пилотный характер и практикуется лишь в немногих образовательных учреждениях. Многие исследователи такие как Т.Г. Новикова, Н.В. Зеленко, М.А. Пинская, И.А. Кныш, И.П. Пастухова и др. отмечают, что данная технология решает актуальные и чрезвычайно важные задачи образования, такие как формирование необходимых навыков рефлексии, самооценки, внутренней мотивации, навыков построения траектории профессионального саморазвития и др.

В свою очередь, электронное портфолио позволяет в значительной степени упростить задачу ведения, хранения и предоставления портфолио обучающегося, а также сделать процесс более эффективным. Но полноценного использования технологии электронного портфолио в России на сегодняшний день нет, как не существует программных комплексов для внедрения в образовательные учреждения с целью реализации технологии, что делают разработку подобного комплекса чрезвычайно актуальным.

Основное противоречие: между востребованностью портфолио и необеспеченностью условий внедрения технологии, в том числе, в электронном варианте, сложностью ведения и хранения портфолио большого

количества студентов, отсутствием эффективных программных педагогических средств; потребностью преподавателей в современном средстве обратной связи и отсутствием рекомендаций по обучению преподавательского состава не только работе с программным средством, но и освоением инновационной стратегии организации учебного процесса на основе самооценивания студентами своих индивидуальных достижений.

Противоречие обусловило проблему: создание педагогического программного средства, которое позволит фиксировать, хранить и отображать в необходимом виде портфолио студента, с целью формирования у него необходимых компетенций и личностных качеств.

---

### **Концепция системы**

---

В цели проекта входит разработка научно обоснованной и модели электронного методического портфолио как средства мониторинга и оценивания профессиональных достижений учащихся вузов, инструмента корректирования развития определенных качеств учащихся, а также как демонстрацию профессиональных навыков перед потенциальным работодателем. Именно поэтому предлагаемая модель является связующим звеном между образовательной сферой и рынком труда. Предлагаемая модель электронного портфолио нацелена на:

- повышение качества образовательного процесса и его вариативности;
- расширение возможностей обучения и самообучения;
- развитие медиакомпетентности и информационной культуры будущих специалистов;
- повышение мотивации и социальной активности выпускника вуза.

Электронный портфолио обеспечивает практическую стратегию для систематического сбора материалов (проектов, тестов и т.п.) и документов в виде электронного хранилища данных. Производство собственного электронного портфолио учебных и профессиональных достижений может служить самооценке и внешней оценке, развитию умений и профессиональных навыков.

---

### **Функциональные компоненты системы**

---

На Рис.1 представлена структура связи основных компонентов программного средства «Электронное портфолио» и взаимодействия пользователей с этими компонентами.

#### **1. Портфель фиксации знаний текущего образования**

*Описание.* Содержание портфеля напрямую связано с процессом обучения в рамках дисциплин. Цель портфеля - накопления полезной информации по дисциплинам.

*Техническая функциональность.* Систематизация учебных материалов, заполнение подготовленных по дисциплинам форм, анкет. Онлайн выполнение домашних заданий, подготовленных преподавателем, просмотр списков заданий, просмотр расписания отчетных мероприятий, рейтинга отчетности по дисциплинам, размещение в портфеле проектов, и прочих работ, полученных в рамках выполнения заданий по дисциплинам, публикация важных работ в данном портфеле в другие соответствующие по смыслу портфели. Просмотр важных объявлений о процессе работы в рамках дисциплины. Возможность просмотра дерева связанных объектов расположенных в других компонентах системы.

*Функции в образовании.* Развитие самоорганизации студентов, централизация информации по организации процесса обучения по дисциплинам, что делает студентов всегда актуально осведомленными.

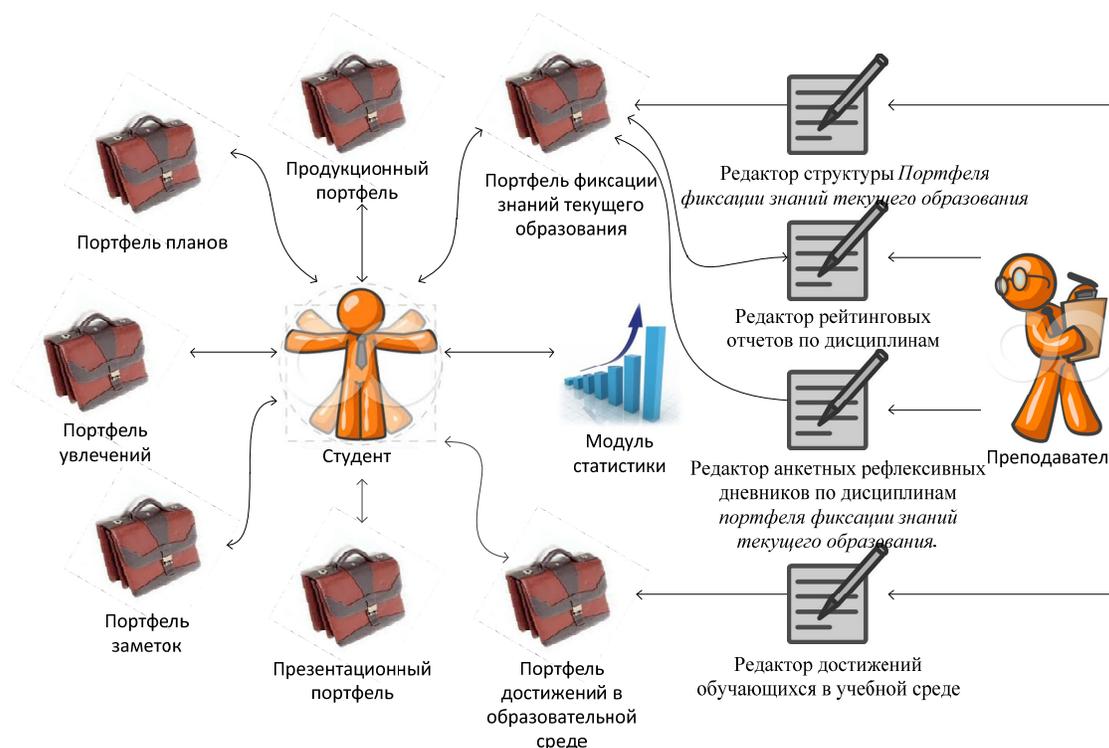


Рис.1 Структура связи основных компонентов программного средства «Электронное портфолио»

## 2. Портфель достижений в образовательной среде

*Описание.* Фиксирует значимые достижения в процессе обучения: победы в олимпиадах, конкурсах, конференциях и т. д., подкрепленные соответствующими нормативными документами.

*Техническая функциональность.* Просмотр, размещение, редактирование достижений, полученных в процессе обучения. Существует возможность добавления комментариев опубликованным в портфеле достижениям. Комментарии могут оставлять не только учащиеся, но и любые пользователи системы, компетентные в оценке достижений (Модерирование комментариев в учебной среде распределяется среди преподавателей, тьюторов). Публикация связанных с достижениями продуктов в Производном портфеле. Возможность просмотра дерева связанных объектов расположенных в других компонентах системы.

*Функции в образовании.* Фиксирование данных для оценки успешности участия студентов в учебной и научной жизни учебного заведения, анализа способностей и интересов, на основании сфер, в которых студенты активны и успешны. Анализ активности по списку достижений с целью подготовки дифференцированных методов в образовании студентов.

## 3. Производный портфель

*Описание.* Публикации, доклады, проекты, курсовые и пр. Данный портфель предназначен не только для хранения материалов, ссылок на продукты учебной и научной деятельности студентов, но также продукты профессионально значимой внеурочной деятельности.

*Техническая функциональность.* Добавление/удаление/редактирование продуктов учебной, научной и другой профессионально значимой деятельности. Написание оценок, отзывов, рецензий критиков, комментариев к достижениям. Возможность просмотра дерева связанных объектов расположенных в других компонентах системы.

*Функции в образовании.* Фиксирование данных для оценки разносторонности развития способностей. Доступ студентов к достижениям/продуктам других студентам способствует развитию самоанализа своих возможностей, способностей, стимулирует к конкурентному саморазвитию.

#### **4. Портфель увлечений**

*Описание.* Предназначен для хранения информации о достижениях студента в его хобби или иной деятельности не связанной с основной программой обучения. Здесь может содержаться информация о спортивных достижениях, достижениях в области искусств и так далее.

*Техническая функциональность.* Добавление/удаление/редактирование информации о спортивных достижениях, достижениях в области искусств и пр.

*Функции в образовании.* Создание более полной личностной картины студента.

#### **5. Портфель заметок**

*Описание.* Данный портфель предназначен для хранения какой-либо информации, которая по своему смыслу не относится ни к каким другим портфелям, но при этом она может быть значительной при составлении дальнейших отчетов или ведении самоконтроля.

*Техническая функциональность.* Добавление/удаление/редактирование информации, которую студент считает важной для себя в дальнейшем. Добавление связей с объектами из других компонентов. Возможность просмотра дерева связанных объектов расположенных в других компонентах системы.

#### **6. Презентационный портфель**

*Описание.* Несет ряд функций для выгодного представления достижений учащегося. В данном компоненте настраиваются списки достижений для представления различным целевым аудиториям (учащиеся, работодатели, преподаватели).

*Техническая функциональность.* Создание презентационных страниц для различных целей на основе существующих в портфолио данных о студенте. Система предоставляет возможность автоматизированной генерации резюме для подачи на потенциальное место работы, презентационных страниц о студенте, учебно-профессиональных характеристик для заявлений на гранты, конференции и пр.

#### **7. Модуль статистики**

*Описание.* Данный компонент несёт функциональность для оценки динамики результатов в рамках учебного процесса. Кроме статистики, основанной на рейтинговых данных, проводится эвристический анализ количественного и качественного роста достижений. Так же данный компонент предназначен для генерации отчетов соответствия достижений студента каким либо целям (например, соответствие требованиям к подаче заявок для программ обмена студентами, получения различных стипендий).

*Техническая функциональность.* Генерация разнообразных отчетов на основании данных о студенте в портфолио.

*Функции в образовании.* Средство развития конкурентной мотивации, самооценивания посредством предоставления таблиц, графиков, диаграмм развития студента на основе формальных, количественных и качественных данных из портфолио.

#### **8. Портфель планов**

*Описание.* В данном портфеле учащийся может создать список того, чего бы он хотел достичь. Для помощи студенту в построении подобных планов, в данном компоненте будет представлен список

возможностей, которые можно реализовать в университете (например, предстоящие мероприятия: олимпиады, дополнительные курсы, лекции ученых, зарубежные конференции и пр.) Так же на основе интересов учащегося и его текущих достижений система автоматически предлагает список наиболее релевантных целей, которые можно было бы внести в свой список и возможностей, которые стоит не упустить.

*Техническая функциональность.* Компонент предоставляет инструментарий для построения траектории профессионального саморазвития, планирования и мониторинга роста в соответствии с предоставляемыми возможностями. Система предоставляет списки релевантных целей, учебных и научных мероприятий, которые максимально подходят студенту на основании существующих в системе данных о нём, его достижениях и увлечениях.

*Функции в образовании.* Содействие личностно-профессиональному самоопределению студентов и развитию у них способности самостоятельного проектирования жизни и профессиональной карьеры. Построение траектории профессионального саморазвития через сопоставление личностных достижений с требованиями образовательного стандарта.

---

### **Рекомендации по корректировке учебного процесса**

---

Интеграция технологии электронного портфолио в учебный процесс является чрезвычайно важным аспектом на этапе внедрения, так как при правильном подходе привносит очень важные мотивационные факторы для учащихся. Не всегда удастся добиться развития внутренней мотивации учащихся в использовании портфолио лишь содержательными объяснениями пользы, которую студенты могут из этого извлечь. Кроме того, рассматриваемая технология во многих аспектах выступает как дидактический инструмент, который должен выполнять свою образовательную функцию, без явного её представления студентам.

Наиболее глубоким способом интеграции является использование портфолио как формы аттестации. Портфолио, как средство мониторинга учебных достижений, ориентируемого в области основной линии образования в университете на формализуемые показатели, станет безусловным мотивирующим фактором, как отражение результатов обучения студентов. И, следовательно, будет восприниматься в этой части студентами, как формальное представление их способностей, умений, навыков и достижений.

---

### **Возможные риски на этапе внедрения**

---

Ниже описан перечень возможных рисков на этапе внедрения технологии «Электронное портфолио»:

1. Научно-технический риск. Касается как инновационной деятельности, связанной с использованием технологии, так и приобретения патентов, лицензий, новой техники и технологий.
2. Нормативно-правовой риск. Является внутренним в части приказов, решений, нормативов, распоряжений, издаваемых внутри учебного заведения. В частности касается интеграции технологии в учебный процесс, использование портфолио, как форму аттестации.
3. Риск недостаточной подготовки преподавателей, тьюторов. Отсутствие компетентного использования технологии преподавателями, может привести к непредсказуемому снижению эффективности технологии.

---

## Заключение

---

Технологии, которые объединяются при создании портфолио, способствуют формированию необходимых навыков рефлексии, т.е. самонаблюдению, размышлению, с тем, чтобы выпускник вуза был способен к самореализации в будущей профессии. Особенно важна профессиональная рефлексия, включающая в себя умение выбора, проектирования и реализации тех или иных профессиональных маршрутов, умение профессиональной самодиагностики (адекватная оценка уровня своего профессионального мастерства и способов его совершенствования в различных аспектах, осознание своей роли в деятельности профессионального коллектива, умение оценки степени посильности выполнения предлагаемых и выбираемых самостоятельных профессиональных задач самого различного масштаба и уровня).

Разрабатываемая в рамках данного исследования система способна в значительной степени упростить процесс ведения, хранения, оценки и использования портфолио. На текущий момент в России технология портфолио, даже в чистом виде, без использования компьютерных технологий, только начинает использоваться и использование информационных технологий в данной сфере учебной деятельности способствовало упрощению как процесса внедрения технологии так и использованию её преимуществ в процессе подготовки современных профессиональных кадров.

---

## Благодарности

---

Работа опубликована при финансовой поддержке проекта ITHEA XXI Института информационных теорий и приложений FOI ITHEA Болгария [www.ithea.org](http://www.ithea.org) и Ассоциации создателей и пользователей интеллектуальных систем ADUIS Украина [www.aduis.com.ua](http://www.aduis.com.ua).

---

## Bibliography

---

- [Марусич, Валеева, 2011] Марусич Е.Н., Валеева Р.Л. Технология «Портфель», Вестник московского образования, 2011.- №11.
- [Новикова, 2004] Новикова Т. Папка индивидуальных достижений «портфолио»: федеральные рекомендации и местный опыт. – 2004.- №7.
- [Новикова, Прутченков, Пинская, Федотова, 2004] Новикова Т.Г., Прутченков А.С., Пинская М.А., Федотова Е.Е. Папка личных достижений школьника – «Портфолио»: теория вопроса и практика реализации/ Под ред. Т.Г. Новиковой. – М.: АПК и ПРО, 2004.
- [Сапеги, 2010] Сапегин К.В. Образовательная технология «Портфолио» // Директор сельской школы.-2010.-№3
- [Columbus, 1997] Career passport: Student workbook. Columbus, OH: CETE OSU, 1997.
- [European Language Portfolio accredited model, 2003] European Language Portfolio accredited model No. 46. 2003 – /ISBN 3-507-71205
- [Новикова, Прутченков, Пинская, Федотова, 2009] Т.Г.Новикова, М.А.Пинская, А.С.Прутченков, Е.Е.Федотова. Использование портфолио учащегося в предпрофильной подготовке и профильном обучении. Москва. Сентябрь. 2009.
- [Тряпицына, Родионова, 2002] Тряпицына Н.П., Родионова. Модернизация общего образования: оценка образовательного результата. – С-П, 2002.
- [Голуб, Чуракова, 2005] Голуб Г.Б., Чуракова О.В. Портфолио в системе педагогической диагностики // Педагогическая диагностика. – 2005. – № 3

- [Бахарева, Никитина, Угольников, 2006] Бахарева М.В., Никитина Э.В., Угольников Е.Г. Использование технологии «учебный портфолио» // Приложение к журналу среднее профессиональное образование. 2006. № 1. С. 41-45.
- [Ванюшкина, 2007] Ванюшкина Л. Современный урок МХК. М.: Чистые пруды, 2007. 32 с. (Библиотечка «Первого сентября», серия «Искусство». Вып. 6 (18))
- [Вебер, 2002] Вебер В. Портфолио медиаграмотности // Информатика и образование. 2002. №8. С. 46-52.
- [Голуб, Чуракова, 2005] Голуб Г.Б., Чуракова О.В. Портфолио в системе педагогической диагностики // Школьные технологии. 2005. № 1. С. 181-195.
- [Загвоздкин, 2004] Загвоздкин В.К. Роль портфолио в учебном процессе. Некоторые психолого-педагогические аспекты (на основе материалов зарубежных источников) // Психологическая наука и образование. 2004. №4. С. 5-10.
- [Зеленко, Могилевская, 2009] Зеленко Н.В., Могилевская А.Г. Портфолио будущего педагога // Стандарты и мониторинг в образовании. 2009. №1. С. 61-63.
- [Кныш, Пастухова, 2008] Кныш И.А., Пастухова И.П. Портфель индивидуальных достижений как контрольно-оценочное педагогическое средство // Среднее профессиональное образование. 2008. №1. С. 69-73.
- [Кудрявцева, 2008] Кудрявцева Е.Ю. Портфолио как инструмент самообразовательной деятельности учащихся // Профильная школа. 2008. №4. С. 8-12.
- [Курдюмова, 2003] Курдюмова И.М. Оценка качества профессионального образования в Великобритании. – М.: Издательский центр НОУ ИСОМ, 2003. 36 с.
- [Молчанова, Тимченко, Черникова, 2008] Личностное портфолио старшеклассника: учебно-методическое пособие / З.М. Молчанова, А.А. Тимченко, Т.В. Черникова. 3-е изд., стер. М.: Глобус, 2008. 128 с.
- [Никитина, 2008] Никитина С.И. Портфолио по информатике // Информатика и образование. 2008. № 6. С. 29-34.
- [Новикова, Прутченков, Пинская, 2008] Новикова Т.Г., Пинская М.А., Прутченков А.С. «Портфолио» - новый и эффективный инструмент оценивания // Директор школы. 2008. № 2. С. 32-35.
- [Новикова, Прутченков, Пинская, 2008] Новикова Т.Г., Пинская М.А., Прутченков А.С., Федотова Е.Е. Использование портфолио учащегося в предпрофильной подготовке и профильном обучении. Методическое пособие. М., 2008. 114 с.
- [Новикова, Прутченков, Пинская, 2005] Новикова Т.Г., Прутченков А.С., Пинская М.А. Портфолио в российской школе // Народное образование. 2005. №1. С. 84-97.
- [Новикова, Федотова, 2009] Новикова Т.Г., Федотова Е.Е. Портфолио и изменение концепции деятельности школы, содержания и методов обучения // Народное образование. 2009. №8. С. 178-184.
- [Переверзев, Синельников, 2008] Переверзев В.Ю., Синельников С.А. Электронное портфолио студента как инновационное оценочное средство // Среднее профессиональное образование. 2008. №1. С. 71-73.
- [Пинская, 2007] Пинская М.А. Портфолио как инструмент оценивания образовательных достижений учащегося в условиях профильного обучения: Автореф. дис. канд. пед. наук. / Академия повышения квалификации и профессиональной переподготовки работников образования. М., 2007. 22 с.
- [Табарданова, 2010] Портфолио учащегося: составление и использование: методические рекомендации / Автор-составитель Т.Б. Табарданова. Ульяновск: УИПК ПРО, 2010. 21 с.
- [Макарова, 2010] Портфолио учителя / сост. Л.П. Макарова. Волгоград: Учитель, 2010. 102 с.
- [Серых, 2006] Серых А.Б. Субъектность педагога – условие взаимодействия с детьми // Мир образования – образование в мире. 2006. №2. С. 79-85.
- [Смолянинова, 2009] Смолянинова О.Г. Е-портфолио в оценивании образовательных достижений и профессиональном развитии магистров // Информатика и образование. 2009. №12. С. 121-122.

[Сыромятников, 2007] Сыромятников И.В. Профессиональная субъектность офицера как фактор профессиональной успешности // Прикладная психология и психоанализ. 2007. №1. С. 78-86.

[Новикова, Федотова, Прутченков, 2005] Федотова Е.Е., Новикова Т.Г., Прутченков А.С. Портфолио как система альтернативного оценивания в практике зарубежной школе // Школьные технологии. 2005. №3. С. 171-180.

---

### Authors' Information

---



**Vorontsov Sergey** – post graduate of the Far Eastern Federal University, P.O. Box: Sakhalinskaya st., building 15, apt. 100, Vladivostok, Primorsky kray, Russia; e-mail: [vorontsovsa@gmail.com](mailto:vorontsovsa@gmail.com)

*Major Fields of Scientific Research: Information technology in education. Parallel & distributed computing technologies.*



**Bolgov Mikhail** – post graduate of the Far Eastern Federal University, P.O. Box: Stoletia St., building 90, Apt. 5, Vladivostok, Primorsky kray, Russia; e-mail: [bolgmike@gmail.com](mailto:bolgmike@gmail.com)

*Major Fields of Scientific Research: Information technology in education. Parallel & distributed computing technologies.*



**Irina L. Artemieva** graduated from Far Eastern State University and worked for the Institute of Automation and Control Processes of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences from 1978 to 2010. Since 2010, she works for the Institute of Applied Mathematics of the FEBRAS. Her scientific interests are within artificial intelligence. She got her PhD in 1992, her Doctor of Science (Computer Science) degree in 2009 and Professor degree in 2011. At present she is a Professor of Far Eastern Federal University (FEFU). She has published 180 scientific papers.

## УЧЕБА В ВИРТУАЛЬНЫХ МИРАХ

Григоркив Василий, Винничук Елена, Винничук Игорь

**Аннотация:** Для виртуальных миров характерно в последние годы стремительный рост количества пользователей. Многие университеты начали изучать возможности виртуальных миров. Использование инновационных Интернет-технологий предлагает новые возможности компьютерно-опосредованной коммуникации. Эта статья показывает, как потенциальные возможности виртуальных миров могут быть использованы, особенно в сфере организации инновационного преподавания и обучения.

**Keywords:** виртуальные миры, e-learning, технологи Web 2.0 .

**ACM Classification Keywords:** K.3.1. Computer Uses in Education

---

### Введение

Число клиентов в виртуальных мирах резко возросло в последние годы. Признаками подобного развития является растущее количество пользователей социальных сетей, к которым относятся, например, Facebook и Вконтакте. Эксперты прогнозируют серьезные изменения в графическом дизайне Интернета в ближайшем будущем, вплоть до появления трехмерных представлений [Bradley, Froomkin, 2005].

Виртуальные миры описывают "пространственное взаимодействие в реальном времени" и предлагают пользователям с помощью 3D-представления участвовать в компьютерной среде и погружаться в нее. Есть много виртуальных миров, например, Канева, HiPiHi или Active Worlds [Virtual Worlds Review, 2008].

С помощью виртуальных миров пользователи могут создавать свои собственные аватары, с которыми они могут перемещаться в пределах одного или нескольких виртуальных миров и совершать какие-либо действия в них. Такие пользователи, в свою очередь, разрабатывают свои собственные виртуальные предметы и продукты, и распоряжаются в дальнейшем авторскими и патентными правами на свою продукцию. Некоторые из этих виртуальных платформ, представляют квази-реальный сектор экономики с собственной валютой. Так, например, оборот экономики виртуального мира Second Life в 2010 году составил 567 миллионов долларов в реальной американской валюте [Rosenwald, 2010].

С начала 1990-х годов виртуальные миры были проанализированы учеными из различных отраслей науки. Научные дискуссии касались не только чисто технических вопросов, но фокусировались на увеличении социальных и экономических аспектов виртуальных миров [Hendaoui, 2008]. Но на сегодня в отечественной литературе не так уж много исследований, которые изучают вопросы использования компьютерно-опосредованной коммуникации в обучении, а также электронной, смешанной и дистанционной форм обучения. В частности, отсутствуют эмпирические результаты, проливающие свет на использование и успех виртуальных миров.

---

### Концепции преподавания в виртуальных мирах

В настоящее время в научном дискурсе основное внимание уделяется вопросам маркетинга в виртуальных мирах. Как показывают маркетинговые исследования, виртуальные миры могут использоваться по-новому: для привлечения клиентов или участия в экспериментах и моделировании.

Виртуальные миры могут обеспечить захватывающий опыт, и, следовательно, возможность выхода за пределы традиционного ассортимента интернет-технологий. Жизнь в виртуальных мирах описывает

чувства пользователей через их аватары, становясь частью реальной жизни. Это позволяет субъектам формировать свою среду, они могут передвигаться и воспринимать ощущения, а также жесты и мимику партнера по общению.

Несмотря на захватывающий игровой характер виртуальных миров они могут стать одним из ключевых аспектов новых возможностей в проведении комбинированных учебных мероприятий. С точки зрения механизмов преподавания виртуальные миры открывают новые каналы. Использование 3D-представление аватара в сочетании с интеграцией голосовой связи на основе использования передачи голоса по IP (VoIP) имеет более глубокий уровень взаимодействия, чем у традиционных интернет-технологий, таких как электронная почта, блоги, Wiki или Instant Messenger. В литературе приведено немало примеров использования виртуальной реальности в самых разных областях человеческой деятельности: музыка, виртуальные магазины, искусство, развлечения, путешествия, техника.

Виртуальные миры предлагают много возможностей для их использования в образовании и обучении. В настоящее время около 300 учебных заведений по всему миру, в частности, американские (в том числе Гарвардский и Йельский), немецкие, английские и австралийские университеты, активно пытаются создать понятие нового учебного процесса [Institutions and Organizations in SL, 2011]. В настоящее время не только университеты, но и компании начали активно использовать возможности виртуальных миров в вопросах внутреннего управления знаниями либо для интеграции клиентов.

В последние годы широко обсуждаются проблемы дистанционного обучения, направленного на опосредованное взаимодействие обучающегося и преподавателя и осуществляемое на основе информационных технологий, прежде всего с использованием средств телекоммуникаций. В число этих информационных технологий входят и технологии трехмерных виртуальных пространств.

На основе конструктивизма учащиеся получают представление о положении вещей на основе их собственных ментальных оценок, основанных на комплексных знаниях и взаимодействиях. Социальные компоненты программного обеспечения, такие как Wiki, Instant Messaging, форумы, системы с обратной связью и виртуальные пространства, могут быть использованы для повышения эффективности общения, обмена информацией и формированию социальной структуры [Глазерсфельд, 2009]. В связи с этим можно наблюдать положительный эффект от совместного обучения в интернет-среде. В частности, свойства и функции виртуальных миров позволяют получить зрительные и слуховые, а также пространственные, концептуальные и процедурные знания.

С точки зрения конструктивистского подхода к обучению "опыт" и самостоятельное освоение данных стоят на первых ролях при передаче знаний. В частности, это дает возможность подчеркнуть автономию учащегося и сделать предположение, что только ученик может построить структуру самооценки знаний. Виртуальные миры в силу их особых свойств дают возможность получить бесценный опыт. Это проявляется особенно в тех случаях, когда реальное осуществление учебных процессов возможно только при высокой стоимости и/или больших затратах времени. Использование же виртуальных миров дает возможность минимизировать издержки и максимизировать пользу для учащегося.

Таким образом, использование виртуальных миров в образовании предоставляет учащимся ряд возможностей, среди которых [Купер, Гриффит, 2011]:

- Возможность доступа из любой точки мира с помощью простого Интернет-соединения;
- Трехмерная среда предоставляет многоканальность, «сгущенность» информации;
- Социальные взаимодействия в реальном времени и на межличностном уровне;
- Финансовая доступность, ведь для пользования технологией, как правило, достаточно персонального компьютера или ноутбука;

- Для большинства учащихся виртуальные миры оказываются далеко за пределами привычного им уровня креативности и инноваций;
- Виртуальные миры приспособлены для открытого, креативного, инновационного обучения;
- Опыт говорит о том, что даже застенчивые учащиеся в виртуальных мирах чувствуют себя увереннее и безопаснее, а чем комфортнее людям находиться в учебной среде, тем она эффективнее. Преподаватели свидетельствуют, что в ходе виртуальных учебных сессий учащиеся задают больше вопросов, чем в ходе очного обучения, и предполагают, что при «живом» взаимодействии, по всей вероятности, теряются некоторые учебные возможности.

Эти информационные технологии позволяют снизить трудоемкость при обучении, т.к. совокупность методов, производственных и программно-технологических средств, объединенных в технологическую цепочку, обеспечивают сбор, хранение, обработку, вывод и распространение информации и дают возможность повысить эффективность обучения за счет увеличения визуальной информации на аудиторных занятиях, расширения форм тренировки и контроля при самостоятельной работе, предметной и методологической вариативности заданий.

Виртуальные миры имеют в своем распоряжении в дополнение к инновационным технологиям (таких как голос поверх IP, 3D изображения) две другие характеристики, которые играют не менее важную роль для использования виртуальных миров в преподавании:

- *Согласованность* описывает то же или аналогичное восприятие объектов пользователями виртуального мира. Эти объекты являются объектами авторского права и предназначены для торговли с помощью виртуальной валюты. Это приводит к неявному представлению функций электронной коммерции.
- *Постоянство* описывает особенность того, что виртуальные миры продолжают существовать даже тогда, когда пользователь покидает их.

С помощью этих характеристик виртуальных миров возможно получить знания в различных областях знаний. Студенты могут с использованием виртуальных миров принять роль более активного ученика. Это активное обучение отражено в параметрах взаимодействия и погружения объекта, которые вместе могут построить структурную модель для анализа существующей организации учебного процесса для виртуальных миров (рис. 1).

Следуя конструктивистскому подходу, результаты обучения растут с увеличением степени взаимодействия, например, собственное построение структуры знаний может быть ускорено путем обсуждения в учебных группах. Высокая степень погружения способствует развитию опыта и пониманию сложных вопросов. Потенциал новых виртуальных миров не может быть раскрыт с помощью простого перехода от традиционного обучения в виртуальное пространство. Напротив, должны развиваться концепции проектов, которые демонстрируют одновременно высокую степень погружения и взаимодействия. Сочетание этих двух факторов возможно в современных учебных платформах в очень ограниченной степени. Взаимодействие поддерживается на уровне технологии Web 2.0, в то время как этого нет в отношении уровня погружения. Конструктивистский подход предполагает, что знания могут преподаваться более полно и просто в виртуальных мирах.

На Рисунке 1 приведена структурная модель учебы в виртуальных мирах. Квадрант юго-запад характеризуется низкой степенью погружения и уровня взаимодействия. Эта область представляет пассивное поглощение знаний, такое как прослушивание музыки или запись информации в рамках виртуального учебного занятия, которое будет иметь вид простой презентации.



Рис 1: Структурная модель для преподавания и изучения механизмов в виртуальных мирах

Структурная модель имеет два других сектора, которые сочетают низкую степень взаимодействия и высокую степень погружения, и наоборот. Виртуальные музеи и анимация в виртуальных мирах предлагают сильные ощущения, которые дают возможность считать себя частью этой среды, однако, способность взаимодействия с другими пользователями ограничена. С другой стороны, можно использовать обучающие семинары в виртуальном мире, а также системы управления обучением, которые интегрированы с приложениями Web 2.0. Однако, хотя это и дает широкие возможности для обмена идеями с другими участниками, но при этом степень погружения является относительно низкой. Три описанных выше квадранта показывают сценарии для обучения и преподавания, которые могут быть использованы для распространения знаний в виртуальных мирах. Тем не менее, потенциал для передачи знаний виртуальных миров в полной мере может быть отображен только в северо-восточном квадранте. Этот потенциал основано на конструктивистском подходе к обучению и является самым высоким, так как интенсивность погружения есть очень высокой и есть широкие возможности для взаимодействия. Опишем лучшие примеры из практики внедрения виртуальных миров в учебный процесс, которые можно использовать в образование украинских вузов:

1. Институт судебной информатики в университете Саарбрюкена предлагает своим студентам возможность участвовать в виртуальных "учебных судебных процессах", чтобы принять участие в виде виртуального суда. В рамках юридического образования, студенты имеют возможность поставить себя в роли судьи или адвоката [SecondLifeRecht, 2012].
2. Goethe Institut, который предоставляет возможность изучать немецкий язык и имеет филии по всему миру, устраивает по утвержденному расписанию «Немецкие встречи». В ходе этих встреч участники общаются с преподавателями и другими участниками, имея при этом возможность выбрать тему разговора. Во время разговоров преподаватели указывают на ключевые слова и фразы, имеющие отношение к данной тематике, приводят примеры использования изученных фраз. Важным фактором является то, что данные «Немецкие встречи» бесплатные для участников [Deutsch im Web, 2012].
3. С 2008 года в Университет Сан-Мартин-де-Поррес, Перу работает в виртуальном мире, развивая прототипы перуанской археологических зданий и подготавливая учителей для новой парадигмы

образования [USMP in Second Life, 2012].

4. Школа медицины при Бостонском университете совместно с Всемирной организацией здравоохранения провела успешный эксперимент по изучению нескольких лекций с помощью виртуальных миров. Результаты были весьма успешными и все участники эксперимента позитивно оценили полученный опыт [Wiecha, 2010].

Виртуальные мира также можно успешно использовать для проведения экономических экспериментов и моделирования реальных ситуаций. Это позволит избежать неправильных шагов поведения субъекта и принятия неэффективных управленческих решений, так как в виртуальном мире можно моделировать экономические ситуации без существенных затрат, чего нельзя сделать непосредственно в реальной экономике. В частности, например использование виртуальных миров позволяет студентам-экономистам проверить реакцию пользователей на новую продукцию. Это может иметь решающее значение, поскольку это даст понимание относительно того, что рынок и клиенты хотят от новых продуктов, какими конкурентными преимуществами должны владеть эти товары. Использование виртуальных миров разрешает спрогнозировать деятельность предприятия в новых условиях, оценить ожидаемые выгоды, риски и потери. Студенты-экономисты с помощью таких информационных технологий могут успешно моделировать бизнес-процессы предприятия, естественно ориентированные на достижения целей предприятия, обеспечивающихся его конкурентоспособностью и прибыльностью.

Также с точки зрения экономики очень полезным может быть опыт применения виртуальных миров как новой формы рекламы. Примером этого может быть компания Apple, которая создала интернет-магазин в виртуальном мире "Second Life" [Rose, 2007]. Это позволяет пользователям просматривать последние инновационные продукты. Пользователи не могут реально приобрести продукт, но наличие «виртуального магазина» представляет собой способ доступа к различным клиентам.

---

## **Заключение**

Таким образом, можно утверждать, что виртуальный мир – это технология сравнительно новая и мировая информационная сеть переходит от двухмерной, текстовой инфраструктуры к трехмерной, действующей в реальном времени с учетом местоположения пользователя, интерактивной. Эти перемены обещают быть столь же кардинальными, как распространение Интернета в начале 90-х. С помощью технологии виртуальных миров создается ощущение присутствия человека в определенной среде и таким образом дают возможность закреплять и развивать различные навыки и умения. Виртуальный мир позволяет вести обучение посредством сети Интернет, с индивидуальным и групповым погружением, и даст пользователям возможность взаимодействовать с объектами виртуального мира: предметами и персонажами, осуществлять общение между собой с использованием текста, голоса, жестов, видео и др.

Время для широкого использования виртуальных миров в образовании и обучении в украинских вузах еще не созрело. Но независимо от этого, обучение, которое может быть достигнуто за счет различных сценариев передачи знаний в виртуальных мирах, при определенных обстоятельствах и проблемах украинских реалий все же имеет большое значения. Проблемы использования виртуальных миров должны быть преодолены для эффективного использования преподавания или изучения механизмов в университетском образовании в будущем.

---

## **Благодарности**

Работа опубликована при финансовой поддержке проекта ITHEA XXI Института информационных теорий и приложений FOI ITHEA Болгария [www.ithea.org](http://www.ithea.org) и Ассоциации создателей и пользователей интеллектуальных систем ADUIS Украина [www.aduis.com.ua](http://www.aduis.com.ua).

---

**Литература**


---

- [Bradley, Froomkin, 2005] Bradley C., Froomkin M. Virtual worlds, Real rules. In: New York Law School Law Review. Vol. 49, No. 1 (2004-2005)
- [Virtual Worlds Review, 2008] Virtual Worlds Review [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.virtualworldsreview.com/>
- [Rosenwald, 2010] M.S. Rosenwald Second Life's virtual money can become real-life cash [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.washingtonpost.com/wp-dyn/content/article/2010/03/07/AR2010030703524.html?hpid=topnews>
- [Hendaoui, 2008] Hendaoui A., Limayen M., 3D Social Virtual Worlds, in: IEEE Internet Computing. Vol. 12, Nr. 1, (2008)
- [Institutions and Organizations in SL, 2011] Institutions and Organizations in SL [Электронный ресурс] – Режим доступа: [http://www.simteach.com/wiki/index.php?title=Institutions\\_and\\_Organizations\\_in\\_SL#UNIVERSITIES.2C\\_COLLEGES\\_.26\\_SCHOOLS](http://www.simteach.com/wiki/index.php?title=Institutions_and_Organizations_in_SL#UNIVERSITIES.2C_COLLEGES_.26_SCHOOLS)
- [Глазерсфельд, 2009] Конструктивистский подход к обучению [Электронный ресурс] – Режим доступа: [http://elib.bsu.by/bitstream/123456789/8189/1/pages%20from%20ph%26ss\\_2009-3.%2052-60.pdf](http://elib.bsu.by/bitstream/123456789/8189/1/pages%20from%20ph%26ss_2009-3.%2052-60.pdf)
- [Купер, Гриффит, 2011] Трёхмерные виртуальные миры – новые возможности корпоративного обучения [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.smart-edu.com/3d-worlds-in-learning.html>
- [SecondLifeRecht, 2012] Second Life Recht [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.jurawiki.de/SecondLifeRecht>
- [Deutsch im Web, 2012] Deutsch üben im Web: Second Life [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.goethe.de/lrn/duw/sdl/>
- [USMP in Second Life, 2012] USMP in Second Life [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.usmp.edu.pe/secondlife/>
- [Wiecha, 2010] Wiecha J, Heyden R, Sternthal E, Meriardi M. [Электронный ресурс] – Режим доступа: Learning in a virtual world: experience with using Second Life for medical education <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20097652>

---

**Информация об авторах**


---



**Василий Григоркив** – д. ф.-м. н., профессор, зав. кафедры экономико-математического моделирования Черновицкого национального университета имени Юрия Федьковича, Черновцы, ул. Коцюбинского, 2; e-mail: [vasyl.hryhorkiv@gmail.com](mailto:vasyl.hryhorkiv@gmail.com)

Основные направления научных исследований: математическое моделирование экономических, эколого-экономических и социально-экономических процессов и систем



**Винничук Елена** – к. э. н., доцент кафедры экономико-математического моделирования Черновицкого национального университета имени Юрия Федьковича, Черновцы, ул. Коцюбинского, 2; e-mail: [o.vinnychuk@chnu.edu.ua](mailto:o.vinnychuk@chnu.edu.ua)

Основные направления научных исследований: моделирование динамики экономических и эколого-экономических систем



**Винничук Игорь** – ассистент кафедры экономико-математического моделирования Черновицкого национального университета имени Юрия Федьковича, Черновцы, ул. Коцюбинского, 2; e-mail: [i.vinnychuk@chnu.edu.ua](mailto:i.vinnychuk@chnu.edu.ua)

Основные направления научных исследований: экономико-математическое моделирование и компьютерно-информационный мониторинг процессов теневой экономики

## УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ТЕСТИРУЮЩЕ-ОЦЕНИВАЮЩАЯ ПРОГРАММНАЯ СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ УЧЕБНЫХ КУРСОВ ПО ТЕОРИИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

**Алексей Волошин, Даниил Ковалёв**

**Аннотация:** Рассматривается программное обеспечение поддержки курсов по теории принятий решений в виде учебно-методической тестирующей-оценивающей системы. Описывается эволюция его разработки, структура, назначение и функционирование. Приводится пример использования.

**Ключевые слова:** информационные технологии в образовании, учебно-методические программные системы, MS Visual Studio, C #, командная разработка, система защиты авторских прав, теория принятия решений.

**ACM Classification Keywords:** D.2.13 reusable Software - Reuse models.

---

### Введение

---

На конференции MeL-2006 [Волошин, 2006] впервые были представлены результаты по созданию учебно-методического программного продукта (ПП) для поддержки нормативного учебного курса «Системы и методы принятия решений» (СМПР), читаемого на факультете кибернетики Киевского национального университета имени Тараса Шевченко для студентов третьего курса специальности «информатика» направления «прикладная математика». Читаемый курс состоит из 34 лекционных часов, 17 часов лабораторных занятий и 57 часов самостоятельной работы, его содержание базируется на учебном пособии [Волошин, 2006а] (с 2010 года - [Волошин, 2010]). В течение семестра студент должен был выполнить 3 лабораторные работы (с учетом сложности задания), которые заключались в создании программных модулей, реализующих конкретные алгоритмы решения задач теории принятия решений (ТПР). Организация лабораторных работ была следующей: первое занятие – постановка задачи; второе (через 2 недели) – промежуточный контроль, уточнение задания, консультация; третье – прием задания. Выполнение лабораторной работы осуществлялось студентами за счет часов, выделяемых на самостоятельную работу (10-12 часов на одну лабораторную). В случае, когда по реализации программного модуля имелись замечания, окончательный прием лабораторной работы осуществлялся в течение двух недель в неаудиторное время. После приема первой лабораторной работы выдавалось задание по второй и т.д. Окончательный прием выполненного задания осуществлялся «комиссией», состоящей из преподавателя и двух студентов. Результирующая оценка по курсу СМПР (исходя из 100-бальной шкалы) определялась следующим образом: 40 баллов (экзамен), 20 баллов (2 контрольные работы), 30 баллов (лабораторные работы), 10 баллов (коллоквиум по теоретическим вопросам курса за 2-3 недели до окончания семестра).

Первая версия программной системы SMPR0 [Волошин, 2006] представляла собой набор отдельных программных модулей, реализующих некоторые алгоритмы решения задач ТПР определенного раздела курса в соответствии с [Волошин, 2006]. Программные модули функционировали независимо, реализовывались на различных языках программирования, имели произвольную структуру и внешнее представление и оформление.

В следующей версии системы SMPR1 [Волошин, 2008] была реализована возможность взаимодействия программных модулей путем формирования унифицированных требований к их программной реализации, осуществляемой на языке программирования C # с помощью платформы .NET, среды разработки MS Visual Studio и технологии командной разработки SVN [Гамма, 2007].

Разработка проекта SMPR1 вызвала необходимость организации коллективной разработки ПП. Интересно отметить, что во время разработки проекта SMPR1 принципы коллективного создания программных продуктов на факультете кибернетики не только не применялись, но и не преподавались (со слов студентов) и эта проблема (коллективная разработка программного обеспечения) «намного сложнее, чем кажется на первый взгляд» (подробнее см. [Волошин, 2008]). Реализация отдельных разделов курса СМПП осуществлялась группами студентов под руководством «координаторов». Систему SMPR1 по функционированию содержательно можно назвать «учебно-методической демонстрационно-тестирующей». Наряду с демонстрацией решения конкретной задачи ТПП пользователь мог проверить правильность решения задачи, указывая ответ и получая оценку «правильно-неправильно».

В SMPR2 [Волошин, 2010а] была реализована функция оценивания знания студента-пользователя методов решения задач ТПП определенного раздела курса, расширен интерфейс системы, в частности, в использовании языков описания – украинский, русский, английский, китайский (отдельные модули). SMPR2, как приложение к учебному пособию [Волошин, 2010], была представлена участникам конференции MeL-2010 (Киев, сентябрь, 2010 г.). Система SMPR2 при чтении курсов по теории принятия решений уже используется в ряде вузов Украины (в частности, Киева, Одессы, Ужгорода и Черкасс).

Представляемую в данном докладе версию SMPR3 авторы считают «промышленным» вариантом системы. По сравнению с SMPR2 в SMPR3 добавлено две основные функции: 1) оценка знаний пользователя-студента по всему курсу СМПП с учетом всех разделов. Общая оценка выдается в нечеткой форме (например, «Ваши знания можно оценить между «удовлетворительно» и «хорошо», но ближе к оценке «удовлетворительно»; «Вам необходимо подучить такой-то раздел курса»); 2) вторая функция связана с системой защиты программной системы от несанкционированного использования (см. ниже). Версия SMPR3 будет прилагаться на отдельном диске к следующему изданию учебного пособия по ТПП.

В следующей версии SMPR4 авторами планируется осовременить систему, переведя ее в среду Интернет, т.е. создать сайт, содержащий полную функциональность системы и доступный любому пользователю в любое время.

---

### **Общая информация о программной системе SMPR**

---

Система состоит из ядра и набора специализированных модулей, который отвечает за решение определенного класса задач. Ядро создает среду функционирования модулей с возможностью параллельного решения задач и обмена данными между модулями. Оно представляет собой общие интерфейсы, стандарты обмена данными, системы помощи и информации о модуле.

Ядро включает буфер - средство обмена данными между модулями. Буфер может манипулировать исходными данными разного рода, а также результатами их обработки. Он представляет собой "среду обитания" данных уровня системы, то есть данных, к которым может получить доступ любой модуль. На архитектурном уровне буфер представляет собой специальный класс, который предоставляет модулям интерфейсы загрузки, хранения и валидации данных. Ядро системы не является специализированным под конкретные алгоритмы конкретного учебного курса. Конкретику задач предоставляет только тот набор внешних модулей, который доступен ядру для использования. Именно это свойство ядра системы позволяет использовать его как основу для разработки учебно-методических систем для различных учебных курсов, имеющих структуру "класса задач - методы их решения" с возможностью обмена данными между классами. Структура модуля, отвечающего за конкретный класс задач, построена таким образом, что ядро может автоматически определять не только наличие модуля, но и некоторые его характеристики (время использования, количество попыток использования и т.п.).

Система спроектирована с учетом возможности расширения ее функциональности путем добавления новых классов задач, а также методов решения имеющихся задач. Для расширения перечня классов решаемых задач создается новый проект модуля, в котором реализуются заложенные на этапе проектирования абстрактные классы. Созданный проект компилируется в библиотеку, которая добавляется в папку плагинов (дополнений) системы. После запуска программного комплекса новая функциональность будет автоматически добавлена в главное меню проекта. Добавление новых методов решения задач реализуется несколько иначе. Оно требует ознакомления с абстрактным классом конкретного модуля. В каждом проекте модуля, а также в шаблоне проекта, находится специальная папка, в которой содержатся файлы классов методов решения задач данного модуля. Добавление нового метода заключается в добавлении в эту папку нового файла, в котором будет реализован класс метода, после чего необходима перекомпиляция всего проекта. Поскольку система состоит из ядра и множества модулей, представленных в форме плагинов, наличие или отсутствие отдельно взятого модуля не влияет на работоспособность других модулей системы в целом.

Схема работы отдельного модуля представлена на рис.1.

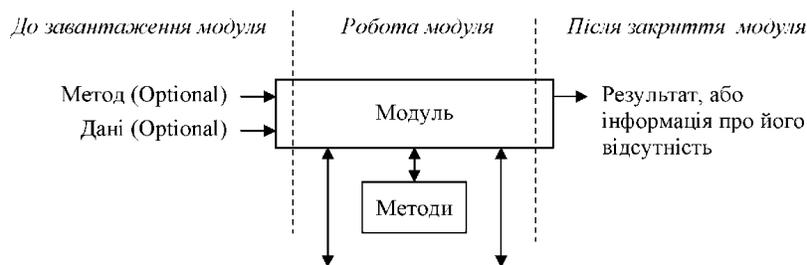


Рис.1. Схема работы модуля

Каждая тема представлена отдельным модулем в отдельном окне. Данные могут быть введены как с клавиатуры, так и из буфера программы. Каждый модуль имеет систему тестирования, предназначенную для проверки знаний.

## Вид и функциональность основного окна системы системы

«Шапка» программы (1) включает в себя закладки:

1) «Файл», которая позволяет быстро закрыть программу; 2) «Модули», с которой можно запустить любой модуль; 3) «Язык», которая позволяет переключить интерфейс программы на один из четырех языков (украинский, русский, английский, китайский); 4) «Помощь». Закладка «Помощь» имеет два подраздела:

3.1) «О программе», который вызывает окно с полной информацией о разработчиках проекта и их контактами; 3.2) «Модули», который открывает дополнительное меню, привязанное к каждому из подключенных модулей и содержащее информацию по использованию модуля и теоретический материал.

На рис. 2 представлен основной интерфейс системы, в котором описаны разделы курса ТПР (содержание окон в данном случае не принципиально, далее содержание окна будет описано на примере одного из разделов).

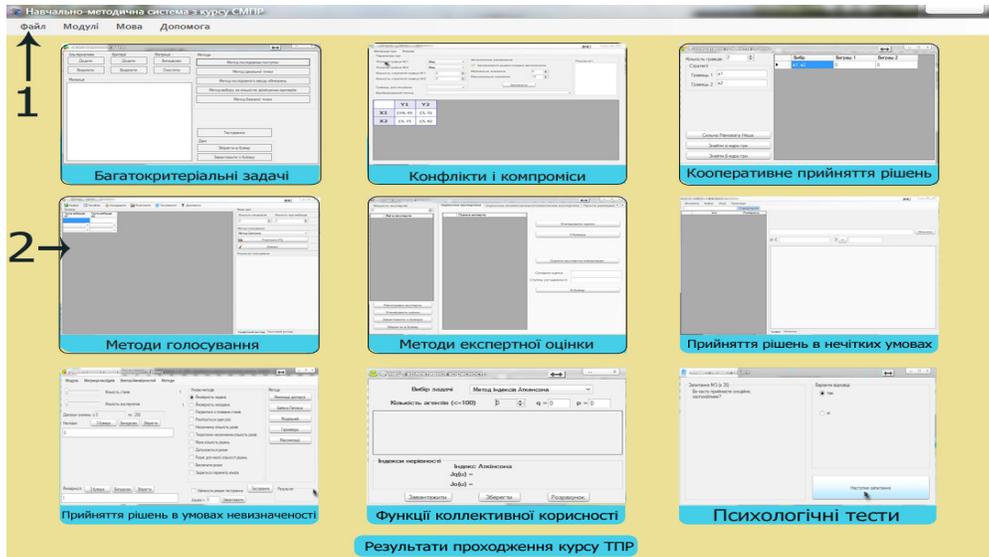


Рис.2. Основной интерфейс программы

### Пример работы модуля «Конфликты и компромиссы»

Рассмотрим функционирование и внешний вид модуля «Конфликты и компромиссы» (рис.3). С помощью опций можно задать условия решаемой задачи. Входная матрица может быть задана вручную, загружена из буфера обмена или сгенерирована автоматически, если необходимо.

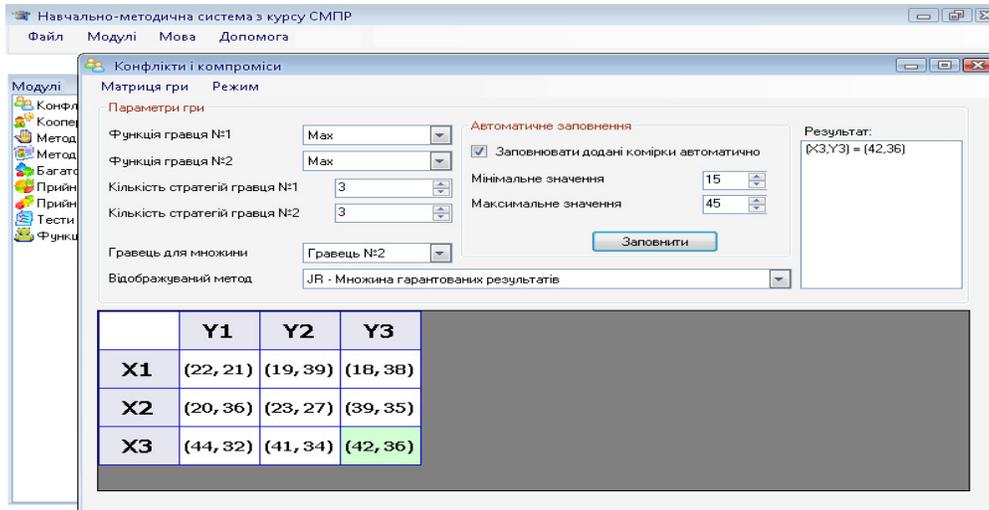


Рис.3. Структура модуля «Конфликты и компромиссы»

В модуле содержится 10 методов, каждый из которых может быть использован. Решение подсвечено зеленым во входной матрице и выводится в отдельном поле для удобства. У каждого модуля есть также второй режим - режим тестирования и имеется возможность самостоятельно выбирать методы для тестирования знаний пользователя. Для введения ответа достаточно «щелкнуть» курсором мыши по полю, где содержится ответ. Кнопка «Проверить» укажет правильный результат и выведет количество заработанных баллов. В дальнейшем этот результат автоматически сохраняется в ядре системы для демонстрации, по требованию пользователя, уровня его знаний.

Во всех модулях имеется функция случайного заполнения данными для быстрой демонстрации или проверки знаний. С помощью удобных элементов интерфейса можно задать собственные значения и мгновенно получить решение. Как уже было сказано, каждый модуль может взять значение из буфера программы, который сохраняет произвольное количество значений скалярного, векторного и матричного типа. На закладке «Помощь» имеется вся теоретическая информация (постановка задачи, методы решения и т.п.), необходимая для усвоения материала, использованного в модуле.

---

### Система контроля знаний

---

В каждом из модулей программной системы реализованы методы, которые предлагают студенту постановку задачи и дают определенное задание: например, нахождение оптимальной, по некоторым критериям, стратегии; определение необходимого множества состояний системы и др. Задачи генерируются автоматически, во избежание повторений, и могут иметь различную сложность (размерность задачи, количество состояний или участников и т.п.).

Вся информация об оценках, полученных во время прохождения тестов, хранится в системе и может быть получена пользователем в любое время в виде окна с общими результатами тестирования по всем разделам курса и рекомендации по тем разделам, которые необходимо изучить лучше.

---

### Система защиты

---

Система защиты ограничивает возможности несанкционированного копирования программы и позволяет «внимательнее относиться» к пользователям программы.

Специфика системы защиты заключается в том, что во время первого запуска программа просит прислать разработчику уникальный идентификатор, на основе которого будет создан ключ для программы (Рис.4). Этот ключ будет работать только для компьютера, на котором был получен идентификатор.

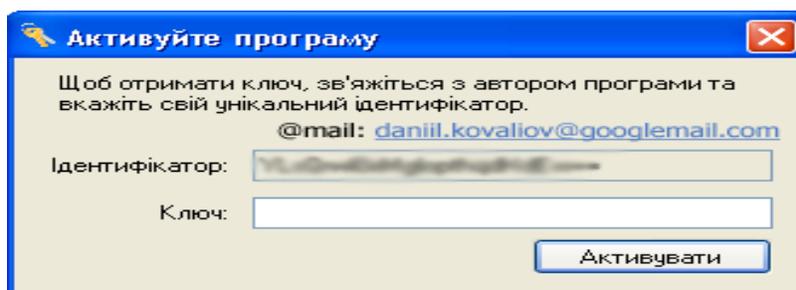


Рис. 4. Система активации

Этот принцип реализуется путем считывания серийного номера жесткого диска и шифрования его в уникальный код. Администратор получает этот код от пользователя, например, по электронной почте, и на его основе, с помощью специальной программы, создает ключ для активации. Таким образом, администратор имеет базу данных пользователей программы. Это позволяет предоставлять им обновления и в любой момент оказывать помощь по использованию программы.

---

### Заключение

---

Представляемая в докладе учебно-методическая тестирующе-оценивающая программная система SMPR3 поддержки учебного курса «Системы и методы принятия решений» является полноценным программным продуктом для проведения лекций и лабораторных работ по теории принятия решений, тестирования и оценки знаний студентов. Авторы рекомендуют использовать ее в других вузах, а также

использовать ее инструментальные средства (ядро) для разработки программных продуктов поддержки иных учебных курсов.

В дальнейшем авторами планируется перевести систему в среду Интернет, создать сайт, который будет иметь полную функциональность системы и будет доступен любому пользователю в любое время.

---

### **Благодарности**

---

Работа опубликована при финансовой поддержке проекта ITHEA XXI Института информационных теорий и приложений FOI ITHEA Болгария [www.ithea.org](http://www.ithea.org) и Ассоциации создателей и пользователей интеллектуальных систем ADUIS Украина [www.aduis.com.ua](http://www.aduis.com.ua).

---

### **Список литературы**

---

- [Волошин, 2006] А. Волошин, К. Березовский., И. Дроздов. В создание коллективных учебно-методических программных продуктов по курсу «Теория принятия решений» // Труды конф. «MeI-2006», София, 2006. - С.67-70.
- [Волошин, 2006а] А.Ф. Волошин, С.А. Мащенко. Теория принятия решений. Учебное пособие. - Киев: Издательско-полиграфический центр «Киевский университет», 2006. - 304 с. (Укр.яз.).
- [Волошин, 2010] А.Ф. Волошин, С.А. Мащенко. Модели и методы принятия решений. Учебное пособие. - Киев: Издательско-полиграфический центр «Киевский университет», 2010. - 336 с. (Укр.яз.).
- [Волошин, 2008] Об опыте коллективной разработки учебно-методических программных систем, труды конференции «MeI-2008». - София, 2008.
- [Гамма, 2007] Э.Гамма, Р. Хелм, Дж. Влиссидес. Приемы объектно-ориентированного проектирования. Паттерны проектирования. - М.: Издательство «Питер», 2006.
- [Волошин, 2010а] О.Ф. Волошин. Про досвід колективної розробки навчально-методичних програмних систем. Ужгород: Праці V Міжнародної школи-семінару «Теорія прийняття рішень», Ужгород, 2010.-274 с.
- 

### **Информация об авторах**

---

*Алексей Волошин* – профессор Киевского национального университета имени Тараса Шевченко, факультет кибернетики; e-mail: [olvoloshyn@ukr.net](mailto:olvoloshyn@ukr.net)

*Даниил Ковалев* – студент КНУ им. Т. Шевченко; e-mail: [daniil.kovaliov@gmail.com](mailto:daniil.kovaliov@gmail.com)

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОРГАНИЗАЦИОННОЙ МОДЕЛИ OPERA ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ РЫНКОМ ЗНАНИЙ

**Глибовец Николай Николаевич, Сидоренко Марина Олеговна**

**Аннотация:** В работе описываются основные требования к организационным моделям управления знаниями. Рассмотрена организационная модель Opera. Фреймворк Opera состоит из трёх взаимосвязанных моделей: организационной, социальной и модели взаимосвязи. Рассмотрена организационная модель рынка знаний.

**Ключевые слова:** управление знаниями, организационная модель Opera, рынок знаний.

**ACM Classification Keywords:** I.2.11 Artificial Intelligence- Multiagent systems

---

### Введение

---

Знание - форма существования и систематизации познавательной деятельности человека. В ИТ под знанием понимают совокупность данных, фактов и правил вывода о мире, которые включают информацию о свойствах объектов, закономерностях процессов и явлений, а также о правилах использования этой информации для принятия решений. В отличие от данных, знания являются активными, т.е. появление новых фактов или установление новых связей может стать источником изменений в принятии решений.

Управление знаниями - knowledge management (далее КМ) - это систематический, целостный подход к поддержке и совершенствованию обработки знаний на всех уровнях организации [Castelfranchi, 2000].

В последнее десятилетие резко вырос интерес к КМ. Различают три направления (подхода) к управлению знаниями: технократический, экономический и бихевиористский.

Рассмотрев несколько моделей управления знаниями, можно определить некоторые общие черты, которые встречаются во многих моделях, и на которые необходимо обратить внимание, строя работающую модель управления знаниями:

1. Знание бывает явное и неявное, и подход должен учитывать эту разницу, потому что она важна для обеспечения соответствующих способов и методов передачи каждого из видов знания.
2. Необходим механизм обеспечения трансформации неявного знания в явное.
3. Обмен знаниями является неотъемлемой частью управления знаниями.

Необходимо обратить внимание именно на обмен знаниями, как на процесс, который чаще всего происходит в рамках управления знаниями. Такой обмен, как правило, проходит между людьми с помощью различных средств коммуникации. Зачастую люди искренне делятся знаниями общего характера - это могут быть определенные знания о погоде, сплетни и т.д. Однако, когда дело доходит до рабочих отношений, инициатива по обмену знаниями снижается.

По этим причинам, проектировщик системы обмена знаниями, должен обращать внимание, прежде всего на то, что необходимо мотивировать людей обмениваться знаниями, иначе эффективность такой системы будет низкой.

Фактически, мотивируя людей к обмену знаниями, нужно мотивировать их к сотрудничеству. Таким образом, к задаче создания модели управления знаниями добавляется условие - учитывать возможности управления сотрудничеством.

Факты и комментарии, приведенные выше, подводят к новому направлению в управлении знаниями - управление сотрудничеством - collaboration management, или, collaborative knowledge management.

Управление сотрудничеством - это подход, который поощряет создание определенного «коллективного знания» или «коллективной базы знаний». Основной идеей такого подхода является мотивация каждого участника сообщества участвовать в постоянном обновлении и поддержке базы знаний.

Такая система должна отвечать следующим требованиям:

1. Помогать пользователям создавать и использовать знания - своевременно и рационально, избегать перегрузки информации, а также стимулировать обмен целесообразной информацией в динамично организованной среде.
2. Беречь индивидуальную автономию и способствовать созданию атмосферы доверия между участниками.
3. Обеспечивать связи между работниками и компанией, таким образом, что, с одной стороны, созданные инновации можно будет интегрировать в работу компании, а с другой стороны, проверить, что бы они соответствовали целям и нормам предприятия.

Известно, что использование агентов дает возможность удачно работать с системами, которые имеют несколько четких компонентов. Агенты используются как «метафоры» для обозначения автономных интеллектуальных объектов [Dignum, 2004]. Поэтому, агенты являются наиболее подходящими для моделирования системы коллаборативного сотрудничества. Используя их, мы изображаем организацию как набор агентов и их взаимодействий, которые регулируются механизмами социального порядка и создаются для достижения общих целей.

Организации агентов соответствуют идея, что взаимодействие происходит, не только случайно, но и ради достижения некоторых желаемых глобальных целей. То есть существуют определенные общие цели для каждого агента или группы агентов, которых можно достичь способом взаимодействия группы участников.

Желаемое поведение определенного сообщества часто чуждо для участников этого сообщества. Социальная структура определяется неким «планом организации» и является независимой от ее участников. Однако, поведение индивидуумов мотивируется их собственными целями и возможностями, то есть, люди следуют за своими собственными целями и желаниями и вносят свои собственные изменения в сообщество. То есть, фактическое поведение определенного сообщества являются следствием поведения (а именно путем достижения целей) индивидуальных агентов в пределах ограничений, установленных организацией. Такое различие между планом и реальностью создает необходимость определить соответствие фактического поведения с желаемым поведением.

Организационные модели нужны, чтобы объединить реализацию организационных требований и задач, и в то же время позволить участникам иметь свободу, чтобы действовать согласно их собственному желанию. Такие модели систем для открытых сообществ должны отвечать следующим требованиям:

1. Внутреннему требованию автономии.
2. Требованию автономии сотрудничества.

Среди многих моделей агентных систем можно выделить модель OregA. Она отвечает вышеуказанным требованиям, поскольку допускает отделение разработки организационной модели, представления норм, целей и социального состава организации от разработки индивидуальных агентов, участвующих в деятельности организации.

ОрегА - это попытка объединить формальные организационные процессы и цели с различными индивидуальными перспективами привлеченных агентов (людей, групп и, возможно, систем) [Dignum,2002; Dignum,2003].

---

### **Организационная модель ОрегА**

---

Рассмотрим развитие сообщества агентов, основанного на двух конкурирующих целях в определенной компании (организации). С одной стороны, в проекте этого сообщества должна быть охвачена структура и требования ее владельцев, а с другой стороны, агенты должны быть доступны для приказов, чтобы выполнять определенные социальные роли. Модель ОрегА объединяет top-down спецификацию общественных задач и глобальной структуры, позволяя динамическое исполнение ролей и взаимодействие между участниками.

Модель отделяет описание структуры и глобального поведения системы от описания отдельных объектов, которые являются составляющими этой системы. Такое отделение обеспечивает несколько преимуществ данного фреймворка относительно других мультиагентных систем [Dignum,2003].

С организационной точки зрения, главная функция индивидуальных агентов - введение определенного «закона ролей», которые бы способствовали глобальным целям сообщества. То есть, общественные цели определяют роли агента и нормы взаимодействия. Агенты - актеры, исполняющие роль, описанную общественным проектом. Собственные способности и цели агента определяют тот специфический путь, которым агент выполняет свою общественную роль [Dignum,2003].

Фреймворк ОрегА состоит из трех взаимосвязанных моделей. Организационная структура сообщества описывается организационной моделью (ОМ). План, по которому происходит взаимодействие, зависит от целей и возможностей системы. Он определяет, как именно роли связаны между собой, а также как правила и цели «переходят» между ролями. Наконец, когда определено «население» сообщества агентов, модель взаимодействия (МВ) описывает возможное взаимодействие между агентами.

Использование договоров для описания деятельности системы позволяет одновременно способствовать гибкости системы и балансу между организационными целями и целями агента, а также использоваться для проверки результатов системы.

*Организационная модель.* Первым шагом в методологии ОрегА является создание спецификации организационной модели (ОМ) для сообщества агентов. Модель состоит из трех уровней: уровня координации, уровня окружения и уровня поведения.

*Уровень Координации.* Уровень координации начинается с анализа социальных характеристик предметной области. Результатом анализа является определение целей, формирования отношений и требований к коммуникации в выбранной области. На этом же уровне определяется архитектура сообщества, которая состоит из: выбора структуры (рынок, иерархия или сеть), отождествления основных ролей и структуры взаимодействия, связанного с типом организации.

*Уровень Окружения.* Основные характеристики общества идентифицируются через анализ внешнего поведения системы. Этот процесс базируется на исходных данных уровня координации, и включает: идентификацию организаторов; случаи (юз кейсы), которые описывают полные требования, анализ этического или нормативного поведения ожидаемого в обществе.

Исходными данными уровня окружения является организационная архитектура сообщества, которая включает: идентификацию основных ролей и общих требований, определение примитивов коммуникации, необходимой для данной системы; идентификацию организационных ролей в отношении организаторов, определение этического или нормативного поведения, принятого в обществе.

*Уровень поведения.* Уровень поведения складывается из анализа внутреннего поведения системы. Этот процесс основан на базовой организационной модели и на функциональных требованиях для ролей и взаимодействий.

Уровень поведения является завершающим уровнем полной спецификации организационной модели сообщества OpenA. Он включает: спецификацию описаний ролей всех общественных ролей, также их задач, норм и зависимостей, определение взаимодействия между необходимыми ролями для реализации их задач; спецификацию социальных норм и их классификации в роле, области или норме перехода.

*Социальная Модель.* Создание социальной модели зависит от действий агентов, и главным образом определяется "runtime" (в процессе выполнения).

Социальная модель для сообщества OpenA базируется на: описании ролей указанных в ОМ; области передачи ролей и сценариев, указанных в ОМ; характеристиках агентов, связанных с их общественными ролями. Основываясь на спецификациях ОМ и наборе выбранных агентов, социальная модель показывает взаимодействие ролей этих агентов.

*Модель взаимодействия.* Создание модели взаимодействия зависит от агентов, которые выполняют свои роли, в определенном наборе случаев, определенных в ОМ. То есть, «поколение» агентов в модели взаимодействия для модели OpenA зависит от: конкретных агентов, которые выполняют свои роли и их взаимодействия с СМ; случаев и сценариев конкретизированных в ОМ.

---

### **Организационная модель рынка знаний**

---

Описание спецификации ОМ для рынка знаний (РЗ) происходит согласно методологических уровней, представленных выше [Dignum,2003]. Результатом этой спецификации является координационная, модель окружения, и поведенческая модель для рынка знаний.

Проект ОМ общества агентов начинается с оценки требований координации. На этом уровне, определим тип координации для данного общества. Наиболее подходящий тип координации для рынка знания - это сетевая модель.

Поскольку данная область нуждается в дополнительной роли, которая поможет пользователям находить друг друга, мы добавим роль посредника к рынку знаний для улучшения его работы. Таблица 1 описывает роли РЗ, соответственно указывая характеристики и задачи каждой роли.

На уровне окружения определяются задачи общества и глобальная функциональность. Начальный пункт разработки этого уровня - определение случаев использования и требований. Исходя из предыдущих утверждений и исследований, определим такую функциональность для РЗ: возможность поделиться знанием, которое недоступно в репозитории, поддержка коалиционных решений (для того, чтобы развивать новые решения, когда знание недоступно), поддержка прямого обмена между сторонами, где часто происходят также обсуждения условий обмена.

Эти требования указывают на необходимость двух видов обмена: прямого обмена, направленного на поиск релевантных партнеров и косвенного обмена, через репозиторий, когда задача системы - поддержка публикации результатов прямых обменов знанием. К тому же, РЗ использует ту же онтологию области, что и хранилище знаний (таблица 2).

Таблица 1. ОМ - Уровень Координации.

Роль	Обязанности	Нормы поведения
------	-------------	-----------------

Сторож	-допускать (принимать) участников	- должен проверять является ли агент членом данной группы; - разрешать только членам группы делать запросы; - позволять другим агентам только просматривать содержимое репозитория.
Нотариус	- регистрировать сделки; - назначать инструкторов; - устанавливать санкции.	- должен регистрировать обмены; - имеет право высылать запрос на информацию относительно обмена у искателей и владельцев.
Инструктор	- сообщает о дедлайнах и коллаборативных нормах	-должен информировать нотариуса о санкциях.
Посредник	- регистрировать участников, их знания и умения; - принимать и выдавать запросы на обмен.	- должен распространять запросы; -должен способствовать распространению.

Таблица 2. Хранилище знаний

Деятель	Цели	Зависимости
«Виртуальный департамент»	Проверить знание	Сторож, Редактор
	Распространить знание в группе	Искатель знания, Владелец знания
	Распространить знание за пределами группы	Гость
Искатель знания	Получить помощь	Виртуальный департамент, Владелец знания
Владелец знания	Сообщить через: - Оказать помощь; - Опубликовать собственное знание.	Искатель знания, Виртуальный департамент, Редактор.

*Уровень поведения.* Результаты предыдущих методологических шагов комбинируются и совершенствуются на уровне поведения, чтобы получить полную концептуальную модель общества РЗ.

*Социальная Структура.* Таблица ролей (Таблица 3.), полученная на уровне окружения, используется как основа для спецификации ролей. Спецификация описывается с использованием LCR-logics.

Это так называемые внешние роли, то есть их выполнять могут агенты, которые находятся вне среды (организации). Внутренние роли (таблица 4) зависят от выбранного типа координации (в нашем случае, тип координации - сеть), чаще основная задача таких ролей - выполнять запросы, поступающие извне.

Таблица 3. Таблица ролей, полученная на уровне окружения.

Роль: владелец знания	
Roleid	owner
Цели	o <sub>1</sub> = register-skills(matchmaker, skills) o <sub>2</sub> = answer-request(matchmaker, question) o <sub>3</sub> = publish-knowledge(editor, knowledge-item)
Подцели	...
Права	access-repository
Нормы	IF request-knowledge(matchmaker, question, deadline) THEN OBLIGED(owner, answer-request(matchmaker, YN, question) BEFORE deadline
Тип	external
Роль: искатель знания	
Roleid	seeker
Цели	o <sub>1</sub> = request-partner o <sub>2</sub> = exchange-knowledge o <sub>3</sub> = browse-repository
Подцели	По <sub>1</sub> = {get-potential-partners(question, partner-list), choose-best-partner(partner-list, partner), get-answer(question, partner, answer) } По <sub>2</sub> = {negotiate-exchange(question, partner, contract), register-contract(notary, contract), exchange-knowledge(partner)}
Права	access-repository
Нормы	IF agreed-share(partner) THEN OBLIGED (seeker, publish-repository(answer))
Тип	external

Таблица 4. Внутренние роли (Начало)

Роль: сторож	
Roleid	gatekeeper
Цели	o <sub>1</sub> = handle(membership-application(applicant, decision))
Подцели	По <sub>1</sub> = { ask-intentions(applicant, role), describe-society, IF decide-acceptance(applicant, role, yes) THEN negotiate-social-contract(applicant, role, SC)}
Права	decide-acceptance
Нормы	OBLIGED(gatekeeper, inform(applicant, decide- acceptance(applicant, role, decision))).
Тип	institutional

Таблица 4. Внутренние роли (Окончание)

Роль: Посредник	
Role id	matchmaker

Цели	$o_1 = handle(request-partner(participant, question))$ $o_1 = handle(register(participant, type))$
Подцели	$По_1 = \{find-potential-partners(question, members, potentials)$ $p: potentials\ distribute-request(p, question, YN),$ $answer-request(participant, partners) \}$
Права	
Нормы	IF requested(request-partner(participant, question) THEN OBLIGED(matchmaker, distribute-request) IF requested(register(p, type) THEN OBLIGED(matchmaker, verify-reputation(p))
Тип	institutional

Роли можно объединять в группы (с общими нормами). В частности, такие группы являются уместными для РЗ: участник - (посылается в качестве искателя, владельца и посетителя), партнер - (посылается в качестве искателя и владельца), искатель - (сылается на соискателя и посетителя).

Уточним структуру взаимодействия рынка знания. Сценарий описывается с помощью ролей, норм, и желаемых результатов. В ОМ, сценарии установлены согласно требованиям общества. Результаты сценария взаимодействия достигается объединением действий определенных ролей, участвующих в сценарии, через реализацию случаев этих ролей. Сценарий описывает определенные желаемые паттерны взаимодействия между ролями, которые, по сути, является комбинацией подзадач этих ролей.

После определения того, какие именно случаи будут описаны для РЗ, нужно описать взаимодействия между сценариями. Например, случай «Обмен Условиями», может проходить только после успешного окончания случая «Запрос Партнера», и этот случай является уникальным для каждой группы партнеров.

*Социальная модель и модель взаимодействия для РЗ.* В социальной модели описываются действия отдельных агентов в их сообществе. Такие агенты ищут возможности выполнить одну из внутренних ролей в обществе. На РЗ агенты, выполняющие вспомогательную роль, контролируются обществом. Поэтому, внешние агенты не могут выполнять вспомогательную роль. Именно такой подход обеспечивает определенный контроль над агентами.

Люди, которые ищут сотрудничество через РЗ, будут запускать персонального агента, который является их представителем в системе. Этот агент использует условия и настройки пользователя, чтобы найти нужных партнеров и определить срок обмена. В зависимости от выбранного задания, персональный агент выполняет роль искателя знания или его владельца.

Социальные контракты описывают договоренность между агентами-участниками в обществе РЗ. Согласование этих контрактов происходит между агентом-инициатором и сторожем, который наблюдает и обеспечивает выполнение интересов общества.

Применение определенных санкций означает, что агент получает меньший приоритет в последующих обменах.

---

## Заключение

Современные разработки в управлении знаниями показывают, как сильно сместились приоритеты с простого управления знаниями к управлению сотрудничеством. Целью обмена знаниями становится не

столько управление созданием, донесением и защитой знания, сколько поощрение людей к сотрудничеству. Агентный подход является очень многообещающим в контексте реагирования на новые реалии в области знаний и управления ими.

В данной работе разработан фреймворк, с помощью которого можно разделить спроектированную организационную структуру и индивидуальные пожелания в поведение агентов, участвующих в сообществе. Организационная структура общества задается организационной моделью. Население организационной модели описано в социальной модели средствами социальных контрактов, которые определяют обязанности, а также регулируют индивидуальные роли.

---

### Благодарности

Работа опубликована при финансовой поддержке проекта ITHEA XXI Института информационных теорий и приложений FOI ITHEA Болгария [www.ithea.org](http://www.ithea.org) и Ассоциации создателей и пользователей интеллектуальных систем ADUIS Украина [www.aduis.com.ua](http://www.aduis.com.ua).

---

### Список литературы

- [Castelfranchi, 2000] C. Castelfranchi, A. Omicini, Tolksdorf, F. Zambonelli. EngineeringSocialOrder. EngineeringSocialOrder. EngineeringSocietiesintheAgentWorld. Volume of LNAI 1972.-Springer-Verlag. -2000.
- [Dignum,2004] V. Dignum, J.-J. Meyer, F. Dignum. Agent-Mediated Approach to the Knowledge Sharing in Organizations. Technical report UU-CS.-2004.
- [Dignum,2003] V. Dignum, J.-J. Meyer, F. Dignum, H. Weigand. Formal Specification of Interaction in Agent Societies. 2<sup>nd</sup> Goddard Workshop on FormalApproachesto Agent-Based Systems (FAABS'02), vol. 2699.- Springer-Verlag.-2003.
- [Dignum,2002] V. Dignum, H. Weigand. Organization-Oriented Design Methodology for Agent Societies. Intelligent Agent Software Engineering.-Idea Publishers. -2002.
- [Ferber,1998] J.Ferber, O. Gutknecht. A meta-model for the analysis and design of organizations in multi-agent systems. ICMAS 98 (International Conference on Multi-Agent) in Paris.-IEEE.-1998.

---

### Информация об авторах



**Глибовец Николай Николаевич** – декан факультета информатики, заведующий кафедрой информатики Национального университета «Киево-Могилянская академия», доктор физико-математических наук, профессор;  
e-mail: [glib@ukma.kiev.ua](mailto:glib@ukma.kiev.ua)

Поле научных интересов: искусственный интеллект, системы дистанционного обучения



**Сидоренко Марина Олеговна** – аспирантка 3-го курса аспирантуры Киевского-Национального университета имени Тараса Шевченка, факультет кибернетики;  
e-mail: [tinuriel@gmail.com](mailto:tinuriel@gmail.com)

Поле научных интересов: байесовские сети, искусственный интеллект, рекомендационные системы

## ПРОЦЕССЫ ВЫБОРА АЛЬТЕРНАТИВНЫХ РЕШЕНИЙ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ИНФОРМАЦИОННЫХ СЕТЕЙ

Галина Гайворонская

**Аннотация:** *Выполнен анализ условий использования теории принятия решений при проектировании информационных сетей. Предложенная методика используется на кафедре информационно-коммуникационных технологий Одесской государственной академии холода при выполнении курсового проектирования и подготовке выпускных квалификационных работ при получении квалификации магистров и специалистов специальности «Компьютерные системы и сети»*

**Ключевые слова:** *информационная сеть, векторные и скалярные критерии, эффективность функционирования сети.*

**Ключевые слова классификации ACM:** *H. Information Systems - H.1 MODELS AND PRINCIPLES, E. Data - E.0 GENERAL.*

---

### Введение

В учебном плане специальности «Компьютерные системы и сети» направления обучения «Компьютерная инженерия» большое внимание уделяется не только принципам функционирования информационных сетей различного назначения, но и проектированию этих сетей. При этом структурно-логическая цепочка сетевых дисциплин включает следующие дисциплины: «Основы теории передачи информации», «Коммуникационные технологии», «Локальные компьютерные сети», «Глобальные компьютерные сети», «Информационные сети», «Мультисервисные сети следующего поколения», «Сети доступа пользователя», «Администрирование компьютерных сетей», «Проектирование компьютерных сетей», «Сетевые информационные технологии» и для магистерской подготовки «Оптимальный синтез информационных сетей». Изучение этих дисциплин сопровождается курсовым проектированием и выполнением расчетно-графических заданий (РГЗ). И здесь весьма важным является использование теории принятия решений (ТПР), поэтому для бакалавров введен предмет «Теория принятия решений», а для магистров «Информационная поддержка систем принятия решений». Изучение этих дисциплин позволило ввести инструментарий ТПР не только в процесс курсового проектирования и выполнение РГЗ, но и разработать два цикла лабораторных работ (ЛР), в которых с использованием обучающей компьютерной программы «*SMPR*», любезно предоставленной профессором д.т.н. А.Ф. Волошиным, студенты получают навыки применения методов ТПР при создании компьютерных сетей и доступа.

Методологическая основа применения методов ЛПР при проектировании информационных сетей предложена в этой работе, кроме того вашему вниманию предлагается еще две статьи, обобщающие опыт использования программы «*SMPR*» при использовании методов ТПР в условиях неопределенности и риска при проектировании компьютерных сетей и применении многокритериальных методов выбора технологий сетей доступа.

---

### Процесс выбора вариантов развития информационных сетей

Модели информационных сетей (ИС) на разных уровнях абстракции формально не выводимы друг из друга, поэтому установление связи между ними является в некотором роде искусством, которым должен владеть проектировщик. Процессы выбора являются основополагающими, как при создании новых технологий, так и при проектировании и модернизации ИС. К процедуре выбора обращаются на всех

этапах и уровнях исследования, выбирая какие условия и ограничения существенны, а какими можно пренебречь, какие показатели определяющие, а какие можно не учитывать. По своей глубинной сути выбор всегда многокритериален и таит в себе столько же неопределенности и зависимости от личности лица, принимающего решение (ЛПР), сколько и строгой логики. Если под ЛПР понимать человека, имеющего цель, служащую мотивом постановки задачи выбора и её решения [1], то для него среди многообразия проблем в теории выбора можно выделить две главных: «Как сравнивать альтернативы между собой?» и «Как осуществлять выбор по многим показателям приемлемости?». И первый, и второй вопросы вряд ли смогут решить только математики. Выбор неотделим от человека, от окружающей его жизни, от ее социальных, экономических сторон, от уровня развития техники и технологий. А это значит, пока все аспекты проблемы не будут формализованы, однозначного решения проблем сравнения альтернатив и их выбора мы не получим. Процесс выбора носит в этом плане принципиально субъективный характер. Тем не менее, понимая всю сложность и нечеткость подсознательных оценок, которые мы закладываем в основу выбора, вполне естественно стремление создать формально-логический аппарат, который на первых порах, не заменяя интуицию, в значительной мере облегчал бы решение проблемы.

Постановка задачи выбора наилучшего проектного решения предполагает наличие правила, позволяющего сравнивать качество возможных альтернатив. В простейшем случае такое правило может быть задано скалярной функцией на множестве возможных вариантов, а наилучшее решение определяется из условий экстремума этой функции. Однако в практических задачах построение такой функции вызывает серьезные затруднения. К тому же формирование целевых функций на начальных этапах выбора приводит к максимальному субъективизму и заранее запрограммированному результату, исключая широкий поиск возможных кандидатов на оптимальность по менее сильным критериям.

В качестве примера рассмотрим процесс выбора вариантов развития информационных сетей. Обычно моделируемые варианты развития сети, называемые сценариями эволюции, выбираются проектировщиком. Ограничения такого подхода состоят в том, что есть возможность пропустить в процессе выбора вариантов наиболее подходящее решение, то есть не предусмотреть моделирование сценария, который в итоге может оказаться оптимальным. Поэтому возникает задача выбора

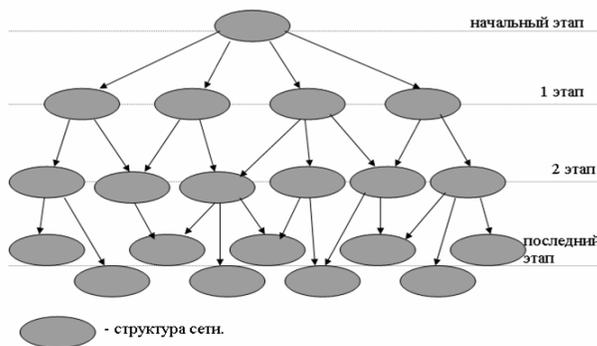


Рис. 1. Первый способ моделирования

моделируемых сценариев эволюции сети [2]. Проанализируем варианты решения этой задачи, предполагая, что модернизация сети происходит поэтапно и оцениваются результаты оптимизации на каждом этапе эволюции сети по критерию минимальной стоимости, при обеспечении заранее оговоренных требований [3]. При использовании первого подхода после анализа результатов синтеза сети на каждом этапе производится анализ следующего этапа с учетом всех вариантов полученных на

предыдущем этапе, рис. 1. Недостатком этого подхода являются высокая трудоемкость, т.к. на каждом этапе рассматриваются все возможные варианты построения сети. Кроме того, он требует больших затрат времени, не гарантируя определение оптимального варианта, поскольку ключевой вариант может быть утерян при анализе результатов промежуточных этапов. К тому же расчет сетей даже средних размеров вручную практически невозможен, поскольку предъявляются очень большие требования к

вычислительным ресурсам, необходимы сложные алгоритмы и программы анализа сценариев эволюции ИС.

Второй способ предполагает, что варианты построения сети анализируются на каждом этапе, и для анализа на последующих этапах выбирается один или несколько лучших решений предыдущего этапа (рис. 2).

Третий способ предполагает определение лучшего варианта построения сети на конечном этапе и поиск возможных путей синтеза выбранной структуры сети, а

затем анализ этих путей по заданному критерию, рис. 3. Преимущества этого подхода: простота реализации, меньшие требования к вычислительным ресурсам, меньше время расчетов и возможность

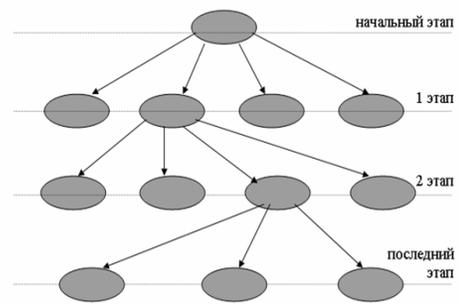


Рис. 2 Второй способ моделирования

получения лучшего варианта построения сети.

Однако далеко не всегда есть возможность априори определить требуемую структуру сети.

А если бы такая возможность и существовала, нет гарантии, что эта заранее заданная структура будет оптимальной и в конце исследуемого периода, так как невозможно предсказать какие новые возможности могут

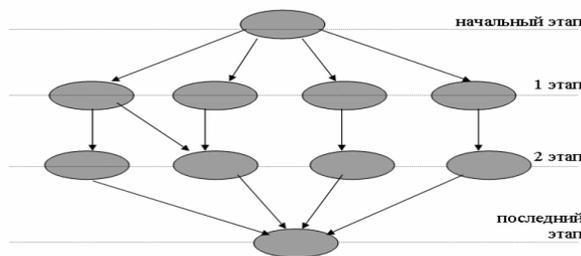


Рис. 3 Третий способ моделирования

появиться в результате технического прогресса.

В ряде реальных задач проектирования целесообразно на множестве альтернатив формировать несколько скалярных функций или критериев оценки, задаваемых неметрическими постановками или отношениями порядка. При таких условиях задача переходит в разряд многокритериальных. Основная особенность таких многокритериальных задач состоит в том, что их решением является не единственная точка, а целое множество эффективных точек, удовлетворяющих поставленной задаче.

В практическом проектировании технический объект рассматривается с точки зрения различных ситуаций его жизненного цикла. Оценки такого рода требуют использования моделей поиска рациональных вариантов, которые учитывали бы максимальное число его особенностей. И здесь процедуры выбора дают возможность выявить рациональные решения и позволяют разрешить компромиссы с учетом нескольких показателей. С другой стороны, всякое проектирование многовариантно по своему существу, а это требует многоаспектной, многокритериальной оценки возможных вариантов проектов с целью выбора наиболее целесообразного решения. В большинстве случаев инженерный выбор производится и по многим характеристикам, и по многим вариантам. Поэтому актуализируется задача автоматизации процедур выбора. При этом выделяются два принципиально неодинаковых подхода и две различные архитектуры построения систем автоматизированного выбора. Первый связан с выбором альтернатив при многовариантном анализе на вновь сформированных множествах альтернатив, а второй предназначен для создания автоматизированных систем выбора по справочным данным.

### Решение проблемы выбора при синтезе информационных сетей

Решение проблемы выбора при синтезе ИС или при их проектировании возможно только, если разработчик имеет полное описание исходного множества альтернатив (ИМА), из которого будет производиться выбор и располагает достаточной информацией о целях этой процедуры, и принятом принципе оптимальности. При этом каждый вариант может описываться набором внешних характеристик, условно подразделяемых на показатели приемлемости, условия и ограничения. Исходные данные обосновываются путем всестороннего рассмотрения наложенных условий, назначения сети и требований, предъявляемых к синтезируемой сети. При этом имеется в виду получение эффективных решений, под которыми обычно понимается степень наибольшего соответствия варианта своему назначению, не забывая, что эффективность – это субъективное понятие, отражающее представление исследователя или проектировщика о качестве работы сети.

При решении технических задач выбора в формализованной постановке представление об их качестве характеризуют принципом оптимальности, который задается теми или иными критериями предпочтения (оптимальности) и набором условий и ограничений.

В формализованной постановке под задачей выбора будем понимать пару

$$\langle \text{ОП}, \Omega \rangle, \quad (1)$$

где ОП - принцип оптимальности, выражаемый формализовано через функцию выбора  $C$ ;  $\Omega$  - заданное множество вариантов.

Угловые скобки в (1) имеют значение, поскольку указывают на линейный порядок в паре, т.е. на приоритет, входящих в неё членов. Вначале – цель операции, а потом состав субъектов, над которыми будет проводиться эта операция. Тогда решением задачи выбора является множество  $\Omega_0$ , полученное с помощью принципа оптимальности:  $\Omega_0 = C(\Omega)$ . Принцип оптимальности, задаваемый функцией выбора  $C$ , состоит из требований по допустимости –  $C_d$  и критериальных требований  $C_k$ . Для функции выбора критериальных требований и требований по допустимости характерны следующие соотношения  $C = C_k \cup C_d$ ;  $C_k \cap C_d = \emptyset$ . Первая запись показывает, что объединение множеств критериальных требований и требований по допустимости представляет собой, собственно, функцию выбора. А второе выражение утверждает, что их пересечение пусто, т.е. те характеристики, которые уже задействованы в критериальных требованиях, не могут быть одновременно условиями и ограничениями.

Постановка задачи, на основе которой формируются функции выбора, формально может быть представлена набором условий, ограничений и показателей приемлемости.

$$\text{ПЗ} = \{\{Y_z\}, \{O_p\}, \{k_i\}\};$$

$$z = \{1, Z\}; \quad p = \{1, P\}; \quad I = \{1, M\}.$$

Условия  $\{Y_z\}$  и ограничения  $\{O_p\}$  обычно задаются, отношениями  $R = R_{\text{усл}} \cup R_{\text{огр}}$ , причем  $R_{\text{усл}} = \{\langle = \rangle, \langle \neq \rangle, \langle \approx \rangle\}$  – для условий,  $R_{\text{огр}} = \{\langle \ll \rangle, \langle \gg \rangle, \langle \leq \rangle, \langle \geq \rangle, \langle \ll \ll \rangle, \langle \gg \gg \rangle\}$  – для ограничений. Требования по допустимости  $C_d$  представляют собой множество всех наложенных условий и ограничений на характеристики объекта выбора. Показателем приемлемости (ПП)  $k_i$  варианта является, его числовая характеристика, связанная с его качеством строго монотонной зависимостью - чем больше (меньше) величина  $k_i$ , тем лучше вариант при прочих равных условиях. При решении задач выбора в процессе проектирования объект обычно характеризуется не одним, а совокупностью показателей приемлемости  $\{k_i\}$ :  $I = \overline{1, M}$ .

Так как любая задача синтеза или проектирования новых объектов должна формулироваться в терминах условий, ограничений и показателей приемлемости, то и выбор вариантов подсистем и компонентов в процессе ее решения на всех уровнях и этапах должен проводиться по совокупности этих требований. В отличие от ПП варианта – т.е. его характеристики, которая в процессе выбора может монотонно изменяться (минимизироваться или максимизироваться), критерием выбора вариантов является правило, задающее цель операции и позволяющее формализовано осуществлять операции сравнения и усечения исходных множеств альтернатив.

Иногда критерий выбора может быть сведен к минимизации или максимизации одного показателя качества и тогда их смысловое содержание совпадает. Но в большинстве случаев такое упрощение не оправдано и проектировщик должен решать задачу выбора по совокупности показателей приемлемости. Решение задач выбора по совокупности ПП приводит к формированию векторных или скалярных критериев. И если скалярные критерии принципиально могут привести к единственному варианту решения, то векторные (критерий Слейтера и Парето) позволяют лишь отбросить заведомо худшие варианты и выявить нехудшие, эффективные по Парето или по Слейтеру. Главная отличительная черта векторных критериев – это объективность, т.к. на ПП в них не накладываются никакие условия и ПП в таких векторных критериях ортогональны (независимы). Если скалярная функция выбора задается как некоторый функционал – комплексный ПП, отражающий суммарный полезный (целевой) эффект, то говорят об интегральном или обобщенном критерии сравнения альтернатив. Если же ПП рассматриваются ЛПР как независимые функции, то речь идет о задаче выбора в векторном пространстве и такие задачи выбора, соответственно, называются векторными задачами выбора по совокупности ПП. Часто в литературе, не совсем правомерно, такие задачи и называют многокритериальными. На самом же деле, при более глубоком рассмотрении, проблема многокритериальности (т.е. использования нескольких правил сравнения вариантов) возникает в случае формирования нескольких последовательных моделей и/или процедур выбора, которые по мере получения промежуточных результатов уточняют «траекторию» движения к цели. Многокритериальность в этом смысле связывают с несколькими правилами сравнения альтернатив (несколькими критериями), которые шаг за шагом решают задачу выбора. Лишь в этом случае можно говорить о действительно многокритериальной задаче.

Проектирование любой сети базируется на предположении, что может существовать некоторое множество вариантов материальных структур, способных одновременно удовлетворять всем предъявляемым к ним требованиям. В теории исследования операций [4] пара  $\langle C, \Omega \rangle$  может трактоваться по-разному:

1. Если  $C$  и  $\Omega$  априори неизвестны ЛПР и могут варьироваться, то такая постановка является **задачей принятия решений**.
2. Задача с заданным множеством альтернатив  $\Omega$  и варьируемым принципом оптимальности  $C$  трактуют как **задачу выбора**.
3. Задачу с известными  $\Omega$  и  $C$  называют **общей задачей оптимизации**.

---

### **Выбор показателей эффективности для вариантов синтезируемых структур сетей**

---

При решении задачи поиска оптимальных структур сети необходимо выбрать показатели, по которым оценивается эффективность сравниваемых вариантов структур [5]. В общем случае оптимизация ТС может производиться по различным показателям (см., например, [5-9]). К их числу относятся:

- а) стоимостные показатели: затраты на реализацию сети в целом, суммарная стоимость сети на конечном этапе, минимальный прирост стоимости на промежуточных этапах, затраты на канал-километр линейных

сооружений и систем передачи в сети, затраты на коммутационное и управляющее оборудование; на стоимость передачи единицы информации по сети и т. д.;

б) надежностные показатели сети;

в) структурные показатели сети: суммарная длина линий, число канала-километров, число транзитов (среднее или максимальное и т. д.);

г) показатели качества обслуживания в сети;

д) обобщенные показатели эффективности ИС.

Как показывает опыт разработки и эксплуатация сложных систем, успех их оптимизации зависит не столько от адекватности модели процесса ее функционирования и совершенства используемого математического аппарата для получения точных и достоверных результатов оценки характеристик системы, сколько от выбранного показателя эффективности системы [8].

К настоящему времени отсутствует системная проработка выбора показателя для оценки эффективности ИС. Это объясняется отставанием в комплексном решении проблемы оценки эффективности и для достаточно давно разрабатываемых и эксплуатируемых сетей, и тем более модернизируемых сетей и создаваемых на их основе сетей следующего поколения. Используются отдельные, часто не стыкуемые и противоречивые показатели, применяемые на различных этапах исследования и проектирования сетей и их элементов и удобные для решения узких локальных задач, но практически не пригодные для решения задач оценки эффективности ИС в целом.

Эффективность функционирования ИС характеризуют следующими показателями: пропускная способность, загрузка сети, вероятностно-временные характеристики качества обслуживания пользователей и надежность. В повышении пропускной способности заинтересованы пользователи, поскольку от нее зависит качество их обслуживания. Загрузка сети – показатель, в повышении которого в наиболее заинтересованы разработчики сети и сетевые операторы. Надежность сети определяет степень достоверности предыдущих показателей и характеристик, является одинаково важной для пользователей, разработчиков и операторов, и обязательно входит в оценку эффективности функционирования сети. Иногда надежность учитывается при оценке пропускной способности и качества обслуживания сети.

К показателям качества обслуживания относятся задержки сообщений  $\bar{t}_s$  в сети, что объясняется тем, что показатель  $\bar{t}_s$  в неявном виде отражает и значение пропускной способности, важное для пользователей, и загрузку отдельных элементов и сети в целом, важную для разработчиков системы. При этом загрузка сети и среднее время задержки  $\bar{t}_s$  находятся в противоречии, заключающемся в тенденции максимально использовать оборудование системы с минимальными временными потерями при обслуживании пользователей сети. Среднее время доступа в сеть  $\bar{t}_o$ , в совокупности с  $\bar{t}_s$ , определяет суммарную задержку сообщений, оцениваемую пользователями сети.

Для пользователя важным является и время реакции  $\bar{t}_p$  системы на запрос. Этот показатель используется при оценке систем телеобработки и разделения времени, однако, для анализа и синтеза ИС, он менее эффективен. Время реакции отражает не только процесс передачи информации, но и ее обработку, и является более общим, чем среднее время пребывания сообщений в сети. Однако сеть содержит широкий спектр оборудования различной производительности, следовательно, время реакции может зависеть от задач пользователя, которые могут требовать разные ресурсы сети. Таким образом, время реакции слабо отражает качество функционирования сети, кроме того, в случае необходимости при оценке какой-либо конкретной сети время реакции может быть получено с помощью показателя среднего время пребывания сообщений с учётом анализа времени обработки вызова. При этом время  $\bar{t}_s$  в ИС,

работающих в диалоговом режиме, не должно превышать времени хранения информации в оперативной памяти мозга человека, то есть 1-2 сек.

Поиск решения проблемы многокритериальной оптимизации обычно осуществляется конструированием составных критериев в виде различных функционалов от исходных характеристик и показателей системы, и таким образом задача сводится к монокритериальной, при которой открывается возможность широкого использования математических методов теории принятия решений: математического программирования, теории статистических решений, различных численных методов оптимизации [10].

В работе [11] предлагается использование стратифицированных критериев, связывающих различные уровни абстрагирования, а именно: функциональный и физический. Обычно неполнота исходной постановки проблемы эффективности вытекает из стремления к упрощению четко не сформулированной задачи и к использованию привычных описательных категорий. Целью выбора стратифицированного критерия с использованием морфологического, функционального и информационного описания является построение модели оценки эффективности, включающей как саму ИС в качестве системы, так и метасистему, включающую и пользователей этой сети (уровни 5-7 модели взаимодействия открытых систем, ВОС). Причем физический показатель выбирается так, чтобы он нес и функциональную нагрузку, т. е. учитывал вклад системы в деятельность метасистемы. Используя стратифицированный подход можно построить следующую цепочку показателей: функция эффективности работы сети – функция стоимости – функция времени.

### Выбор метода сравнения альтернатив

Теперь на основании выполненного анализа выберем и обоснуем корректный метод выбора из альтернативных стратегий эволюции ИС. Для этого рассмотрим множество возможных стратегий эволюции  $\Omega_0$ . Предполагая исследуемый период времени конечным и дискретным, а топологию сети стационарной, можно утверждать конечность  $\Omega_0$ . Более того, если формализовать и конкретизировать понятие стратегии эволюции, то можно последовательно перечислить все возможные стратегии эволюции ИС. Это обеспечит априорную известность  $\Omega_0$ . Таким образом, задача определения оптимальной стратегии эволюции сети сводится к задаче выбора.

Введем для каждой  $i$ -ой стратегии развития  $\omega_i \in \Omega_0$  три показателя приемлемости, предложенные в предыдущем подразделе – эффективность, стоимость и период модернизации сети  $k_1(\omega_i)$ ,  $k_2(\omega_i)$  и  $k_3(\omega_i)$ .

Задачи выбора проектных решений по совокупности ПП и по безусловным критериям предпочтения в П- и S-постановках возникают как вспомогательный аппарат принятия решений при недостаточной априорной информации. Главная ценность паретовской оптимизации заключается в выявлении противоречий между ПП и построении на множестве проектных альтернатив частичного упорядочения, концевые вершины которого являются «претендентами» на наилучшее соответствие по целевым устремлениям. Эта постановка позволяет отсеять заведомо худшие решения и оставить для анализа эффективные альтернативы, дальнейшее усечение которых проводится с помощью дополнительной информации, например, условных критериев предпочтения. Применить данный подход в нашем случае, можно задав на множестве  $\Omega_0$  отношение частичного порядка

$$\omega_i < \omega_j \Leftrightarrow \begin{cases} k_m(\omega_i) \leq k_m(\omega_j) \quad \forall m = \overline{1,3}, \\ \exists m^* : k_{m^*}(\omega_i) < k_{m^*}(\omega_j), \end{cases}$$

а, для частичного сужения множества альтернатив выбора, используя критерий Парето. Полученное множество максимальных в смысле заданного порядка элементов  $\Omega_1 \subseteq \Omega_0$ , обязательно будет содержать все стратегии эволюции, которые могут быть получены при применении более сильных критериев. Отброшенными окажутся только те, не оптимальность которых можно утверждать с уверенностью. Это легко видеть из сути подхода Парето.

Оценим возможность применения неметрических критериальных постановок для решения поставленной задачи. Исходя из предпосылки, что при синтезе сети тот или иной ее элемент должен быть, выбран как единственный, приходим к выводу, что существует приоритетная цель, которая определенным образом связана с другими ПП, но на начальных стадиях проектирования неизвестна ЛПР. Для получения дополнительной информации и снятия неопределенности в выборе целей принято использовать ЛПР с более высоких уровней проектирования и располагающее более полными сведениями о целях выбора [12].

Далее, путем ранжирования ПП, применяем более сильные критерии. В данном случае этот порядок определяется в соответствии с порядком индексов при  $k$ . Лексикографическая условная критериальная L-постановка, задающая предпочтения посредством ранжирования ПП, позволяет «доопределить» задачу выбора и сузить поиск оптимальных решений концевыми вершинами на вложенных линейных порядках альтернатив. При этом приоритет целей помогает в формализованном выборе не множества, единственного решения, вероятность появления которого значительно возрастает.

Введем для каждого ПП величину «уступки»  $\Delta_i$ , определяющей насколько далеко могут уйти искомые решения от оптимальности по некоторому показателю, чтобы приблизиться к оптимуму по совокупности всех показателей. Метод последовательного выбора оптимальных вариантов с помощью «уступок» по сравнению с т, и S-постановками приводит к более определенным результатам и позволяет увидеть пути разрешения частных противоречий «уступками» в достижении лучших решений по наиболее важным целям. Скалярный выбор оптимального варианта по одному ПП является частным случаем лексикографии с минимальной силой  $L(W/k_1)$  из всех возможных L-постановок. Концевые элементы в линейном порядке альтернатив определяют наилучшие решения. Эта критериальная постановка возможна при ярко выраженных приоритетах одного ПП перед другими.

Однако в исследуем случае невозможно выделить выраженный приоритет одного из вышеназванных показателей, следовательно, применение скалярного выбора оптимального варианта по одному показателю качества сужает решение задачи. Применив к альтернативам из множества  $\Omega_1$   $\Delta$ -критерий, получим еще более узкое множество  $\Omega_2$ , подмножество  $\Omega_1$  и  $\Omega_0$ . Легко видеть, что набор элементов, входящих в  $\Omega_2$  во многом зависит от выбора величин  $\Delta_i$  и утверждать объективность выбора решений  $\Omega_2$  из  $\Omega_1$  уже нельзя. Тем не менее использование  $\Delta$ -критерия позволяет свести к минимуму число альтернатив выбора, претендующих на оптимальность.

Для выбора единственного из решений  $\Omega_2$  может применяться либо интегральный критерий  $W(\omega_i) = \alpha_1 k_1(\omega_i) + \alpha_2 k_2(\omega_i) + \alpha_3 k_3(\omega_i)$ , где  $\alpha_i, i = \overline{1,3}$  – весовые коэффициенты, задаваемые для каждого из ПП, либо его частный случай, учитывающий влияние только одного показателя. Отыскать минимум функции  $W$  можно с определенной долей точности, (в основном зависящей от качества подбора величин  $\Delta_i$  и  $\alpha_i$ ) утверждать, что оптимальное решение задачи синтеза сети найдено.

Однако при практическом применении описанного подхода возникает ряд проблем. Метрические постановки в виде интегрального скалярного критерия должны применяться на самых последних этапах

выбора, когда ЛПР уже имеет достаточную информацию для ее реализации. Когда исследовав  $\pi$ - и  $L$ -решения, изучив проектную ситуацию, появляются убедительные основания для введения компромиссов в пространстве ПП и осознанном назначении их «весов» в обобщенной целевой функции аддитивного или мультипликативного типа. Опасность не увидеть всей проектной ситуации и априорный субъективизм заставляет осторожно подходить к применению «сверток» на ранних этапах выбора, несмотря на заманчивость получения единственного решения.

Основной целью исследования систем любого вида является анализ изменения выходных параметров и их влияния на общий показатель эффективности системы в целом. Понятие эффективности технических систем по существу отождествляется с их экономической эффективностью [13]. В качестве основного показателя при решении задач оптимизации сетей в настоящее время выбирают показатели, связанные с оценкой затрат на выполнение ими основной целевой функции [14]. Если в задачах оптимизации ИС используются стоимостные показатели, то надежность, структурные и качественные характеристики выступают в качестве ограничивающих факторов.

Учитывая специфику ИС, характеризуемых высокой стоимостью и наличием ряда жестких требований к значениям внешних параметров, в качестве показателя оценки на этапе синтеза сетевой структуры целесообразно использовать затраты на создание и эксплуатацию сети на каждом этапе ее модернизации. Однако при этом необходимо учитывать реальную стоимость денег в каждый конкретный момент времени, для чего экономический анализ должен выполняться с учетом дисконтного коэффициента.

Показатель времени косвенно учитывается заданием периода исследования и сильно коррелирован с типом технологии внедряемой на исследуемой сети. Особенно тесной становится эта корреляция в последние годы, в связи с все возрастающими темпами появления новых технологий. Однако эти темпы существенно отличаются для технологий, используемых на различных сегментах сети [15]. Наиболее консервативным остается пока коммутационное оборудование, смена поколений которого происходит существенно реже, чем, например, оборудования доступа. В связи с этим, функцию времени сложно формализовать, поэтому исследуемый период выбирается проектировщиком в зависимости от типа внедряемого оборудования, и функций, выполняемых им на модернизируемой сети [16].

---

## Выводы

---

На основании выполненного анализа, при синтезе информационных сетей оптимальное решение выбирается по экономическим показателям. При этом экономической характеристикой сети служит стоимость модернизации на каждом из рассматриваемых этапов развития. Использование в качестве критерия технико-экономических показателей объясняется тем, что большие системы, к которым относятся и ИС, в настоящее время невозможно синтезировать, не учитывая материальные затраты. Кроме того, все более важным становится показатель действительной стоимости денег, определяемой коэффициентом дисконтирования. По этим причинам, в качестве критерия выбора предлагается использовать реальные затраты на создание, модернизацию и эксплуатацию сети. В работах по финансовому менеджменту, управлению проектами, проектному анализу и инвестиционной деятельности такие затраты называют текущей или действительной стоимостью денег [17].

Использование в этом случае безусловных показателей предпочтения, таких как  $\pi$ -критерий Парето или  $S$ -критерий Слейтера, затрудняется тем что множество альтернатив выбора, то есть возможных стратегий

развития сети, хоть и конечно и изначально известно, но очень велико. Если бы это было не так, то задача поиска оптимальной стратегии по критерию стоимости не было бы столь сложна и объемна – для ее решения достаточно было бы перебрать все возможные альтернативы и выбрать среди них ту, которая отвечает минимальной стоимости. Использование условных критериев, таких как лексикографический  $L$ -критерий и  $\Delta$ -критерий с уступками, сопряжено с проведением сразу нескольких исследований по сложности сравнимых со сложностью оптимизации стратегии развития по критерию стоимости [18]. Кроме того  $\Delta$ -критерий предполагает наличие заранее заданных «уступок», являющихся субъективной величиной. Если все же предположить, что последовательное сужение исходного множества альтернатив проведено, то решение задачи оптимального синтеза информационной сети по критерию минимальной стоимости теряет смысл, в силу узости множества альтернатив выбора.

Таким образом с использованием теории принятия решения предложена общая структура оптимального проектирования информационных сетей, положенная в основу курсового и дипломного проектирования, выполняемого на кафедре информационно-коммуникационных технологий Одесской государственной академии холода при получении квалификации бакалавров, специалистов и магистров специальности «Компьютерные системы и сети».

---

### Благодарности

---

Работа опубликована при финансовой поддержке проекта ITHEA XXI Института информационных теорий и приложений FOI ITHEA Болгария [www.ithea.org](http://www.ithea.org) и Ассоциации создателей и пользователей интеллектуальных систем ADUIS Украина [www.aduis.com.ua](http://www.aduis.com.ua).

---

### Литература

---

1. Кандырин Ю.В. Автоматизированный многокритериальный выбор альтернатив в инженерном проектировании / Кандырин Ю.В. //– М.: МЭИ, 1992. – 52 с.
2. Гайворонская Г.С. Один из подходов к синтезу топологической структуры телекоммуникационной сети / Гайворонская Г.С. // Вісник ДУИКТ. – 2006. – Т. 4, №2. – С. 119-122.
3. Гайворонская Г.С. Оптимизация выбора сценария эволюции местной телефонной сети / Гайворонская Г.С. // Зв'язок. – 2002. – №1. – С. 51-53.
4. Тищенко М. А., Горячев А. П. Исследование функций. – М.: МИФИ, 2004. – 231 с.
5. Захаров Г. П. Эффективность систем связи // Электросвязь. – 1967. – №12. – С. 33–41.
6. Давыдов Г. Б., Рогинский В. Н., Толчан А. Д. Сети электросвязи. – М.: Связь, 1977. – 380 с.
7. Советов Б. Я., Яковлев С. А. Построение сетей интегрального обслуживания. – Л.: Машиностроение, 1990. – 332 с.

8. Давыдов Г. Б. Некоторые проблемы оптимизации развития сетей // Электросвязь. – 1985. – №2. – С. 1-5.
9. Умрихин Ю. Д. Проектирование систем передачи данных и сетей ЭВМ. – М.: М-во радиопром-сти, 1991. – 107 с.
10. Пяткин Е. Г. Критерий эффективности сети связи и его использование для синтеза структуры сети // Построение устройств управления сетями связи. – М.: 1977. – С. 131-132.
11. Окунев Ю. Б., Плотников В. Г. Принципы системного подхода к проектированию в технике связи. – М.: Связь, 1996. – 183 с.
12. Нариньяни А. С. Недоопределенность в системах представления и обработки знаний // Известия АН СССР. Техническая кибернетика. – 1986. – №5. – С. 3-28.
13. Просветов Г. И. Математические модели в экономике. – М.: РДЛ, 2006. – 151 с.
14. Математичні основи теорії телекомунікаційних систем / В. В. Поповский, С. О. Сабурова, В. Ф. Олейник та ін. / За заг. ред. В. В. Поповского. – Харків: ТОВ «Компанія СМШТ», 2006. – 564 с.
15. Гайворонская Г. С. Инфокоммуникации: Учеб. пособие. – Одесса: ОДАХ, 2006. – 90 с.
16. Гайворонская Г. С. Введение цифрового коммутационного оборудования на местной телефонной сети // Зв'язок. – 2000. – Ч. 2, №5. – С. 31-34.
17. Тарасюк Г. М. Управління проектами: Навч. посіб. – К.: Каравела, 2004. – 344 с.
18. Подиновский В. В. Коэффициенты важности критериев в задачах принятия решений. Порядковые или ординальные коэффициенты важности // Автоматика и телемеханика. – 1978. – №10. – С. 130-141.

**Информация об авторах**

---



**Галина Гайворонская** – Институт информационных технологий Одесской государственной Академии холода, д.т.н., профессор, заведует кафедрой информационно-коммуникационных технологий; ул. Дворянская, 1/3, Одесса-26, 65026, Украина; тел. (048)-720-91-48, e-mail: gayvoronska@osar.odessa.ua

Главные области научных исследований: оптимизация переходных периодов при эволюции информационных сетей. Потoki вызовов, нагрузка и межузловое тяготение в сетях. Проблемы создания перспективных сетей доступа. Проблема построения полностью оптических сетей и систем коммутации.

## ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕТОДОВ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ВЫБОРА В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ И РИСКА ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ КОМПЬЮТЕРНЫХ СЕТЕЙ

Максим Соломицкий, Оксана Болотина

**Аннотация:** На основе анализа, касающегося возможных методов выбора оптимального варианта, определен универсальный метод, для проектирования компьютерных сетей. Построена математическая модель выбора оптимального критерия при заданных параметрах задачи выбора и модель реализации решения. Разработан и внедрен в учебный процесс комплекс лабораторных работ на базе обучающей компьютерной программы «SMPR» с целью повышения эффективности обучения студентов специальности «Компьютерные системы и сети».

**Ключевые слова:** компьютерная сеть, проектирование, метод выбора, критерий выбора.

**Ключевые слова классификации ACM:** H. Information Systems - H.1 MODELS AND PRINCIPLES, C. Computer Systems Organization - C.2 COMPUTER-COMMUNICATION NETWORKS, E. Data - E.0 GENERAL.

« ... ничто не дается даром в этом мире,  
и приобретение знания – труднейшая из всех задач,  
с какими человек может столкнуться ... »

К. Кастанеда

---

### Введение

В большинстве теоретических задач идет речь о постановке и методах решения задач, которые являются полностью определенными. Однако, как правило, большинство реальных инженерных задач в том, или ином виде содержат неопределенность. Можно даже утверждать, что решение задач с учетом разного вида неопределенностей и риска является общим случаем, а принятие решений без их учета – частным. Именно поэтому в данной работе проведен анализ методов решения задач выбора в условиях неопределенности и риска. Представлен соответствующий опыт при проектировании компьютерных сетей, которому уделяется большое внимание при подготовке специалистов по компьютерным системам и сетям направления обучения «Компьютерная инженерия». Разработана математическая модель выбора оптимального метода решения задачи выбора и модель реализации решения этой задачи, а также комплекс лабораторных работ для решения инженерных задач выбора при проектировании компьютерных сетей. Для этого был использован программный продукт «SMPR», предложенный и любезно предоставленный профессором Киевского национального университета им. Т.Г. Шевченко д.т.н. А.Ф. Волошиным. Программа «SMPR» позволяет лицу, принимающему решение (ЛПР), выбрать альтернативу автоматически, для чего рассчитывается приемлемость каждого из вариантов в зависимости от состояний внешней среды и составляется матрица решений, согласно которой программа определяет оптимальную альтернативу.

---

### Анализ этапов проектирования компьютерной сети

---

Прежде чем начать анализ этапов проектирования напомним суть понятия «компьютерная сеть». Под компьютерной сетью понимается совокупность компьютеров и объединяющих их аппаратных средств, работающих под управлением сетевой операционной системы и прикладного программного обеспечения. Компьютерные сети объединяют отдельные компьютеры для обеспечения их взаимодействия и позволяют распределять ресурсы при помощи каналов связи [1].

При этом к компьютерным сетям предъявляются такие требования:

- способность обрабатывать и передавать данные – основной и наиболее характерный для них тип трафика;
- обеспечение скоростей передачи данных до сотен мегабит и десятков гигабит в секунду;
- простота управления, т.к. операторами сетей зачастую являются пользователи, а не специалисты телекоммуникаций [2].

Приведем пример последовательности этапов и варианты выбора при проектировании компьютерной сети (КС). Проблема выбора вариантов при проектировании КС является основной, при этом выбор затрудняет необходимость учитывать требования, иногда противоречащие друг другу, например, в процессе эксплуатации спроектированная КС должна обеспечивать максимальное качество обслуживания. Это значит, что передача необходимых объемов данных в КС должна осуществляться своевременно и безошибочно. Для реализации таких требований необходимо применение надежных, высокопроизводительных, близких к безынерционным, и поэтому дорогостоящих систем передачи. Однако, при этом же перед инженером-проектировщиком может стоять задача минимизации затрат на разработку КС, что существенно усложняет выбор оптимальных, с точки зрения качества обслуживания, вариантов.

При построении новой сети учитываются следующие факторы.

1. Необходимый масштаб сети в настоящее время, и в перспективе, где под масштабом сети понимается количество компьютеров, которые объединяются в сеть и расстояния между ними.
2. Структура, иерархия и основные элементы сети по подразделениям предприятия, комнатам, этажам и помещениям здания, где под структурой сети понимается способ распределения сети на сегменты и способ объединения этих сегментов. Структура сети должна отвечать структуре помещения или комплекса помещений предприятия. Рабочие места группы работников, которые занимаются одной задачей, желательно размещать в одной или в смежных комнатах.
3. Основные направления и интенсивность информационных потоков в сети по состоянию на данное время и на перспективу.
4. Характер информации, передаваемой по сети (данные, оцифрованная речь, изображения, т.д.).
5. Технические характеристики оборудования и его стоимость.
6. Возможности прокладки кабельных линий в помещениях и между ними, обеспечение целостности кабеля.
7. Обслуживание сети.
8. Контроль безотказности и безопасности.
9. Требования к программным средствам по допустимому масштабу сети, скорости, гибкости, разграничении прав доступа, стоимости, а также по возможностям контроля обмена информацией.

Последовательность действий при проектировании и построении сети представлена в виде блок-схемы, изображенной на рисунке 1.

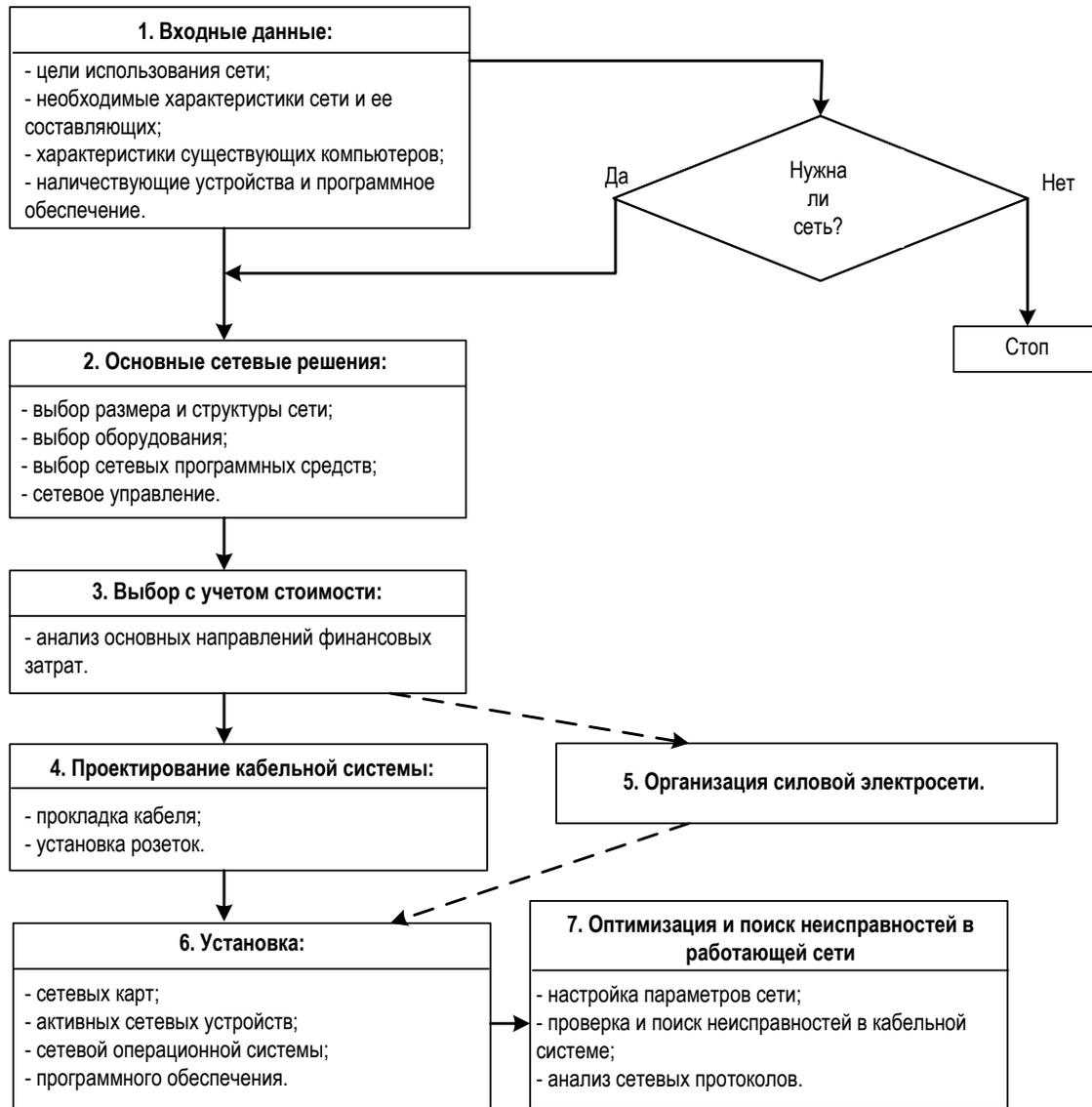


Рис.1 Последовательность действий при проектировании компьютерной сети

### Решение задачи и математическая модель выбора критерия сравнения альтернатив, при выборе оптимальной структуры компьютерной сети, при заданных параметрах

Существует ряд задач выбора, с которыми сталкивается инженер при проектировании КС. Это выбор типа сети, технологии, топологии, количества и основных характеристик оборудования, емкости сети и т.д. Все эти задачи имеют некоторую схожесть с точки зрения теории принятия решений. Определим, какие из методов сравнения альтернатив можно использовать при проектировании КС. Как известно, каждый из методов имеет ряд условий, при которых можно его использовать. Такими условиями могут быть:

- допустимость или недопустимость риска;

- реализация решения один или бесконечное количество раз;
- известна или нет вероятность проявления состояний внешней среды.

Прежде чем начать проектирование сети, инженер собирает всю необходимую информацию о потребностях пользователей, структуре сети, тщательно изучает стандарты и нормативные документы, относящиеся к этому вопросу. Поскольку предусмотреть заранее, что предстоит в будущем, невозможно, используется статистическая информация по предыдущим проектам, проводятся предпроектные изыскания, позволяющие существенно снизить неопределенность при проектировании. Неопределенность в данном случае может касаться увеличения потребностей, необходимости масштабирования сети, квалификации пользователей, даже погодных условий, которые, в свою очередь, также влияют на среду передачи данных. Допустим, что используемый метод сравнения альтернатив должен учитывать то, что вероятность проявлений состояний внешней среды неизвестна, поскольку в ходе проектирования могут возникнуть новые условия, которые нельзя предусмотреть заранее.

Для того чтобы учесть все возможные события, исправить ошибки, можно реализовать решение несколько раз для проверки метода и анализа полученных результатов. Главным параметром, согласно которому будем делать выбор при решении поставленной задачи в данном случае, является наличие риска. Именно этот фактор определяет решительность ЛПР, уверенность в получении оптимального результата, возможность доказать то, что пожертвовав какими-то материальными средствами в настоящий момент, в будущем будет извлечена большая выгода.

Поскольку каждый из методов выдвигает свои требования к условиям, в которых его можно применять, нужно провести их сравнительную оценку, а затем анализ применимости каждого метода к определенному типу задач и определить, какой из методов дает наиболее точный результат в конкретном случае.

Построим математическую модель, состоящую из двух частей. Первая часть определяет метод выбора, наиболее подходящий для решения конкретной задачи. Входными данными в этом случае будут целевые функции методов выбора, критерием выбора – допустимость риска, учет состояний внешней среды, возможность реализации решения бесконечное множество раз. Ограничения формулируются самой постановкой задачи. Так как поставлена задача выбора в условиях неопределенности, то ограничениями являются: осведомленность ЛПР в конкретной предметной области; возможность получения дополнительных сведений. В таком случае для решения задачи используются методы, не учитывающие коэффициент риска. Если же поставлена задача выбора в условиях риска, то ограничением будет готовность ЛПР к риску и степень применимости критериев, учитывающих риск. Вне зависимости от типа задачи обязательным ограничением будет наличие временных ресурсов и возможность проведения решения несколько раз. Результатом работы модели является выбор метода, оптимального для конкретной задачи. Представим модель наглядно (рисунок 2). Для выбора оптимальной альтернативы, используя математическую модель, необходимо, в первую очередь, определиться с задачей, для которой она будет использоваться, и сформулировать цель. В конкретной задаче необходимо определиться с ограничениями, допущениями и предполагаемыми результатами. В зависимости от выдвинутых требований к методу выбора определяется множество ограничений. Под ограничениями в данном случае понимается тип задачи:

- в условиях неопределенности;
- в условиях риска.

Допущениями в таком случае будут такие предположения:

- об осведомленности ЛПР;

- о состояниях внешней среды и возможности их проявлений;
- предположение о том, что ЛПП хорошо владеет предметной областью, в которой необходимо принять решение;
- необходим ли сбор дополнительной информации.

**Заданные значения:**

Целевые функции методов выбора альтернативы.

Минимаксный критерий Вальда:

$$x^* \in \mathop{\text{Arg max}}_{x \in X} E_{MM}(x) = \mathop{\text{Arg max}}_{x \in X} \min_{s \in S} u(x, s).$$

Критерий Байеса-Лапласа:

$$x^* \in \mathop{\text{Arg max}}_{x \in X} E_{BL}(x) = \mathop{\text{Arg max}}_{x \in X} \int_{s \in S} p(s)u(x, s)ds.$$

Критерий минимизации дисперсии оценки:

$$x^* \in \mathop{\text{Arg min}}_{x \in X} E_D(x) = \mathop{\text{Arg min}}_{x \in X} \int_{s \in S} p(s)(E_{MM}(x) - u(x, s))^2 ds.$$

Критерий максимизации вероятности:

$$E_F(x) = \int_{\substack{s \in S, \\ u(x, s) \geq u^*}} p(s)ds, x^* \in \mathop{\text{Arg max}}_{x \in X} E_F(x) = \mathop{\text{Arg max}}_{x \in X} \int_{\substack{s \in S, \\ u(x, s) \geq u^*}} p(s)ds.$$

Модальный критерий:

$$x^* \in \mathop{\text{Arg min}}_{x \in X} E_{SE}(x) = \mathop{\text{Arg min}}_{x \in X} \max_{z \in X} (\max_{s \in S} u(z, x) - u(x, s)).$$

Критерий Севиджа:

$$x^* \in \mathop{\text{Arg min}}_{x \in X} E_{SE}(x) = \mathop{\text{Arg min}}_{x \in X} \max_{z \in X} (\max_{s \in S} u(z, x) - u(x, s)).$$

Критерий стабильности:

$$x^* \in X^* = \mathop{\text{Arg min}}_{x \in X} E_{ST}(x) = \mathop{\text{Arg min}}_{x \in X} \max_{t \in S} (\max_{s \in S} u(x, t) - u(x, s)).$$

Критерий Гурвица:

$$x^* \in \mathop{\text{Arg max}}_{x \in X} E_{GW}(x) = \mathop{\text{Arg max}}_{x \in X} (\alpha \max_{s \in S} u(x, s) + (1 - \alpha) \min_{s \in S} u(x, s)).$$

Критерий Ходжа-Лемана:

$$x^* \in \mathop{\text{Arg min}}_{x \in X} E_{HL}(x) = \mathop{\text{Arg max}}_{x \in X} \left( \alpha \int_{s \in S} p(s)u(x, s)ds + (1 - \alpha) \min_{s \in S} u(x, s) \right).$$

Критерий Гермейера:

$$x^* \in \mathop{\text{Arg max}}_{x \in X} E_{GE}(x) = \mathop{\text{Arg max}}_{x \in X} \min_{s \in S} p(s)u(x, s)$$

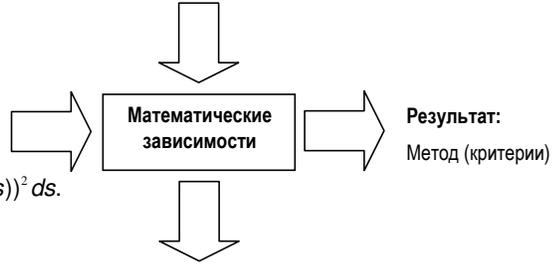
Критерий произведений:

$$x^* \in \mathop{\text{Arg max}}_{x \in S} E_{MU}(x) = \mathop{\text{Arg max}}_{x \in X} \prod_{s \in S} u(x, s).$$

**Ограничения:**

тип задачи, к которой возможно применение метода:

- в условиях риска;
- в условиях неопределенности.



**Критерий выбора:**

- допустимость риска;
- учет возможных состояний внешней среды  $s \in S$ ;
- возможность реализации решения бесконечное число раз.

Рис. 2 Модель выбора оптимального критерия для задачи с заданными условиями

Определим основные характеристики анализируемых методов. Каждый метод можно применять в конкретных нижеприведенных условиях.

1. Допустимость риска (обозначим его  $R$ ).
2. Учет проявлений состояний внешней среды (обозначим как  $S$ ).
3. Возможность реализации решений бесконечное количество раз (обозначим как  $N$ ).

В модели обозначения  $X$  характеризуют множество альтернатив, т.е. возможных вариантов. Множество  $S$  – множество проявлений состояний внешней среды. Множество  $Y$  характеризует возможные последствия от реализации выбранной альтернативы. В зависимости от сформированных множеств и решающих правил выбирается оптимальная альтернатива.

В зависимости от требований и условий, выдвинутых задачей, выбираем метод для дальнейшего выбора альтернативы. Для наглядности распределим критерии выбора альтернативы на несколько групп, в зависимости от условий в которых их можно применять (таблица 1). В результате анализа условий применения методов сформировано пять групп. Каждая группа содержит несколько методов, соответственно результатом выбора может быть множество методов.

Таблица 1 – Формальное представление критериев выбора альтернативы

Группа	Название критерия	Допустимость риска	Вероятность проявления состояний внешней среды	Решение реализуется бесконечное количество раз
1	Модальный	$R = 1$	$S = 1$	$N = 1$
1	Максимизации вероятности	$R = 1$	$S = 1$	$N = 1$
1	Минимизации дисперсии оценки	$R = 1$	$S = 1$	$N = 1$
1	Байеса - Лапласа	$R = 1$	$S = 1$	$N = 1$
2	Гермейера	$R = 1$	$S = 0$	$N = 1 / N = 0$
3	Оптимистический	$R = 1$	$S = 0$	$N = 1$
3	Ходжа - Лемана	$R = 1$	$S = 0$	$N = 1$
4	Произведений	$R = 1$	$S = 0$	$N = 1 / N = 0$
4	Гурвица	$R = 1$	$S = 0$	$N = 1 / N = 0$
4	Аддитивный	$R = 1$	$S = 0$	$N = 1 / N = 0$
5	Севиджа	$R = 0$	$S = 0$	$N = 0$
5	Минимаксный	$R = 0$	$S = 0$	$N = 0$
5	Стабильности	$R = 0$	$S = 0$	$N = 0$

Опишем детально процесс определения критерия выбора оптимальной альтернативы. На первом этапе стоит постановка задачи, выделение основных аспектов критерия. На втором этапе осуществляется процесс полного перебора альтернатив (рисунок 3).

Если в условии задачи оговорена возможность допустить определенный риск, то список методов выбора альтернатив сокращается, т.е., если  $R = 1$ , то 5 группа методов отбрасывается.

Если ЛПР известны возможные проявления состояний внешней среды, т.е., если  $s \in S, S = 1$ , то для выбора альтернативы лучше использовать 1 и 2 группы методов.

Если реализовать решение можно бесконечное количество раз, т.е., если  $N \rightarrow \infty, N=1$ , то можно использовать 1-4 группы методов.

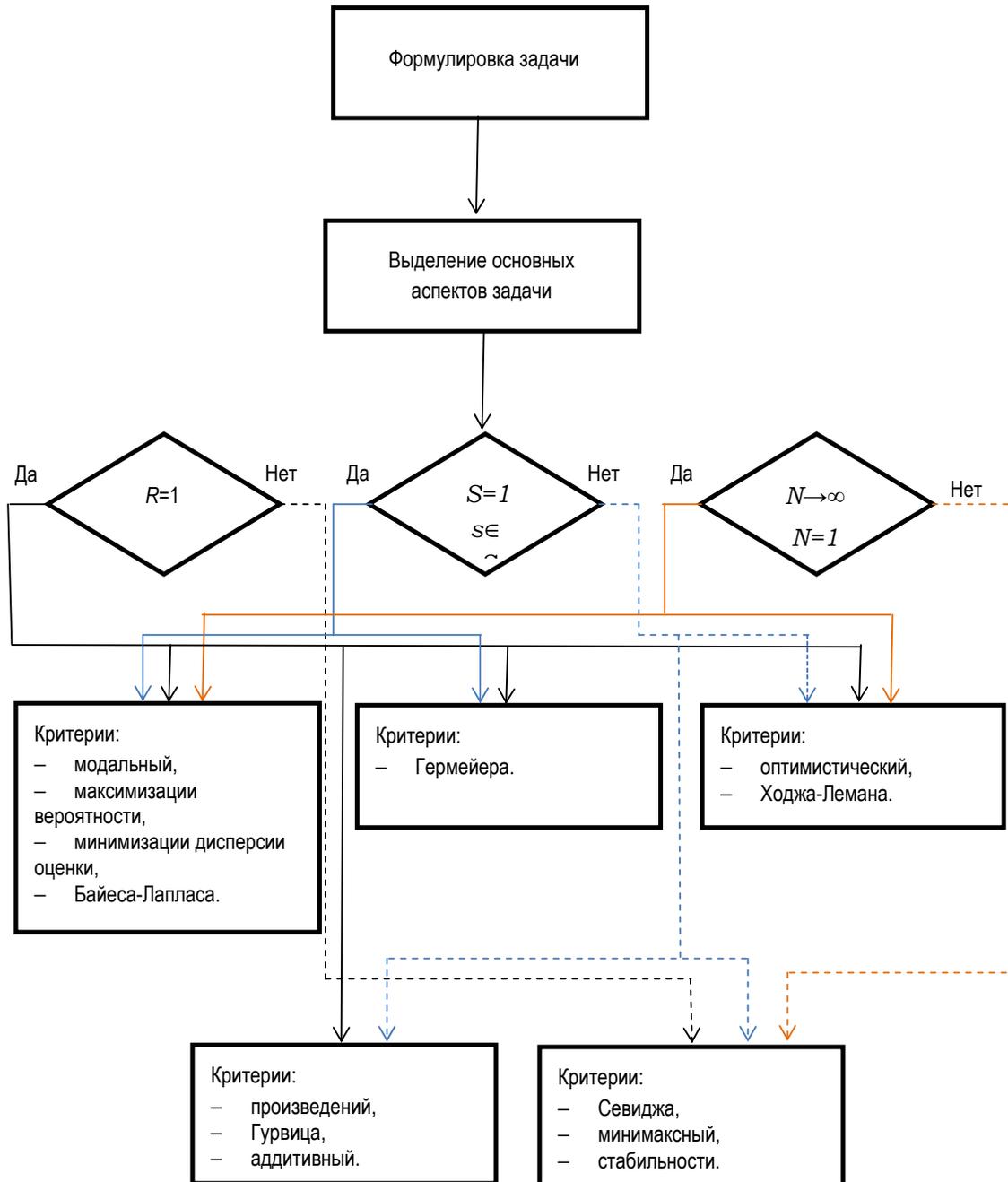


Рис. 3 Процесс определения оптимального критерия

Для выбора метода, который даст наиболее точный результат необходимо рассмотреть все комбинации условий.

1. Если  $R = 1, s \in S, S = 1, N \rightarrow \infty, N = 1$ , то на выходе получим целевые функции 1 группы методов:
  - модальный критерий

$$E_{MOD}(x) = \max_{x \in X} u(x, s^*);$$

– критерий максимизации вероятности

$$E_F(x) = \int_{\substack{s \in S, \\ u(x, s) \geq u^*}} p(s) ds, x^* \in \mathop{\text{Arg max}}_{x \in X} E_F(x) = \mathop{\text{Arg max}}_{x \in X} \int_{\substack{s \in S, \\ u(x, s) \geq u^*}} p(s) ds;$$

– критерий минимизации дисперсии оценки

$$x^* \in \mathop{\text{Arg min}}_{x \in X} E_D(x) = \mathop{\text{Arg min}}_{x \in X} \int_{s \in S} p(s) (E_{MM}(x) - u(x, s))^2 ds;$$

– критерий Байеса-Лапласа

$$x^* \in \mathop{\text{Arg max}}_{x \in X} E_{BL}(x) = \mathop{\text{Arg max}}_{x \in X} \int_{s \in S} p(s) u(x, s) ds.$$

Какой критерий из приведенного множества использовать решает ЛППР.

2. Если  $R=1, s \in S, S=1, N=1/0$ , т.е. возможное количество реализаций  $N$  на результат не влияет и приведенные критерии можно использовать как при множестве решений, так и при малом их количестве, то на выходе получим целевые функции 2 группы методов:

– критерий Гермейера

$$x^* \in \mathop{\text{Arg max}}_{x \in X} E_{GE}(x) = \mathop{\text{Arg max}}_{x \in X} \min_{s \in S} p(s) u(x, s).$$

3. Если  $R=1, S=0, N \rightarrow \infty, N=1$ , то получим целевые функции 3 группы методов:

– оптимистический критерий

$$x^* \in \mathop{\text{Arg max}}_{x \in X} E(x);$$

– критерий Ходжа-Лемана

$$x^* \in \mathop{\text{Arg min}}_{x \in X} E_{HL}(x) = \mathop{\text{Arg max}}_{x \in X} \left( \alpha \int_{s \in S} p(s) u(x, s) ds + (1 - \alpha) \min_{s \in S} u(x, s) \right).$$

4. Если  $R=1, s \in S, S=0, N=1/0$ , т.е. возможное количество реализаций  $N$  на результат не влияет и при этом нужно исключить риск, то на выходе получим целевые функции 4 группы методов:

– критерий произведений

$$x^* \in \mathop{\text{Arg max}}_{x \in S} E_{MU}(x) = \mathop{\text{Arg max}}_{x \in X} \prod_{s \in S} u(x, s);$$

– критерий Гурвица

$$x^* \in \mathop{\text{Arg max}}_{x \in X} E_{GW}(x) = \mathop{\text{Arg max}}_{x \in X} (\alpha \max_{s \in S} u(x, s) + (1 - \alpha) \min_{s \in S} u(x, s));$$

– аддитивный критерий

$$x^* \in \mathop{\text{Arg max}}_{x \in X} \sum_{s \in S} u(x, s).$$

5. Если же любой риск нужно исключить, про состояния внешней среды ничего не известно и решение реализуется лишь один раз, т.е.  $R=0, S=0, N=0$ , то на выходе получим целевые функции 5 группы методов:

– критерий Севиджа

$$x^* \in \mathop{\text{Arg min}}_{x \in X} E_{SE}(x) = \mathop{\text{Arg min}}_{x \in X} \max_{z \in X} (\max_{s \in S} u(z, x) - u(x, s));$$

– критерий стабильности

$$x^* \in X^* = \underset{x \in X}{\text{Arg min}} E_{ST}(x) = \underset{x \in X}{\text{Arg min}} \max_{s \in S} (\max_{t \in S} u(x, t) - u(x, s));$$

– минимаксный критерий Вальда

$$x^* \in \underset{x \in X}{\text{Arg max}} E_{MM}(x) = \underset{x \in X}{\text{Arg max}} \min_{s \in S} u(x, s).$$

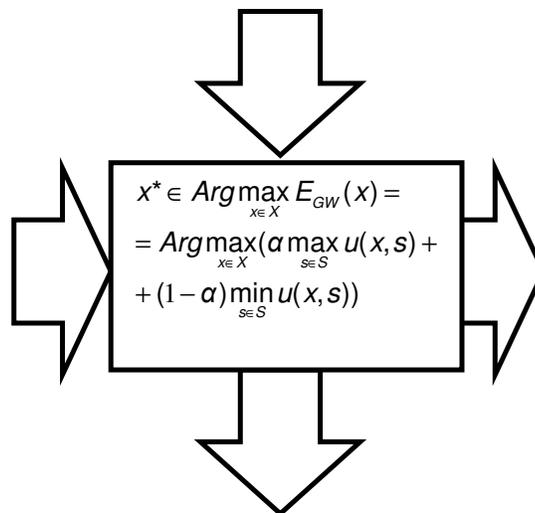
Следующим этапом будет применение полученного критерия в задаче выбора альтернативы. Допустим, нам необходимо выбрать модель мобильного телефона, модификация предложенной модели для этого примера примет вид, показанный на рис. 4. Сформируем исходное множество данных для поставленной задачи. Заданными значениями будут модели телефонов. Множеством ограничений в данном случае будут характеристики телефонов. Основным критерием выбора для данной задачи будет цена. Если на первом этапе получена четвертая группа методов сравнения альтернатив, значит следует использовать критерии: произведений, Гурвица и аддитивный. Выбор конкретного метода осуществляет ЛПР. Для выбора телефона будем использовать целевую функцию сравнения альтернатив критерия Гурвица. В результате его работы получим модель телефона, оптимальную для заданных ограничений.

#### Ограничения:

- диагональ экрана: не менее 3.2";
- разрешение экрана: не менее 240×400 пикс.;
- частота процессора: от 624 МГц;
- операционная система: *Android*;
- объем встроенной памяти: от 256 Мб;
- поддержка функций *SMS, MMS, EMS*;
- Интернет: *WAP 2.0, GPRS, EDGE, HSDPA, POP/SMTP-клиент, HTML*;
- поддержка *Java*;
- камера: 5 МП, светодиодная вспышка, автофокус;
- интерфейсы: *USB, Wi-Fi, Bluetooth 2.0*.

#### Заданные значения:

- *Nokia 5800*;
- *Samsung i900*;
- *HTC Desire S*;
- *Nokia E61*;
- *Samsung Galaxy*



#### Результат:

Модель оптимального для заданных условий телефона

#### Критерии выбора:

- цена;
- хорошие отзывы.

Рис. 4 Модель выбора оптимальной модели телефона

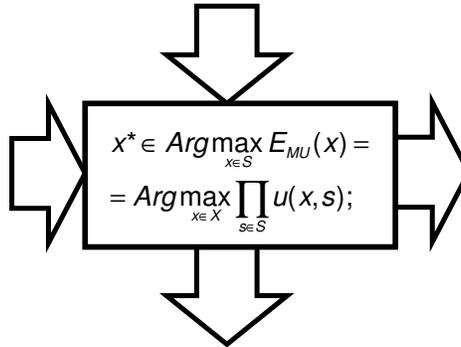
Чтобы показать возможность использования построенной модели при проектировании КС рассмотрим еще один пример. Необходимо выбрать технологию работы КС (рисунок 5).

**Ограничения:**

- двухэтажное строение общей площадью 2000 м<sup>2</sup>;
- количество пользователей 36;
- необходимо предусмотреть возможность масштабирования;
- топология «звезда»;
- на проектирование и построение сети выделено 7 дней;
- стоимость проектирования и построения не должна превышать 45000 грн.

**Заданные значения:**

- *Ethernet*;
- *Frame Relay*;
- *X.25*;
- *ATM*;
- *Token Ring*.



**Результат:**

Выбор технологии, оптимальной для заданных условий.

**Критерии выбора:**

- цена;
- качество.

Рис. 5 Модель выбора оптимальной технологии

Заданными значениями в данном случае будут различные технологии компьютерных сетей. Одной из них является *Ethernet* – пакетная технология передачи данных, предназначенная преимущественно для локальных КС. Стандарты *Ethernet* определяют проводные соединения и электрические сигналы на физическом уровне, формат кадров и протоколы управления доступом к среде – на канальном уровне модели взаимодействия открытых систем (МВОС). В настоящее время *Ethernet* является самой распространённой технологией локальных КС. Еще одной является технология стандарта *X.25* – семейства протоколов канального уровня МВОС, предназначенного для организации технологии транспортировки пакетов в КС на основе линий телефонных сетей с достаточно высокой частотой ошибок, поэтому содержит развитые механизмы коррекции ошибок. Протокол *X.25* ориентирован на работу с установлением соединений и является предшественником канальных технологий *Frame Relay*, *ATM*, *IP*. Технология ретрансляции кадров *Frame Relay* представляет собой протокол канального уровня МВОС для организации в КС службы коммутации пакетов. Реализуя технологию транспортировки КС, *Frame Relay* обеспечивает множество независимых виртуальных каналов в одной физической линии связи, и, в основном, применяется при построении территориально распределённых корпоративных сетей, а также в составе технических решений, связанных с обеспечением гарантированной пропускной способности канала передачи данных. *ATM* – асинхронный способ передачи данных – сетевая высокопроизводительная технология коммутации и мультиплексирования, основанная на передаче данных в виде ячеек фиксированного размера. Технология реализуется как в локальных, так и в глобальных КС для совместной передачи различных видов информации при обеспечении требований пользователя к качеству обслуживания. Для передачи данных от отправителя к получателю в сети *ATM* создаются виртуальные каналы. Технология локальных КС в виде кольца с «маркёрным доступом» *Token*

*Ring* реализует протокол локальной сети, который находится на канальном уровне МВОС и использует специальный трёхбайтовый фрейм, названный маркером, который перемещается вокруг кольца. Сетевые рабочие станции на локальной КС *Token Ring* логически организованы в кольцевую топологию с данными, передаваемыми последовательно от одной кольцевой станции до другой с управляющим маркером, циркулирующим вокруг кольцевого доступа управления.

Ограничениями при выборе технологии КС будут характеристики условий, в которых необходимо построить сеть, к которым могут быть отнесены: размеры здания, количество пользователей, выделенные средства, временные ресурсы – т.е. требования заказчика. Критерием выбора в данном случае выберем оптимальную цену при обеспечении технологией требований к качеству и своевременности доставки информации. А в результате получим оптимальную технологию для заданных ограничений. Для выбора оптимальной технологии воспользуемся критерием произведений. В результате получим технологию работы КС, оптимальную с противоречащих друг другу позиций минимизации стоимости технологии и максимизации обеспечиваемого ею качества, удовлетворяющую сформулированным ограничениям.

---

### **Комплекс лабораторных работ для получения навыков использования методов принятия решений в сфере компьютерных сетей**

---

На основе программного продукта «*SMPR*», предоставленного профессором Киевского национального университета имени Т.Г. Шевченко д.т.н. Волошиным А.Ф., разработан комплекс лабораторных работ для получения навыков использования методов решения инженерных задач выбора при проектировании компьютерных сетей. При разработке данного комплекса, используемого при подготовке студентов специальности «Компьютерные системы и сети», были применены материалы [3,4], являющиеся основополагающими по теории принятия решений при подготовке выпускников квалификации магистров и специалистов Киевского национального университета и Одесской государственной академии холода.

Обобщенная последовательность этапов работы с программой «*SMPR*» представлена на рисунке 6.

Целью первой лабораторной работы является получение навыков работы с программой «*SMPR*» и закрепление базовых знаний теории принятия решений. Студентами в ходе работы изучаются основные принципы и этапы процесса принятия решений, понятия неопределенности и риска, векторные и скалярные критериальные постановки, особенности эвристических методов. В программе «*SMPR*» предлагается пройти тест для определения готовности к риску, результаты теста используются в следующей лабораторной работе для определения числового значения коэффициента риска. Также студентам необходимо предложить свои три варианта задач выбора из сферы КС. Например, постановка задачи звучит так: необходимо выбрать топологию КС для двухэтажного дома, площадью 1500 м<sup>2</sup>, количество компьютеров 32. В данном случае множеством альтернатив будут топологии сети: шина, звезда, кольцо, решетка, дерево, комбинированная, т.д. Каждый вариант может описываться набором внешних характеристик, которые условно разделяются на показатели приемлемости, условия и ограничения. Множество состояний сети задано условиями задачи – это площадь, количество компьютеров, размеры здания и т.д.

Определение достоверности и точности полученных результатов с помощью программы «*SMPR*» является целью второй лабораторной работы. Студентам предлагается выполнить анализ возможности применения критериев: модального, максимизации вероятности, минимизации дисперсии, Байеса-Лапласа, для решения задач выбора в ходе проектирования КС. Для этого в ходе выполнения работы необходимо описать основные входные положения принятия решений в условиях неопределенности и риска, проанализировать экстенсивную и нормальную формы взаимосвязи триады множеств, виды матриц решений, освоить критерии вышеуказанные критерии. Затем студентам предлагается решить реальную задачу выбора оборудования, например, маршрутизатора. Множеством альтернатив в данном

случае будут разные модели сетевых маршрутизаторов, множеством состояний внешней среды – необходимые характеристики.

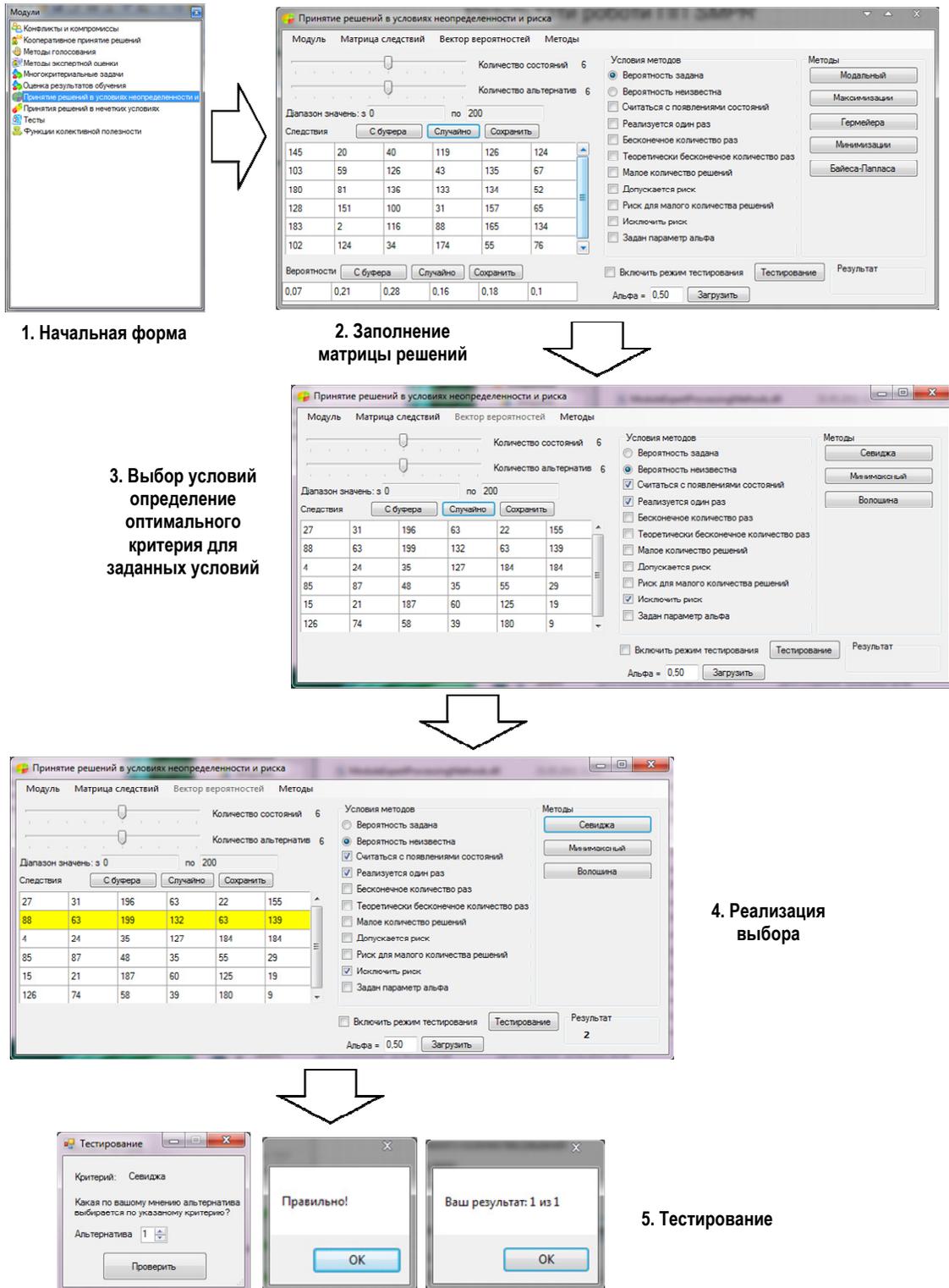


Рис. 6 Этапы работы с программным продуктом «SMPR»

Студенты составляют матрицу решений и решают задачу тремя способами:

- выбирают альтернативу эвристически и объясняют свой выбор;
- выбирают альтернативу, используя критерий Парето или Слейтера, и определяют наиболее подходящий из векторных критериев;
- выбирают альтернативы, используя программу «*SMPR*» и делают выбор с помощью следующих критериев: модального, максимизации вероятности, минимизации дисперсии оценки, Байеса-Лапласа; сравнивают полученные результаты работы программы.

После этого студентам предлагается проанализировать результаты, полученные тремя разными способами решения, и определить, какой из способов решения дает наиболее точный результат.

Третья лабораторная работа посвящена решению задачи выбора с использованием критериев: оптимистичного, Ходжа-Лемана, произведений, Гурвица и аддитивного, а также анализу полученных результатов. Целью работы является определение достоверности и точности результатов, полученных с помощью программы «*SMPR*». Студенты анализируют модели принятия решений и особенности указанных критериев. В ходе выполнения работы студентам предлагается решить задачу выбора топологии КС.

Размеры здания и условия студенты выбирают сами, затем составляют множество альтернатив, определяют возможные состояния внешней среды и составляют матрицу решений. Решить поставленную задачу предлагается тремя способами: эвристически, используя векторный критерий Парето или Слейтера, используя программу «*SMPR*» с помощью следующих критериев: оптимистичного, Ходжа-Лемана, произведений, Гурвица и аддитивного. Затем студентам необходимо проанализировать результаты, полученные тремя разными способами решения, и определить наиболее точный, с точки зрения полученного результата, способ решения.

Решению задачи выбора с использованием критериев: Севиджа, стабильности, минимаксного, Гермейера, а также анализу полученных результатов посвящена четвертая лабораторная работа, цель которой – оптимизация поставленной задачи под избранный критерий. Студентам предлагается проанализировать особенности указанных критериев, провести классификацию критериев, изученных в течение курса лабораторных работ, определить группы критериев и объяснить полученное в результате распределение критериев, а также определить наиболее универсальной критерий, согласно условиям, в которых он может использоваться. В ходе работы необходимо решить задачу выбора технологии работы КС, составить множество альтернатив, определить возможные состояния внешней среды, составить матрицу решений.

---

## Выводы

---

В результате выполненной работы предложен и обоснован способ выбора метода, который целесообразно использовать при проектировании КС. Проведена классификация критериев решения задач выбора, согласно условиям, в которых они могут использоваться, при этом сформировано 5 групп методов. Разработана математическая модель определения оптимального метода решения задачи выбора и модель реализации решения этой задачи.

Разработан комплекс лабораторных работ для решения инженерных задач выбора при проектировании КС, используемый при подготовке бакалавров, специалистов и магистров специальности «Компьютерные системы и сети» кафедры информационно-коммуникационных технологий Одесской государственной академии холода. Для выполнения лабораторных работ использован программный продукт «*SMPR*» профессора Киевского национального университета имени Т.Г. Шевченко д.т.н. Волошина А.Ф.

---

### Благодарности

---

Работа опубликована при финансовой поддержке проекта ITHEA XXI Института информационных теорий и приложений FOI ITHEA Болгария [www.ithea.org](http://www.ithea.org) и Ассоциации создателей и пользователей интеллектуальных систем ADUIS Украина [www.aduis.com.ua](http://www.aduis.com.ua).

---

### Литература

---

1. Гайворонская Г. С. Инфокоммуникации: Учеб. пособие / Гайворонская Г. С. – Одесса: ОГАХ, 2006. – 90 с.
2. Гайворонская Г.С. Сети и системы телекоммуникаций / Гайворонская Г.С., Захарченко М.В. – К.: Техника, 2000. – 304с.
3. Гайворонская Г. С. Оптимальный синтез информационных сетей: Пособие для магистров / Гайворонская Г. С. – Одесса: ОГАХ, 2011. – 94 с.
4. Волошин О.Ф. Моделі та методи прийняття рішень: навчальний посібник для студ. вищ. навч. закл. / Волошин О.Ф., Мащенко С.О. – 2-ге вид. – К.: Видавничо-поліграфічний центр «Київський університет», 2010.

---

### Информация об авторах

---



**Максим Соломицкий** – Одесская государственная академия холода, факультет информационных технологий; аспирант кафедры информационно-коммуникационных технологий; ул. Дворянская, 1/3, Одесса-26, 65026, Украина; e-mail: [sage89@mail.ru](mailto:sage89@mail.ru).

*Главные области научных исследований: проблемы создания конвергентных телекоммуникационных сетей.*



**Оксана Болотина** – Одесская государственная академия холода, факультет информационных технологий; магистр кафедры информационно-коммуникационных технологий; ул. Дворянская, 1/3, Одесса-26, 65026, Украина;

*Главные области научных исследований: проблемы выбора в условиях неопределенности и риска в сфере инфокоммуникаций.*

## ПРИМЕНЕНИЕ ОБУЧАЮЩЕЙ ПРОГРАММЫ *SMPR* ПРИ ВЫБОРЕ ТЕХНОЛОГИЙ СЕТЕЙ ДОСТУПА

Антон Бондаренко

**Аннотация:** В работе проанализирована структура программного продукта «*SMPR*», разработанного под руководством профессора Киевского национального университета им. Т.Г. Шевченко, д.т.н. Волошина А.Ф., и его применение при решении многокритериальных задач выбора, связанных с принятием решений в области сетей доступа. На основе «*SMPR*», разработан и внедрен в учебный процесс цикл лабораторных работ для студентов специальности «Компьютерные системы и сети».

**Ключевые слова:** информационная сеть, сеть доступа, проектирование, метод выбора, критерий выбора.

**Ключевые слова классификации ACM:** H. Information Systems - H.1 MODELS AND PRINCIPLES, C. Computer Systems Organization - C.2 COMPUTER-COMMUNICATION NETWORKS, E. Data - E.0 GENERAL.

---

### Введение

---

Одним из актуальных вопросов в области инфокоммуникаций является создание сетей связи следующего поколения (*Next generation network, NGN*) и их неотъемлемого элемента сетей доступа (СД). При создании и функционировании СД неизбежно возникают задачи, связанные с принятием решений. Это, например, задачи, связанные с выбором: стратегий замены оборудования; программного обеспечения; параметров системы; оборудования и технологий для проектируемой СД, а также с минимизацией затрат при проектировании СД; маршрутизацией; планированием, организацией эксплуатации и развития СД; формированием канала связи; проектированием узлов доступа (УД) и др. С появлением все большего количества инфокоммуникационных услуг (ИКУ), для предоставления которых пользователям создаются СД, увеличивается число параметров, которые должны быть учтены при решении указанных задач. Это приводит к необходимости применения многокритериальных постановок с использованием методов теории принятия решений. Использование программного продукта «*SMPR*», реализованного под руководством профессора Киевского национального университета им. Т.Г. Шевченко, д.т.н. Волошина А.Ф., позволяет проектировщику, реализующему функции лица, принимающего решение (ЛПР), автоматизировать выбор альтернативы на множестве вариантов.

---

### Структура системы «*SMPR*»

---

В настоящее время существует множество информационных технологий для решения задач, связанных с процессами принятия решений в различных предметных областях. В частности, в программном продукте «*SMPR*» представлены методы многокритериального выбора из сформированного множества альтернатив: по числу доминирующих критериев, последовательного введения ограничений, желаемой точки, последовательных уступок и идеальной точки.

Структура системы «*SMPR*» включает ядро и набора специализированных модулей. Ядро создает среду функционирования модулей с возможностью параллельного решения задач выбора, обмена данными между модулями и состоит из общего интерфейса, системы обмена данными, системы помощи и информации о модулях. Ядро имеет буфер, позволяющий манипулировать исходными данными любого рода и результатами их обработки. На архитектурном уровне буфер – это специализированный класс,

представляющий модулям интерфейс загрузки, сохранения и валидации данных. Система «SMPR» создана с учетом возможности расширения ее функциональности с точки зрения добавления новых модулей. Обобщенная схема работы модуля, представляющего из себя набор методов для решения задач выбора выполненная согласно ее спецификации, изображена на рисунке 1.

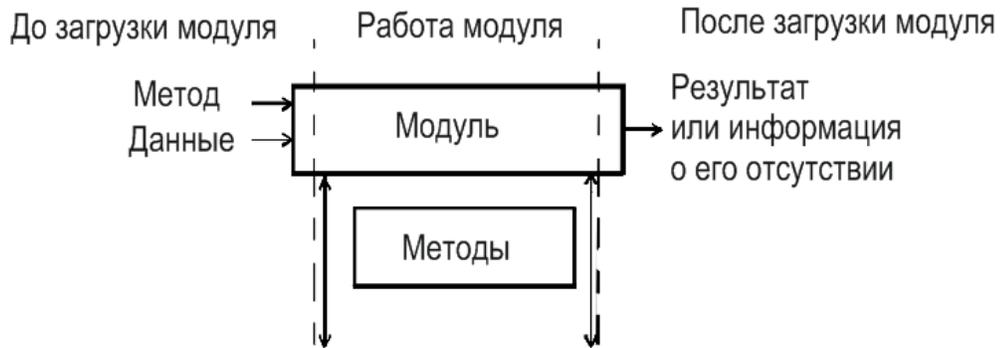


Рисунок 1. Структура системы

Для каждого класса задач в системе «SMPR» существует определенный набор алгоритмов их решения, при этом решение задач одних классов могут быть входными данными для других. Структура модуля, отвечающего за конкретный класс задач, построена таким образом, что ядро может определить не только наличие модуля, но и некоторые его свойства.

### Постановка задачи выбора технологий доступа

При создании СД одной из задач проектирования является выбор инфокоммуникационных технологий, используемых на каждом отдельном участке сети. Это достаточно трудоемкая задача, требующая тщательного учета информационных потребностей каждого из пользователей и требований, выдвигаемых ими к СД. Результаты расчетов на основе анализа требований пользователей позволяют вычислить пропускную способность, как для отдельного пользователя, так и для сегментов или всей СД. На основе результатов расчетов можно реализовать выбор оптимальной технологии доступа. Задать функцию выбора технологии доступа можно выражением

$$M \sim (A, E, D, Q) = T_{opt}.$$

Формулировка включает первичные и экономические факторы, а также требования пользователей и метод выбора.

Первичные факторы:  $A = \{a_1, a_2, a_3\}$ ,

где  $a_1$  – количество пользователей;

$a_2$  – тип местности;

$a_3$  – наличие сетевой инфраструктуры.

Экономические факторы  $E = \{e_1, e_2\}$ ,

где  $e_1$  – капитальные затраты;

$e_2$  – эксплуатационные затраты.

Требования пользователей  $D = \{d_1, d_2, d_3, d_4, d_5, d_6\}$ ,

где  $d_1$  – пропускная способность;

$d_2$  – коэффициент ошибок;

$d_3$  – максимальная дальность связи;

$d_4$  – стоимость оборудования;

$d_5$  – время задержки;

$d_6$  – механическая прочность.

Метод выбора  $Q = \{q\}$ .

На основе применения минимаксного метода для решения задачи выбора технологий доступа разработан алгоритм работы представленный на рис. 2. Поиск решения сформулированной задачи выбора с помощью программного продукта д.т.н. Волошина А.Ф. не требует составления отдельного алгоритма для каждой задачи, однако этот шаг позволяет ЛПР четко представить последовательность проведения анализа нахождения результата.

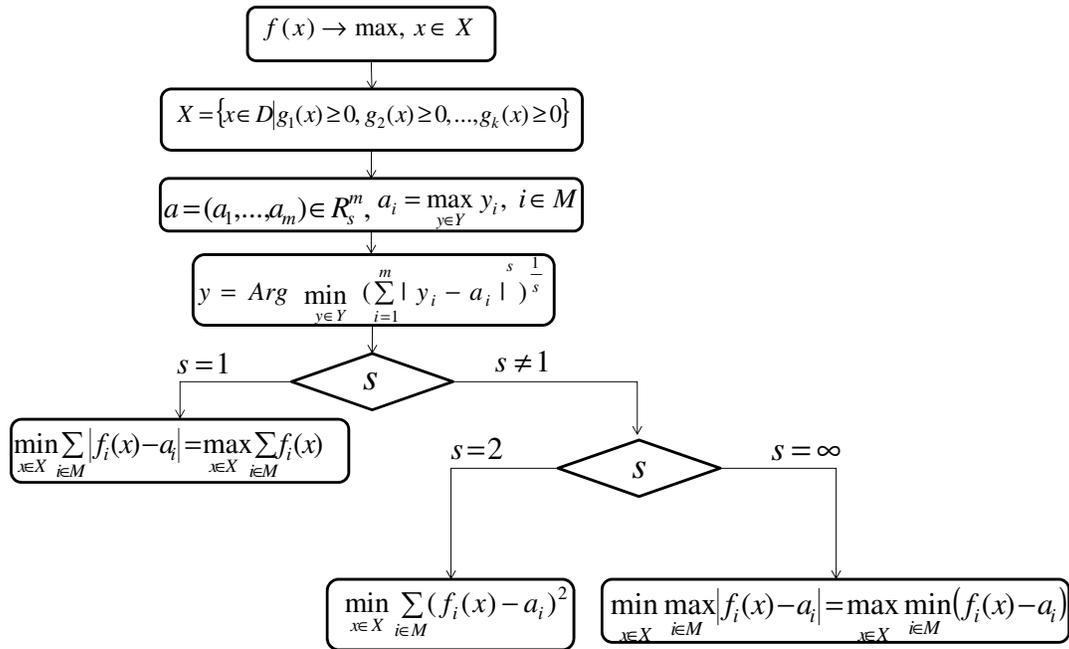


Рисунок 2. Алгоритм работы математической модели выбора технологий СД

### Использование «SMPR» для решения многокритериальных задач

Проиллюстрируем решение задачи выбора технологий СД с помощью программы «SMPR».

1. Выбираем раздел многокритериальной задачи (рис. 3).

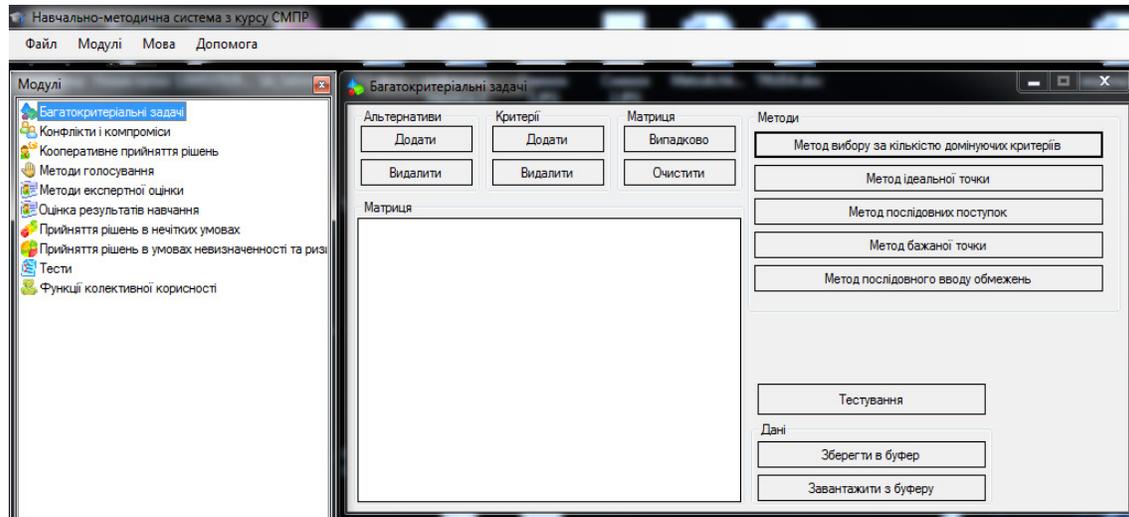


Рисунок 3. Розділ багатокритеріальних задач в «СМРР»

2. Формируем множество альтернатив (рис. 4). Названия альтернатив указываются без пробелов. Для задачи выбора технологий СД – это названия самих технологий.

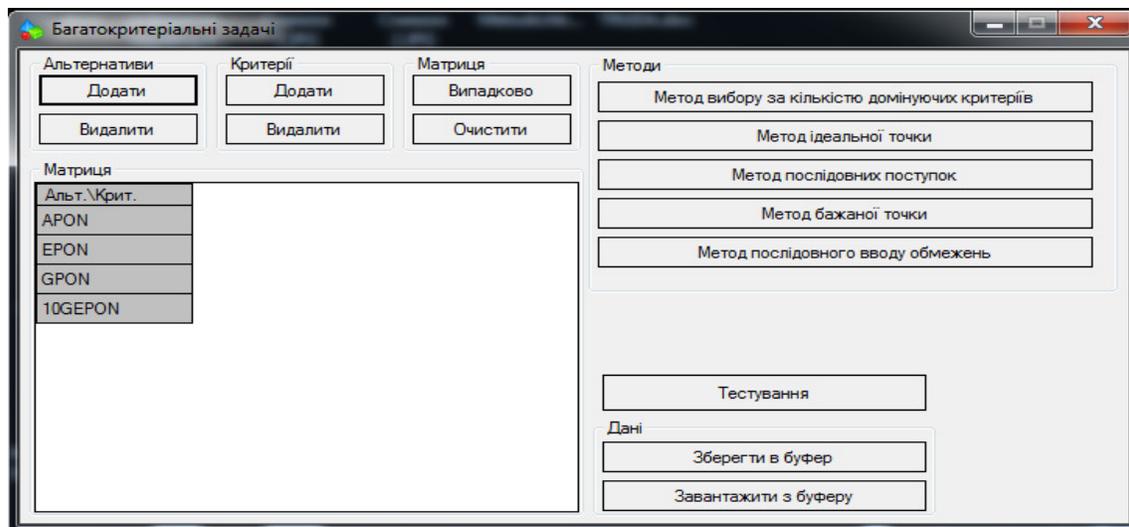
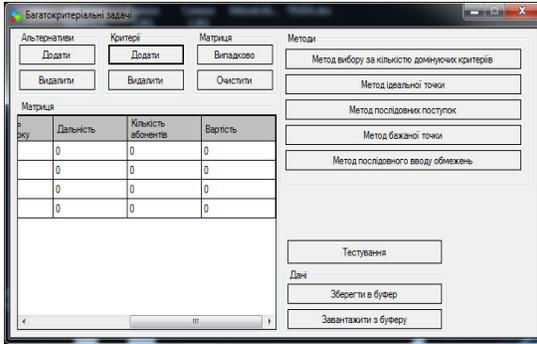


Рисунок 4. Сформированное множество альтернатив

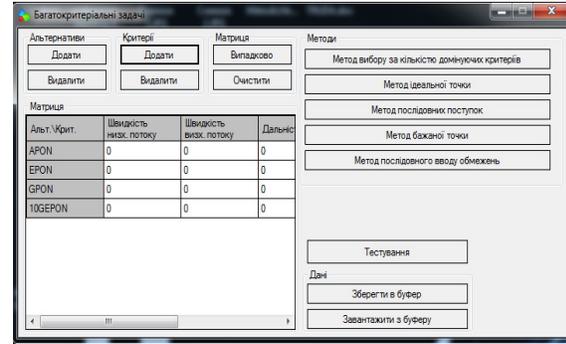
3. Формируем множество альтернатив. В это множество входят скорости низходящих и восходящих потоков, дальность связи, количество пользователей, стоимость оборудования. Вводим эти варианты (рис. 5а, 5б). В результате получим матрицу, столбцами которой являются альтернативные варианты, а строками значения соответствующих вариантов каждой из альтернатив.

4. Заполняем сформированную матрицу целочисленными значениями альтернатив (рис. 6).

5. Выбираем метод сравнения альтернатив, в результате применения которого получаем решение задачи выбора – оптимальную технологию СД. (рис. 7).



а



б

Рисунок 5. Множество заданных альтернатив

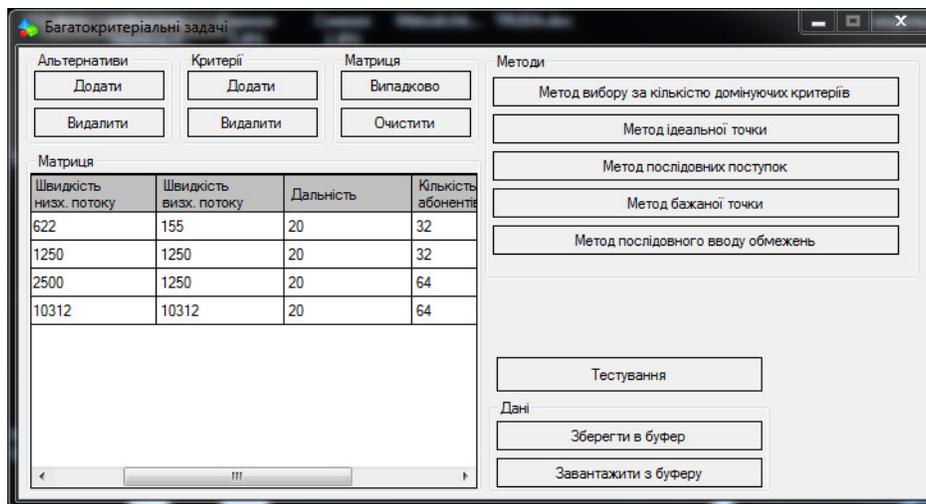


Рисунок 6. Сформированная матрица альтернатив

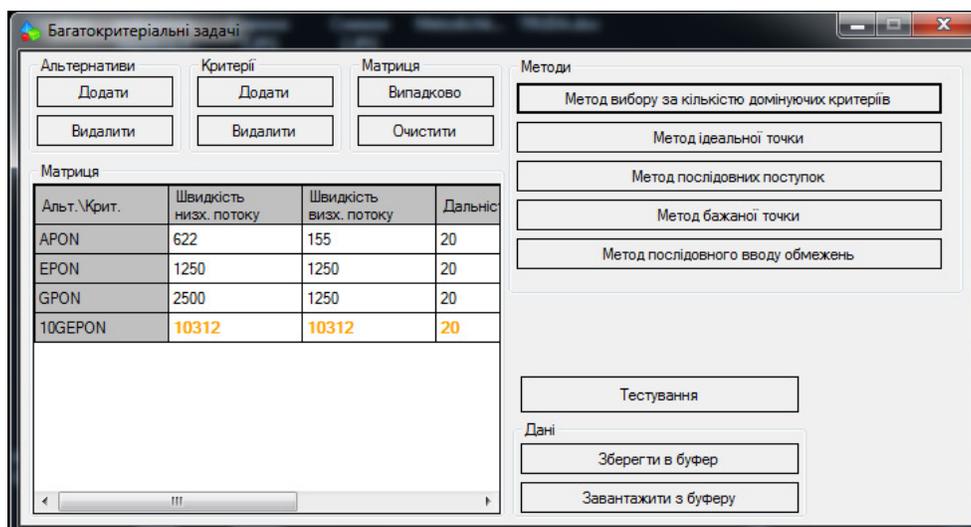


Рисунок 7. Оптимальное решение выбора по количеству доминирующих критериев

На основе программного продукта «*SMPR*», предложенного д.т.н. Волошиным А.Ф., разработан цикл лабораторных работ для студентов специальности «Компьютерные системы и сети», позволяющий не только приобрести навыки решения задач в области теории принятия решений, но и улучшить полученные ранее знания в сфере решения проблемы анализа инфокоммуникаций. Этот цикл включает в себя четыре лабораторные работы. Целью первой работы является изучение особенностей использования основных понятий теорий принятия решений в области инфокоммуникаций. Целью последующих работ является изучение поочередно возможных методов расчетов многокритериальных задач (по числу доминирующих критериев, последовательного введения ограничений, желаемой точки, последовательных уступок и идеальной точки), а также особенностей их использования при решении задач выбора в сфере создания СД.

---

### **Выводы**

В результате выполненной работы проиллюстрировано применение методов программы «*SMPR*» для решения задачи выбора технологий СД. Разработан комплекс лабораторных работ для улучшения навыков молодых специалистов в области теории принятия решения в сфере СД при подготовке бакалавров, специалистов и магистров специальности «Компьютерные системы и сети» кафедры информационно-коммуникационных технологий Одесской государственной академии холода, который на взгляд автора может быть полезен и другим высшим учебным заведениям Украины. Использование программного продукта «*SMPR*» является эффективным средством в инструментарии специалиста при формировании навыков решений задач выбора в сфере СД, необходимых как при проектировании новых сетей доступа, так и при повышении эффективности существующих.

---

### **Благодарности**

Работа опубликована при финансовой поддержке проекта ITHEA XXI Института информационных теорий и приложений FOI ITHEA Болгария [www.ithea.org](http://www.ithea.org) и Ассоциации создателей и пользователей интеллектуальных систем ADUIS Украина [www.aduis.com.ua](http://www.aduis.com.ua).

---

### **Литература**

1. Микони С.В. Многокритериальный выбор на конечном множестве альтернатив. СПб. - Лань, 2009. 112 с.
2. Волошин О.Ф., Машенко С.О., Модели и методы принятия решений: Учебное пособие.- Издательский - полиграфический центр «Киевский университет», 2010. 336 с.
3. Микони С.В. Теория и практика рационального выбора. М.: Маршрут, 2004. 462 с
4. Закони України «про Основні засади розвитку інформаційного суспільства» - Верховна Рада України, Закон від 09.01.2007 № 537. Интернет-ресурс <http://zakon1.rada.gov.ua> (дата звернення 30.11.2011).
5. Кини Р., Райфа Х. Принятие решений при многих критериях: предпочтения и замещения. Пер. с англ. М.: Радио и связь, 1981. 560 с.
6. Ларичев О.И. Емельянов СВ. Многокритериальные методы принятия решений, М. 1985. - 32 с.
7. Ногин В.Д. Принятие решений в многокритериальной среде: количественный подход. М.: Физматлит, 2005.176 с.
8. Подиновский В.В., Ногин В.Д. Парето-оптимальные решения многокритериальных задач. М., 1982. 256 с.
9. Подиновский В.В. Многокритериальные задачи с однородными равноценными критериями // Ж. вычислительной математики и математической физики, 1975. № 2. с. 330-344.
10. Штойер Р. Многокритериальная оптимизация: теория, вычисления, приложения М.: Наука, 1992. 504 с.
11. Simon H. A. The New Science of Management Decision N. Y.: Harper and Row Publ., 1960. 294 p.

12. Нейман Дж. фон, Моргеиштерн О. Теория игр и экономическое поведение. М.: Наука, 1970. 346 с.
13. Гайворонська Г.С. Інформаційна мережа як об'єкт аналізу і синтезу: навчальний посібник. ОДАХ, 2011. – .91с.
14. Кандырин Ю.В. Автоматизированный многокритериальный выбор альтернатив в инженерном проектировании. М.: МЭИ, 1992. 52 с.
15. Гайворонська Г.С. Структура і функції мереж доступу користувачів. Навчальний посібник. - Видавничий центр ОДАХ. - Одеса. - 2008. - 66 с.
16. Гайворонская Г.С. Концепция пользовательского доступа: Учебник для ВУЗов. Одесса: – ОГАХ. – 2008. – 408 с.
17. Гайворонская Г.С. Проводные информационные технологии: учебное пособие. Одесса. – ОГАХ. – 2006. – 108 с.

---

### Информация об авторах

---



**Антон Бондаренко** – Одесская государственная академия холода, факультет информационных технологий; аспирант кафедры информационно-коммуникационных технологий; ул. Дворянская, 1/3, Одесса-26, 65026, Украина  
e-mail: [divlaine@mail.ru](mailto:divlaine@mail.ru)

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ОЦЕНКИ ЗНАНИЙ ВЫПУСКНИКА ВУЗА

Николай Маляр, Анатолий Штимак

**Аннотация:** Рассматривается проблема оценки компетенции "знания", приобретенного в вузе, как составляющая компетентности выпускника

**Ключевые слова:** знания, компетенция, компетентность, компетентностный подход, модель

**ACM Classification Keywords:** H.4.2 Information Systems Applications: Types of Systems: Decision Support

### Введение

Проблема построения структуры компетентности будущего специалиста является актуальной задачей современности. Содержанием этой задачи есть повышение качества высшего профессионального образования. В последнее время многие исследователи большое внимание уделяют определению целей и результатов образования.

Наиболее ёмким понятием, отображающим единство мотивационно-когнитивных и поведенческих свойств личности выпускника, является понятие "компетентности". Разными авторами приводится определение данного понятия с различных точек зрения. [Зимняя, 2005, Зеер, 2005].

Приведем наиболее обобщенное определение данного понятия.

Компетентность – это совокупность компетенций, наличие знаний и опыта для эффективной деятельности в заданной предметной области. Компетенция – это личная способность специалиста решать определённый класс профессиональных задач, то есть это процедура умения «(как делать?)», а не декларированное знание. Это способность человека реализовать на практике свою компетентность. Фактически, компетентность это объединение всей совокупности компетенций, то есть это сумма знаний, навыков и способностей, усвоенных субъектом и необходимых для его успешной деятельности.

Известным является тот факт, что базовой триадой компетентности являются

- знания (сознание);
- опыт (опыт жизнедеятельности);
- способности (особенности человека).

Структурная схема компетентности изображена на рис. 1.

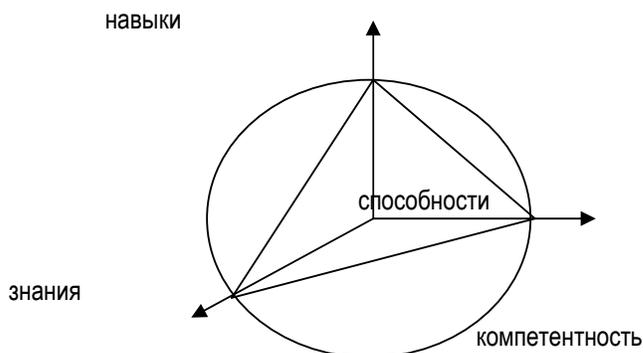


Рис. 1. Структурная схема компетентности

В зависимости от окружающей среды, в которой принимается решение, в структуру компетентности, кроме этих компетенций, могут входить, например, мотивация и эмоционально-волевая сфера.

При решении практических задач происходит процесс объединения деятельных способностей (способов действия) субъекта.

В данной работе рассматривается проблема оценки компетенции “знания”, приобретенного в вузе, как составляющая компетентности выпускника.

Знания – это совокупность представлений и понятий человека о предметах, явлениях и законах действительности, формируемых в результате целенаправленного педагогического процесса, самообразования и жизненного опыта [Ларионова, 2004].

Компетентность выпускника вуза представляет собой обобщенный результат всего процесса образования, главную целевую установку в реализации государственных образовательных стандартов, интегрирующее начало модели выпускника вуза. Компетентностная модель выпускника должна гарантировать достижение молодым специалистом квалификации, соответствующей его будущей профессиональной деятельности. Общие требования к свойствам и качествам выпускников высшего учебного заведения как социальных личностей даются в виде компетенций касательно некоторых проблем и задач социальной деятельности, инструментальных общенаучных и профессиональных компетенций и системы умений, которые обеспечивают наличие этих компетенций. Ожидается, что компетенции, приобретенные студентом в вузе, будут проявляться в разных бытовых и профессиональных ситуациях.

---

### Описание проблемы

---

Существенной особенностью высшего образования является сложность количественного оценивания процессов обучения и управления. Однозначно понимаемого перечня показателей качества подготовки не существует, так как отсутствуют четкие представления о том, какие количественно измеримые факторы на него влияют, какими достоверно оценивающими показателями оно выражается, какова достоверность этих показателей и т.д. Нечеткость такого представления не позволяет устаревшим методам математического моделирования получать адекватные количественные описания исследуемых параметров, а поэтому заставляет искать решения классических задач образовательного процесса неклассическими методами.

Оценка овладения студентом компетенцией, как правило, дается другими субъектами (например, преподавателями, чьи критерии могут оказаться субъективными, или работодателями, чья собственная компетентность может быть сомнительной). Поэтому, одной из задач, решение которой способно обеспечить реальное повышение качества образования, является уточнение основных участников, привлекаемых для идентификации компетенций.

Для получения качественных оценок компетенций выпускника можно использовать методы экспертной оценки. Для количественных оценок компетенций предлагается использовать математический аппарат, который основывается на теории нечётких множеств и нечёткой логике, так как понятие компетенции носит достаточно размытый, неустойчивый характер, а оценивание компетентности выпускника требует разного рода свёрток и логических выводов.

При изучении объекта, первый и наиболее важный шаг состоит в том, чтобы найти принципы количественной оценки и практические методы измерения существующих качеств, присущих данному объекту. Сущность какой-либо оценки состоит в выявлении меры соответствия желаемого и действительного состояний объекта. Традиционные подходы к оценке компетенций кардинально не

решают проблему. Трудности состоят еще и в том, что система оценки часто предполагает использование качественных показателей, которые не всегда поддаются количественному измерению.

### Постановка задачи

Модель компетентности выпускника рассматривается как многокритериальная задача интегрирования компетенций, полученных специалистом во время учебы [ Маляр, 2011].

Одной из составляющих компетенций выпускника вуза являются знания, приобретенные в вузе как составляющая знаний человека. Знания – это продукт жизнедеятельности сознания. Знания определяются не только как информация, но и как представления о мире, преломленное собственным социально-культурным, духовным опытом индивида, представленные в виде понимания. Одновременно знания выступают как условия и основа действия: «если я умею делать, я знаю». Предметные знания помещаются в более широкий контекст общей образованности и в этом смысле приобретают свой статус и значение. Знание не о предмете, а знание предмета, понятийные знания. В связи с этим, встает проблема стандартизации количества и качества знания. Для этого, в первую очередь, должен измениться инструментарий проверки количества и качества знаний. В условиях компетентного подхода инструментарий для отслеживания компетенций может быть различен: развернутые тесты, психологическая диагностика, создание проблемных ситуаций. Суть образовательного процесса – создание ситуаций и поддержка действий, которые могут привести к формированию той или иной компетенции.

Остановимся на компетенции "знания" и их составляющей – знания, приобретенные в высшем учебном заведении. На формирование знаний студентов вуза влияют различные дисциплины, которые объединяются в циклы подготовки. Кроме этого, на формирование знаний влияют и такие факторы, как участие в собственных проектах, научных конференциях и семинарах, предметных олимпиадах и т.д. Поэтому схема процесса обучения может иметь следующий вид (рис. 2). В свою очередь, составляющими циклов подготовки являются различные дисциплины, которые по-разному влияют на формирование знаний студента.

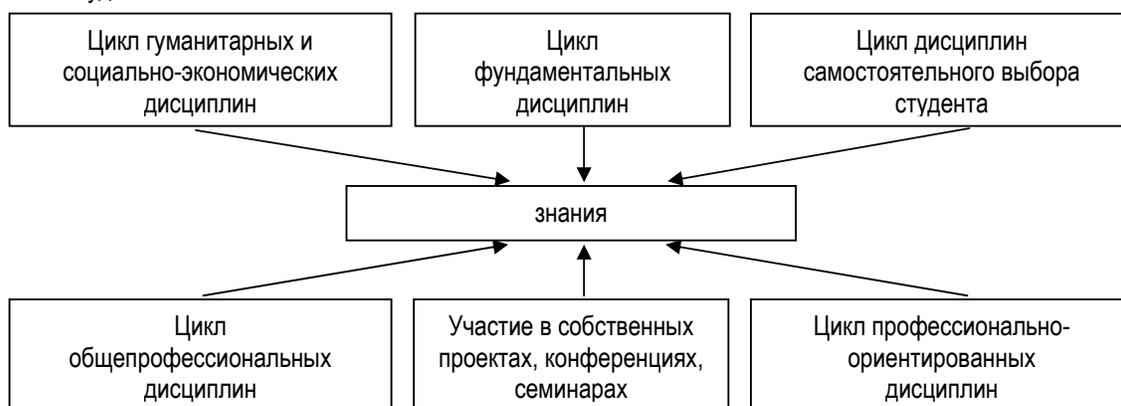


Рис. 2. Схема процесса обучения

### Модель задачи

Для оценки знаний выпускника вуза, приобретенных во время учебы, предлагается применить математический аппарат на основе теории нечетких множеств [Заде, 1976, Кофман, 1982].

Нечеткое множество, заданное на «базовом» множестве  $X$ , – это совокупность пар  $\{x, \mu(x)\}$ , где  $x \in X$ ,  $\mu(x) \in [0, 1]$  – функция принадлежности, которая интерпретируется как степень принадлежности элемента нечеткому множеству. Нечеткое множество обычно имеет лингвистическую метку, соответствующую содержательной интерпретации самого нечеткого множества.

В условиях Болонской системы, оценка знаний определяется в диапазоне баллов  $[1, 100]$ . На этом отрезке определим нечеткие множества с лингвистическими метками-оценками: «неприемлемо», «неудовлетворительно», «достаточно», «удовлетворительно», «хорошо», «очень хорошо», «отлично». Одна из шкал оценивания знаний по Болонской системе имеет следующий вид:

- 1-34 баллов – «неприемлемо»;
- 35-49 – «неудовлетворительно»;
- 50-54 – «достаточно»;
- 55-64 – «удовлетворительно»;
- 65-79 – «хорошо»;
- 80-89 – «очень хорошо»;
- 90-100 – «отлично».

Для оценки знаний студента, в соответствии с представленной шкалой, предлагается заменить итоговые оценки по дисциплинам на нечеткие значения, используя схему:

$$\mu_j(x) = \frac{\text{балл} - (\text{нижняя граница градации} - 1)}{\text{размах градации}}.$$

В таком случае :

– нечеткое множество "достаточно", которому соответствует диапазон  $[50, 54]$ , имеет следующую функцию принадлежности

$$\mu_{\text{достаточно}}(x) = \frac{\text{балл} - 49}{5};$$

– нечеткое множество "удовлетворительно", которому соответствует диапазон  $[55, 64]$ , имеет функцию принадлежности

$$\mu_{\text{удовлетворительно}}(x) = \frac{\text{балл} - 54}{10};$$

– нечеткое множество "хорошо", которому соответствует диапазон  $[65, 79]$ , имеет функцию принадлежности

$$\mu_{\text{хорошо}}(x) = \frac{\text{балл} - 64}{15};$$

– нечеткое множество "очень хорошо", которому соответствует диапазон  $[80, 89]$ , имеет функцию принадлежности

$$\mu_{\text{очень хорошо}}(x) = \frac{\text{балл} - 79}{10};$$

– нечеткое множество "отлично", которому соответствует диапазон  $[90, 100]$ , имеет функцию принадлежности

$$\mu_{\text{отлично}}(x) = \frac{\text{балл} - 89}{11}.$$

---

## Заключение

Используя лингвистическую переменную "оценка" и соответствующие функции принадлежности, определяется оценка знаний студента по каждому из циклов подготовки и выводится четкое значение переменной вывода как взвешенное среднее по формуле

$$x_0 = \frac{\sum_{i=1}^n \mu_i(x_i) x_i}{\sum_{i=1}^n \mu_i(x_i)}.$$

Вычисляя, таким образом, оценку знаний по каждому циклу подготовки, интегрированная оценка знаний будет определяться суммой оценок каждого цикла подготовки с учетом их весовых коэффициентов. Весовые коэффициенты определяются или задаются экспертами и, в зависимости от ситуации, могут изменяться.

---

## Благодарности

Работа опубликована при финансовой поддержке проекта ITHEA XXI Института информационных теорий и приложений FOI ITHEA Болгария [www.ithea.org](http://www.ithea.org) и Ассоциации создателей и пользователей интеллектуальных систем ADUIS Украина [www.aduis.com.ua](http://www.aduis.com.ua).

---

## Библиография

- [Зимняя, 2005] Зимняя И.А. Компетентностный подход в образовании (методолого-теоретический аспект) // Материалы XV Всероссийской научно-методической конференции "Проблемы качества образования". – Кн. 2. – М., 2005. – С. 5-26.
- [Зеер, 2005] Зеер Э.Ф. Компетентностный подход к модернизации профессионального образования // Высшее образование в России. – 2005. – № 4. – С. 23-29.
- [Ларионова, 2004] Ларионова Г.А. Компетенции в профессиональной подготовке студентов вуза: монография. Челябинск, 2004.
- [Маляр, 2011] Маляр М.М., Штимак А.Ю. Побудова моделі оцінювання компетентності випускника // "Обчислювальний інтелект" (результати, проблеми, перспективи). Матеріали I-ої Міжнародної науково-технічної конференції (10-13 травня 2011 р. Черкаси). – Черкаси, Маклаут, 2011. – С. 342.
- [Заде, 1976] Заде Л. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений. Пер. с англ. Н.И. Ринго под ред. Н.Н.Моисеева и С.А.Орловского. –М.:Мир, 1976. – 165 с. – (Серия "Новое в зарубежной науке: Математика", вып. 3 / Ред. серии А.Н.Колмогоров и С.П. Новиков)
- [Кофман, 1982] Кофман А. Введение в теорию нечетких множеств. С предисл. Л.А.Заде: Пер. с франц. В.Б.Кузьмина под ред. С.И.Травкина. С предисл. М.А.Айзермана. – М.:Радио и связь, 1982. – 432 с

---

## Сведения об авторах

**Николай Маляр** – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой кибернетики прикладной математики, Ужгородский национальный университет, математический факультет, Украина, Ужгород, ул. Подгорная, 46; e-mail: [malyarimm@gmail.com](mailto:malyarimm@gmail.com)

**Анатолий Штимак** – старший преподаватель кафедры системного анализа и теории оптимизации, Ужгородский национальный университет, математический факультет, Украина, Ужгород, ул. Подгорная, 46; e-mail: [shtimak@mail.ru](mailto:shtimak@mail.ru)

## НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЕ УКРАИНЫ

Наталья Кондрук, Наталья Юрченко

**Аннотация:** *Рассматриваются особенности использования новых информационных технологий в учебных заведениях Украины. Выделены некоторые проблемы и перспективы внедрения дистанционного образования и грид-технологий в системе образования Украины.*

**Ключевые слова:** *информационные технологии в образовании, Грид-технологии, электронное образование, дистанционное образование.*

**ACM Classification Keywords:** *K.3.1 Computer Uses in Education.*

---

### Введение

---

Как отмечается в Окинавской Хартии глобального информационного общества, принятой 22 июля 2000 года лидерами стран "Большой Восьмерки", «информационно-коммуникационные технологии (ИКТ) являются одним из наиболее важных факторов, влияющих на формирование общества двадцать первого века. Их революционное воздействие касается образа жизни людей, их образования и работы, а также взаимодействия правительства и гражданского общества... Суть стимулируемой ИКТ экономической и социальной трансформации заключается в ее способности содействовать людям и обществу в использовании знаний и идей. Информационное общество, как мы его представляем, позволяет людям шире использовать свой потенциал и реализовывать свои устремления».

Поэтому вхождение Украины в единое мировое информационное пространство является на сегодняшний день одним из приоритетных направлений ее всестороннего развития. В свою очередь, это ставит серьезные задачи перед отечественным образованием. По существу, речь идет о задаче качественного изменения состояния всего украинского образования и отечественной науки в соответствии с тенденциями в мировой высшей школе и мировой науке. Решение этой задачи открывает новые возможности для ускоренного прогрессивного индивидуального развития каждого человека, проживающего в Украине. Интенсивное развитие мирового информационного пространства требует обеспечения как психологической, так и профессиональной подготовленности всех участников образовательного процесса. Успешность перехода к информационному обществу существенным образом зависит от готовности системы образования в кратчайшие сроки осуществить реформы, необходимые для ее приспособления к нуждам информационного общества. Основным средством для таких реформ являются информационные или компьютерные технологии, отвечающие за хранение, передачу, обработку, защиту и воспроизведение информации с использованием компьютеров.

Современная молодежь сформирована на информационных технологиях, поэтому процесс обучения должен быть адаптирован к ее потребностям. Разрабатываемые новые технологии подготовки обучающего и демонстрационного материала, использование мультимедийности, наполненной графикой, анимацией, видео и аудиофрагментами, позволяют более динамично представить материал для изучения. Это способствует повышению интереса к изучаемому материалу и вносит элемент новизны.

Исследованию некоторых аспектов использования информационных технологий в образовательной системе Украины и посвящается эта работа.

---

### Особенности е-образования в Украине

---

С 70-х годов прошлого века в европейских странах новые информационные технологии дали толчок к развитию учебных заведений нового типа, где широко применяли новые виды коммуникации. Результатом этого стало существование огромного количества виртуальных университетов или мега-университетов, специализирующихся на дистанционном или е-образовании. Они получили название открытых, тем самым указывая на то, что их студентом может стать каждый человек вне зависимости от места жительства. Прием студентов в Интернет-вузы длится круглый год [Бучнева, 2009].

Чтобы стать студентом такого учебного заведения нужно немного – компьютер с выходом во всемирную сеть и знание языка. После регистрации нужно выбрать курс или дисциплину для изучения. После этого он получает доступ к «виртуальным» аудиториям, в которых сможет найти все необходимые методические и учебные материалы. Студент сам определяет продолжительность своих занятий, выбирает предметы, какие его интересуют, решает, сколько времени уделять каждой из дисциплин. Этим дистанционное образование значительно отличается от заочного.

Дистанционное образование в Украине в правовом поле заложено с 2000 года. Так, в 2004 году выдан приказ №40 МОН Украины «Об утверждении положения о дистанционном обучении». Дистанционное образование в Украине реализуется через систему дистанционного обучения, которая является частью системы образования Украины, с нормативно-правовой базой, организационно оформленной структурой, кадровым, системотехническим, материально-техническим и финансовым обеспечением, которое реализует дистанционное обучение на уровнях среднего, профессионально-технического, высшего и последипломного образования, а также самообразования. Под дистанционным образованием понимают индивидуализированный процесс передачи и усвоения знаний, умений, навыков и способов познавательной деятельности человека, который происходит опосредованным взаимодействием друг с другом участников обучения в специализированной среде, которое создано на основе современных психолого-педагогических и информационно-коммуникационных технологий. Сегодня в Украине создано и работает большое количество лабораторий виртуального дистанционного образования, центров, факультетов, институтов дистанционного образования при ведущих вузах страны.

Выделим некоторые особенности внедрения дистанционного обучения в Украине.

Во-первых, в Украине, студенты не всегда могут позволить себе личный компьютер с постоянным подключением к интернет. Поэтому нужна государственная программа поддержки малообеспеченных слоев населения, направленная на их обеспечение компьютерной техникой и коммуникационными системами.

Во-вторых, субъекты дистанционного обучения должны учиться систематически и самостоятельно, заниматься самоорганизацией учебной деятельности (сами выбирать предметы и «отсеивать неинтересные»). По мнению авторов, это под силу далеко не каждому выпускнику средней школы в Украине. Поэтому е-образование более приемлемо лицам, которые уже получили традиционное высшее образование и хотят повысить свой уровень знаний или квалификацию. А для выпускников школ можно разработать такой вид обучения, который объединяет элементы дистанционного и заочного обучения. Это сократит расходы учебного учреждения на обучение студента.

И наконец, при дистанционном обучении предполагается, что практические занятия зачастую выполняются студентом самостоятельно без поддержки преподавателя. Из опыта авторов преподавания фундаментальных курсов математики студентам, как правило, сложно применить полученные теоретические знания на практике. Не все можно заменить компьютерным моделированием. И даже успехи в разработке систем лабораторного практикума удаленного доступа не могут полностью снять эти ограничения [Соловов, 2008]. Кроме того, имеется много специальностей, при получении которых

необходимы практические навыки выполнения исследований в специализированных лабораториях, на соответствующем оборудовании, под пристальным руководством специалиста-преподавателя.

Учитывая изложенное, очевидно, что е-образование не является полной альтернативой классического образования. Но можно с уверенностью сказать, что использование принципов, методов и средств дистанционного образования есть хорошим дополнением к классическому образованию, что дает расширенные возможности в его получении учащимся.

---

### **Перспективы использования новых технологий в учебных заведениях регионального значения**

---

На сегодняшний день контингент большинства вузов в Украине составляют местные жители регионов расположения вузов. Поэтому, в первую очередь, эти заведения должны решать задачи, которые определяются спецификой определенного региона.

Одной из таких задач есть обеспечение своих студентов и преподавателей информацией о новых и актуальных научных исследованиях в различных областях науки. Не так давно решение этой проблемы сводилось к наполнению библиотек новой литературой, обменом опытом и участием в конференциях других вузов. Учитывая долгие периоды низкого финансирования образовательной системы, еще 10 лет тому назад эта проблема была критической. Особенно это было ощутимо в учреждениях регионального значения. Решение данной задачи пришло с использованием недорогостоящих новых информационных технологий: электронных библиотек, книг, сборников трудов научных конференций, научных журналов, а также возможности участия в виртуальных научных семинарах и вебинарах. Это, в свою очередь, дало возможность не только студентам, но и преподавателям, аспирантам, научным работникам быть соучастниками научного информационного пространства не только своей страны, но по большому счету, и всего мира независимо от их местонахождения.

Многие из «региональных» средних учебных заведений функционируют на ограниченных пространственных территориях или в замкнутых общественных группах, например, в отдаленной горной местности или в этнических региональных меньшинствах. Часто выпускники этих учреждений при вступлении в вузы Украины сталкиваются со многими недостатками полученного среднего образования: несоответствие полученных знаний по фундаментальным дисциплинам минимальным требованиям для дальнейшего обучения. Сюда можно отнести и наличие низкого уровня знаний фундаментальных наук, и недостаточный уровень знаний государственного языка. Очевидно, что первая проблема может иметь много причин: низкий профессиональный уровень преподавания и педагогов, субъективность оценивания знаний преподавателями. Вторая возникающая проблема имеет один корень – постоянное пребывание в замкнутом языковом пространстве, полученное среднее образование на родном языке и недостаточный уровень преподавания государственного языка. В целом эти проблемы возникают из-за доступности только «безальтернативного образования». По мнению авторов, одним из альтернативных и эффективных путей решения данных проблем является использование новых web-технологий – создание независимых web-ресурсов по фундаментальным дисциплинам для самостоятельной проверки базовых знаний учеников, а также разных интернет-курсов для их самообразования, приспособленных к разным уровням начальных знаний. Очень существенно, чтобы доступ к этим ресурсам был бесплатным и неограниченным.

Использование интернет-технологий в образовательных учреждениях региональной значимости дает возможность получать внебюджетные гранты их сотрудникам, аспирантам, студентам по программе стажировки молодых преподавателей, обмена учеными, совместных научных исследований, стипендиальных программ и пр., а также гранты на материально-техническое обеспечение

необходимыми средствами. Это, в свою очередь, приводит не только к дополнительным материальным ресурсам, но и дает возможность наладить хорошие партнерские отношения между вузами разных стран, получить опыт и информационную поддержку при разработке и преподавании новых современных курсов. Использование дистанционного обучения в учебных заведениях дает возможность людям с ограниченными возможностями (в частности и тех, которые проживают в отдаленных регионах) на реализацию не только своего права на образование, но и права свободного выбора самого учебного заведения.

---

### **Грид-технологии и образование в Украине**

---

1. В настоящее время в мире информационных технологий все интенсивнее развивается грид (название от аналогии с электрическими сетями) – это компьютерная инфраструктура нового типа, обеспечивающая глобальную интеграцию информационных и вычислительных ресурсов [Foster, Kesselman, 2004].

Грид-технологии - это четвертый этап развития информационных технологий: после эпохи мэйнфреймов, появления персональных компьютеров и возникновения и распространения интернета. Этот новый этап обещает новые возможности в совместном использовании не только информации (что является достижением интернет-этапа), а и любых информационных ресурсов: вычислительных мощностей, хранилищ данных и самих данных, программ и т.п. на качественно новом уровне. Грид дает дополнительные возможности ученым в обработке сверхбольших объемов данных, выполнении масштабных вычислений, организации сотрудничества в рамках виртуальных организаций – сообществом пользователей грид-системы. Актуальность технологии грид лишь растет со временем, что подтверждает динамика появления и развития многочисленных грид-проектов по всему миру.

В [Петренко, 2008], [Згуровський, Петренко, 2009], [Петренко, 2009] выполнен анализ концепции, архитектур и ресурсов современных грид; систематизированы сведения о методах построения архитектур распределенных систем с использованием технологии грид; получены результаты исследования текущего состояния отрасли, изучения технологий построения грид - систем, использования программного обеспечения для построения таких систем; описаны проекты построения грид-инфраструктуры в Украине.

Технологии распределенных и параллельных вычислений являются быстроразвивающейся динамично изменяющейся областью знаний. В связи с этим весьма актуальной становится задача развертывания системы подготовки высокопрофессиональных кадров в области распределенных вычислений и грид-технологий в рамках существующей системы высшего профессионального образования. Поэтому чрезвычайно остро стоит вопрос создания образовательного контента и поддержание его в соответствии с современными технологиями параллельных и распределенных вычислений. Решение этой задачи под силу технологиям е-образования. Средством для этого может быть открытый проект, реализация которого в части учебно-методического обеспечения проводилась бы с помощью консорциумного подхода на базе некоторого web-сайта. Таким сайтом в Украине является сайт <http://grid.kpi.ua/>, который был существенно модифицирован и преобразован в грид-портал, предназначенный информировать о новых результатах внедрения грид-технологий в учебный процесс, об организации подготовки соответствующих кадров и обслуживания грид-пользователей имеющимися вычислительными и другими ресурсами.

Развивая грид-технологии, Украина получает возможность “на равных” сотрудничать со странами Европейского Союза для создания и внедрения технологий XXI века.

---

### **Заключение**

---

Внедрение новых информационных технологий в образовательную систему Украины дает новые позитивные сдвиги в реформировании многих ее составляющих. Одним из наибольших позитивов при

---

этом является «выравнивание» качества образования, полученного в столичных и региональных учебных заведениях. Что, в свою очередь, дает реальную возможность реализовать свои права на достойное образование и свободу выбора каждому гражданину Украины независимо от внешних обстоятельств и возможностей.

---

### **Благодарности**

Работа опубликована при финансовой поддержке проекта ITHEA XXI Института информационных теорий и приложений FOI ITHEA Болгария [www.ithea.org](http://www.ithea.org) и Ассоциации создателей и пользователей интеллектуальных систем ADUIS Украина [www.aduis.com.ua](http://www.aduis.com.ua).

---

### **Список литературы**

- [Бучнева, 2009] Бучнева Н. За дипломом в Интернет // Сучасна освіта. - 2009. - № 10. - С. 16-17.
- [Соловов, 2008] Соловов А.В. Дистанционное образование – образовательная система XXI века // Сучасна освіта. – №10. – 2008. – С.22 – 23.
- [Foster, Kesselman, 2004] Foster I, Kesselman C. (eds.), "The Grid 2: Blueprint for a New Computing Infrastructure", Morgan Kaufmann Publishers, 2004.
- [Петренко, 2008] Петренко А.И. Введение в Grid- технологии для науки и образования (учебное пособие) .-// Киев, НТТУ «КПИ», 2008.-122 с.
- [Згуровський, Петренко, 2009] Згуровський М.З., Петренко А.І. Grid – технології для е-науки і освіти.- \Наукові вісті, НТУУ«КПІ».-№2, 2009.-с.10-17.
- [Петренко, 2009] Петренко А.І. Застосування Грід- технологій в науці і освіті.-Київ: Політехніка, 2009.-145 с.

---

### **Об авторах**

**Кондрук Наталия Эмериховна** – старший преподаватель, Государственное высшее учебное заведение «Ужгородский национальный университет», кандидат технических наук, Ужгород, Украина.

**Юрченко Наталия Васильевна** – доцент, Государственное высшее учебное заведение «Ужгородский национальный университет», кандидат физико-математических наук, Ужгород, Украина.

---

---

## Philosophy and Methodology of Informatics

---

---

### КОГНИТИВНАЯ СЕМИОТИКА В ПРОЦЕССАХ ОБРАЗНОГО МЫШЛЕНИЯ

Юрий Валькман

**Abstract:** *Анализируется понятие когнитивной семиотики. Определяется структура этого понятия. Рассматриваются отношения семиотики и эпистемологии. Исследуются процессы образного мышления с точки зрения когнитивной семиотики. Исследование проводится с целью последующего построения формальных структур знаний для моделирования процессов образно-понятийного мышления в компьютерных технологиях*

**Keywords:** *Образ, мышление, семиотика, эпистемология, когнитивные процессы, модель, компьютерная технология, база знаний.*

**ACM Classification Keywords:** *A.1 Information Technology for Knowledge Management; E.1 Process-oriented Knowledge Structuring; H.1.1 Systems and Information Theory; I.2.4 Knowledge Representation Formalisms and Methods; J.4 Social and Behavioral Sciences; M.4 Intelligence Metasynthesis and Knowledge Processing in Intelligent Systems.*

---

#### 1. Введение

---

Данная работа является продолжением исследований процессов образного мышления (см., в частности, [Валькман, 2008; 2010]).

Объектом этих исследований является моделирование процессов образного мышления.

Здесь, предмет исследования – когнитивная семиотика в процессах образного мышления.

Цель исследования – разработка моделей представления структур образной информации и методов их использования в практической деятельности.

С нашей точки зрения, проблемы представления образной информации и моделирования образного мышления тесно связаны с гносеологией, когнитологией, семиотикой, онтологией. Некоторые аспекты этих отношений мы здесь рассмотрим.

---

#### 2. О семиотике и образах

---

По семиотике опубликовано множество работ. Однако, до сих пор, с нашей точки зрения, нет четкого понимания, что такое семиотика. А в [Щедровицкий, 1967] утверждается и доказывается, что семиотика, в настоящее время не является наукой, что можно говорить только о направлении научных исследований. Мы не будем анализировать различные точки зрения на семиотику, рассмотрим отношения между образами и знаками. Самым распространенным, классическим определением семиотики является определение по объекту: "Семиотика - это наука о знаках и/или знаковых системах".

Однако, если мы взглянем на это определение более пристально, возникает вопрос: *кто* устанавливает различие между знаками и не-знаками, возможно ли эту процедуру, когда-либо, хотя бы для частных случаев, реализовать в вычислительной среде. Мы полагаем, что разница между ними аналогична различию между моделью и системой.

В настоящее время, под *знаком* понимают материальный объект, который для некоторого интерпретатора выступает в качестве представителя какого-то другого предмета.

Таким образом, мы приходим к базовой семиотической структуре, к треугольнику Г Фреге (см. рис. 1.).

Его также называют семантическим треугольником, треугольником Огдена-Ричардса, треугольником отнесенности и т.д. В этих треугольниках отражается три аспекта:

- **S** - «знак» (см. определение),
- **C** - «концепт» (понятие) - определение обозначаемого посредством знака объекта (как правило, знание об этом соответствующего *интерпретатора*),
- **D** - «денотат» – любой предмет, процесс, явление, составляющее содержание языкового (знакового) выражения и определяемого посредством денотата.

С его помощью изображают отношение между факторами, конституирующими слово или знаковую



Рис. 1. Треугольник Г. Фреге

структуру как знак языка, т.е. отношение между референтом - объектом реальной действительности, значением и обозначающим, т.е. звуковым или графическим словом.

Вообще говоря, денотатом знака может быть не только объект материального мира, но и другой знак и мысленный образ, иными словами, - сущность, явление реального, знакового или ментального мира, *кодируемая* соответствующим знаком.

Очевидно, важнейшим свойством знака является его функция отображения некоторого объекта, т.е. любой знак всегда знак некоторого объекта. И это (денотат) могут быть

- объекты *материального* мира, окружающего нас, – столы, здания, животные, города, звезды, горы и т.д.,
- объекты нашего сознания или *идеального* мира – предел последовательности, печаль, радость, интеграл и т.п.,
- *знаковые* структуры: картины, рассказы, музыкальная нотация, химические или математические формулы и т.д.

Заметим, один и тот же объект может быть денотатом в одной структуре и знаком в другой.

Наиболее сложной в семиотическом треугольнике является вершина **C**. Не случайно, этот треугольник часто преобразуется в квадрат. Г. П. Щедровицкий предложил отдельно рассматривать знаки на материальном носителе и ментальные знаки. Знаковое отношение можно выразить в виде квадрата, если учесть, что второй член треугольника - *мысль* - может состоять из *понятия* и *коннотата*.

*Понятие* - общее для всех носителей данного языка, а *коннотат*, или коннотация (лат. *connotatio* - «созначение») - ассоциативное значение, индивидуальное у каждого человека. *Денотат* обычно мыслится как объект, а *коннотат* — как свойство, в принципе независимое от денотата.

Известна коммутативная диаграмма Г. П. Мельникова [Мельников, 1978]:  $S \rightarrow S1 \rightarrow D1 \rightarrow D \Leftrightarrow S$ . Ее схема представлена на рис.2.

По сути – это *определение знака*. Хорошая интерпретация этого определения приведена в [Рыков, 2006]. Если мы видим (слышим, обоняем, осязаем - далее мы будем пользоваться без ущерба для общности

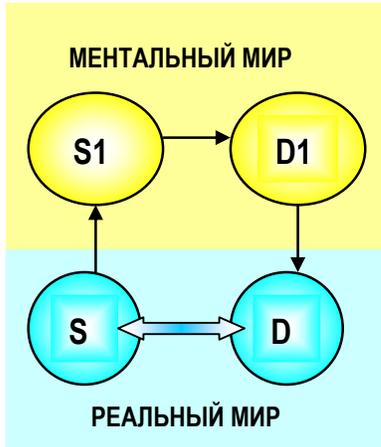


Рис. 2. Отношения «знаки - денотаты» в семиотике.

зрительными аналогиями) объект из внешнего мира  $S$ , то в нашем сознании возникает его зрительный образ  $S1$ . Если мы видим другой объект -  $D$ , то происходит то же самое - возникает образ этого объекта  $D1$ . Если в нашем сознании есть устойчивая связь от  $S1$  к  $D1$ , то может происходить следующее. Мы видим только объект  $S$ , активизируется его образ  $S1$ , затем образ  $D1$ . То есть мы не видим объекта  $D$ , но его образ  $D1$  активизируется или возникает в нашем сознании! В этом случае мы говорим, что  $S$  - это знак, а  $D$  - это его денотат. Или, другими словами, знак ( $S$ ) - это то, что замещает в нашем сознании другой объект ( $D$ ).

Для нас приложение методов и моделей семиотики к *образам и образному мышлению* представляет интерес по следующим причинам.

- *Во-первых*, образ, как и знак всегда является отражением некоторого объекта (материального, ментального, знакового).

Вопрос о тождественности образов и знаков мы рассмотрим потом. Здесь рассматриваются только те образы, которые имеют денотат, концепт и знак. Или мы хотим на основе некоторых из этих компонент синтезировать остальные для данного образа.

- *Во-вторых*, уже давно известно разделение образов на два категории:
  - *объективные* (существующие в реальности внешнего, по отношению к человеку, мира) и
  - *субъективные* (ментальные, существующие в мыслях человека).

Ментальные образы психологи делят на три класса: образы *восприятия, представления и воображения*. Соответственно, можно говорить о четырех формах представления знаний. В этой работе мы коснемся отношений и взаимодействия этих четырех классов образов, точнее закодированных в них знаний. Заметим, поскольку в образах отражаются некоторые знания, информация, то образ можно считать *моделью представления знаний*. Представляется, что отношения между всеми четырьмя разновидностями образов (моделей знаний) мы можем рассматривать только на уровне их знаковых структур. Тем более это касается образных операций (интерпретации образов, их синтеза, анализа, объединения и т.д.)

- *В-третьих*, фиксация, систематизация и передача знаний невозможна без их представления в некоторой форме. А эта форма всегда имеет знаковую структуру. Фактически «кодирование-декодирование» знаний осуществляется в системе «знак - значение».

- *В-четвертых*, построение интеллектуальных компьютерных технологий предполагает погружение в вычислительную среду знаний с целью их практического использования в решении сложных проблем. А это невозможно без представления этих структур знаний в символической (знаковой) форме. Более того, компьютер должен имитировать работу со смыслами; особо это касается моделирования образного мышления. Известно высказывание Ч. С. Пирса "мы думаем только в знаках".

### 3. Эпистемология, гносеология и когнитология

Рассмотрим кратко отношения между некоторыми науками, непосредственно занимающимися исследованием феномена *знаний*. С нашей точки зрения, эти науки образуют систему *эпистемология – когнитология – семиология*. Схема этой системы представлена на рис. 3.

Можно было бы говорить еще о герменевтике (т. к. понимание невозможно без знаний), психологии (мышление основано на знании), логике (рассуждение использует знание) и т. д. Но для наших целей, мы считаем, достаточно этих трех наук.

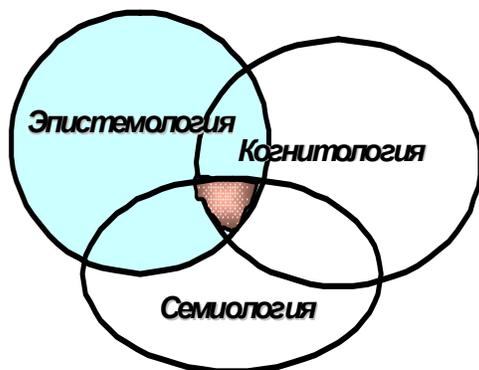


Рис. 3. Система эпистемология – когнитология - семиология

Вообще, любая наука занимается «добычей» знаний данной проблематики, «своими» методами «сооружая» некоторую структуру знаний. А семиология (Ф. де Соссюра) или семиотика (Ч. С. Пирса) — наука, исследующая свойства знаков и знаковых систем (естественных и искусственных языков), непосредственно знания не «порождает». Однако, при передаче знаний, как уже отмечалось, мы их всегда вынуждены «кодировать» *синтаксическими* конструкциями знаковых структур. *Семантика* знаковой структуры обеспечивает синтез соответствующего значения, а *прагматика* – генерацию и интерпретацию, понимание этой структуры.

Мы считаем, что в «центральном выпуклом треугольнике» на рис.3 находится знаковая конструкция, которая представляет интерес для *эпистемологии* и *когнитологии*.

Обратим внимание на разницу между эпистемологией и гносеологией.

Если гносеология разворачивает свои представления вокруг оппозиции «*субъект - объект*», то для эпистемологии базовой является оппозиция «*объект - знание*». Эпистемологи исходят не из «гносеологического субъекта», осуществляющего познание, а скорее из объективных структур самого знания. Таким образом, эпистемология, как считают некоторые ученые, занимается, в большей мере, *объективными знаниями*, гносеология – *субъективными*.

Поэтому, целесообразно начать с вопроса – «*где находится знание?*». То есть с проблемы его локализации. Эта проблема не настолько тривиальна, как может показаться.

Великий славянский философ восемнадцатого века Григорий Сковорода в своем сочинении «Потоп змиин» описал [Сковорода, 1973] концепцию трех миров.

Согласно его описанию, в первый мир входит окружающая нас реальность (*Reality – R*).

Во второй мир входит внутренний мир человека (*Mind* или *M*).

Третий мир, согласно Г. Сковороде, есть мир знаков (*Signs –* или *S*). Схема миров Г. Сковороды представлена на рис. 4.

Независимо от Сковороды к открытию третьего мира (знаков) пришли некоторые западные философы XX века – например Карл Поппер. Схема миров К. Поппера представлена на рис. 5.

При исследовании проблематики образного мышления гносеологический подход к теории познания вероятно более адекватен соответствующим целям. Ранее образы, которые участвуют в операциях

образного мышления в качестве операндов, мы разделили (с учетом исследований психологов) на четыре класса: *внешние образы* (это и есть мир знаков), образы *восприятия, представления* и *воображения*.

Последние три класса образов относятся к ментальному миру (индивидуального мышления – по Попперу, *M* – по Сковороде).

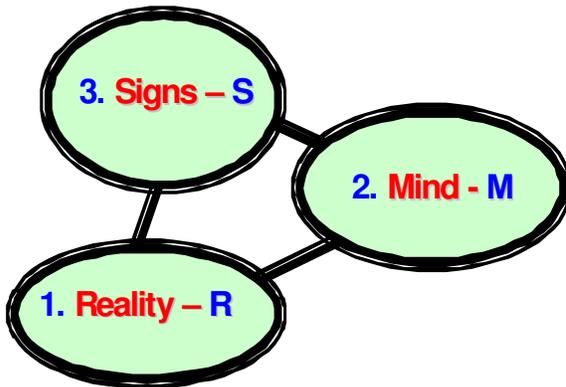


Рис. 4. Схема миров Г. Сковороды

Теперь определим общее и различное в эпистемологии и когнитологии.

Для этого рассмотрим вопросы, ответы на которые ищутся в рамках соответствующих наук.

Основные эпистемологические проблемы (вопросы):

- Как устроено знание?
- Каковы механизмы его объективации и реализации в научно-теоретической и практической деятельности?
- Какие бывают типы знаний?
- Каковы общие законы «жизни», изменения и развития знаний?

Термин "*когнитивный*" является знаменем двух новых, бурно развивающихся направлений в психологии и науке об интеллекте, известных как когнитивная психология и когнитивная наука.

Когнитивная психология (психология познавательных процессов) уподобляет мозг компьютеру, исследует переработку информации человеком и рассматривает познание как "совокупность процессов переработки информации".



Рис. 5. Схема миров К. Поппера

*Когнитивная наука* (наука об интеллекте) – это более широкое понятие, представляющее собой сплав когнитивной психологии, психофизики, исследований в сфере искусственного интеллекта, нейробиологии, лингвистики, математической логики, неврологии и философии.

*Когнитологию* понимают, как область междисциплинарных исследований познания, понимаемого как совокупность процессов приобретения, хранения, преобразования и использования знаний живыми и искусственными системами.

Тогда, *когнитивная наука* (в узком смысле): совокупность наук о познании — приобретении, хранении, преобразовании и использовании знания.

Когнитивная наука поставила перед собой задачи чрезвычайной сложности [Черниговская, 2006]:

- *понять, как человек воспринимает мир;*
- *в каких структурах знания отражает он результаты своего восприятия;*
- *как он приходит к знанию;*

- в каком виде оказывается оно представленным в его голове;
- какими типами репрезентации владеет человек;
- как манипулирует ими в разного рода мыслительных процессах;
- какую роль играют в этих процессах память и воображение, фантазии и сенсомоторный опыт;
- на какие когнитивные способности и механизмы в голове человека указывают сами перечисленные феномены - рациональное мышление, разумное поведение и его планирование и т.д.

Таким образом, когнитология акцентирует больше внимание на индивидуальных процессах, а эпистемология – на обобщенных.

Теперь сопоставим *системный* и *когнитивный* подход к решению сложных проблем.

Если понимать когнитивный подход в широком смысле — как включение проблем познания, понимания и объяснения в структуру традиционных научных методологий, можно смело сказать, что каждое системное исследование в явном или неявном виде учитывает когнитивные факторы и, следовательно, может быть отнесено к когнитивному направлению в науке.

Заметим, в системном анализе синтезируемые модели (а это – основная цель любого системного исследования) делят на: когнитивные (модели объектов существующей реальности) и прагматические (модели объектов будущего, пока не имеющего реального воплощения).

С нашей точки зрения, любая модель, носит гипотетический характер, и наоборот, любая гипотеза – модель. И у всех моделей (даже, у фотомodelей) есть автор, который в модели отражает свое видение (свои знания) объекта, ситуации, процесса. Следовательно, в системных моделях всегда присутствует когнитивная компонента.

#### 4. Эпистемология и семиотика

На рис. 6 представлена еще одна модификация классического семиотического треугольника. Обратим внимание, что такое представление семиотики полностью соответствует структурам миров Г. Сковороды и К. Поппера. Так,

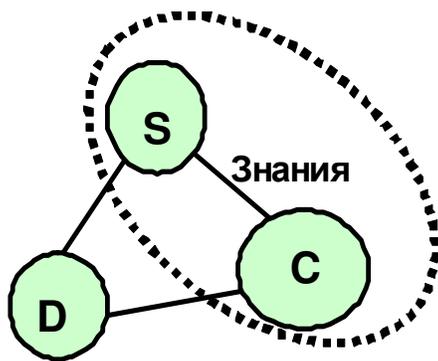


Рис. 6. Схема семиотического треугольника

- денотат **D** – это окружающая нас реальность (**R**),
- концепт **C** - это внутренний мир человека (**M**),
- знак **S**, естественно, соответствует миру знаков (**S**).

Таким образом, очевидна тесная связь эпистемологии и семиотики. Вполне очевидно, что знания сосредоточены в отношениях «знаки – концепты (понятия)».

С помощью знаковых структур (**S**) представляют «отчужденные», *эксплицитные*, формализованные знания, а в ментальных моделях (**M** – по Г. Сковороде или **C** – по Г. Фреге) отражаются *имплицитные* знания.

## 5. Когнитивная семиотика

В настоящее время наблюдается бум появления когнитивных наук, дисциплин, технологий, приложений: когнитивная архитектура, когнитивная семантика, когнитивная социология, когнитивная география, когнитивная экономика, когнитивный маркетинг и т.д. Такое «выделение когнитивных проекций» в различных науках позволяет вспомнить о подходе Г. П. Щедровицкого к определению предмета семиотики (см. [Щедровицкий, 1967]). Несмотря на это, мы, здесь, рассмотрим еще одну проекцию – *когнитивную семиотику*.

Выше было показано, что проблема *знак–значение–понимание–смысл* тесно связана, с одной стороны, с семиотикой, с другой – с когнитологией, т. к. речь идет, явно и неявно, о понимании, познании.

*Когнитивная семиотика*, как ее определили в [Беляев и др., 2008; Рыков, 2006], представляет собой парадигму, соединяющую знаковые и когнитивные структуры с предметной деятельностью и является удобным инструментом для интеграции и совершенствования систем извлечения знаний из текста.

С нашей точки зрения – это весьма узкая трактовка проблемной области нового научного направления. В ее рамках *целесообразно заниматься всем спектром проблем синтеза и анализа смыслов, значений, знаковых структур, процессами понимания знаков и познанием мира посредством знаковых систем*.

В рамках разработки современных методик и практик лингвистического исследования в [Беляев и др., 2008] предлагается осуществить «концептуальную интеграцию» *когнитивного и семиотического* моделирования. Необходимость такого совмещения автор объясняет особенностями природы языка, которая носит принципиально двойственный характер: язык - это одновременно

- *и система знаков*, замещающих предметы речи,
- *и система символов*, за которыми стоит духовный опыт людей.

Когнитивная лингвистика предстает как наука о *символах*, а семиотика - как наука о *знаках*.

В целом когнитивная семиотика должна *связать действия* во всех трех мирах: *реальном, мире знаков и ментальном*.

Когнитивная семиотика должна обеспечивать получение знаний на основе синтеза некоторой целостности путем интеграции структур трех миров. А такая интеграция осуществляется на базе *взаимодействия* (синергетического) реального, ментального и знакового миров.

В [Беляев и др., 2008] приведен хороший пример такого взаимодействия. Водитель крутит баранку руля, думает о своих предстоящих действиях для продолжения движения и в то же время наблюдает показания приборов на контрольной панели и дорожные знаки. Принимаемые им решения зависят от событий, происходящих в этих трех мирах –

- *окружающего его материального мира (R)*,
- *знакового (семиотического) окружения (S) и*
- *его собственного знания о вождении, которое находится в его памяти (M)*.

Так называемые когнитивные процессы, результатом которых являются управляющие воздействия на автомобиль, протекают в сознании водителя. Пример показателен, потому, что водитель должен принимать оперативные и ответственные решения.

Но, очевидно, что любые *осознанные* решения принимаются на основе взаимодействия этих трех миров. При этом «вклад» различных миров в синтез знаний существенно зависит

- от специфики решаемой проблемы,
- от опыта лица, принимающего решение (его ментальных моделей),
- от уровня исследований данной проблемы (наличия эффективных формальных, знаковых моделей).

Таким образом, мы *когнитивную семиотику* рассматриваем, как науку о методах

- получения знаний из знаковых структур и наоборот,
- синтеза знаковых конструкций, представляющих соответствующие структуры знаний.

При этом, в основе этих методов находится анализ и синтез взаимодействия трех миров.

---

## 6. Когнитивная семиотика и образное мышление

---

С другой стороны, в более узком смысле, *когнитивную семиотику можно рассматривать как симбиоз когнитивного и семиотического моделирования*. Такой подход мы намерены использовать в разработке моделей процессов образного мышления. В центре этой проблемы находится *образ*. А когнитивная семиотика теперь должна методологически обеспечивать решение проблем в отношениях «образ-познание-знак-значение-понимание-смысл».

С нашей точки зрения, образное мышление часто эффективно используется при решении слабо определенных (слабо структурированных, плохо формализуемых) проблем. Это обусловлено тем, что образ используется в качестве дополнения (к формальной компоненте) в таких ситуациях. Но, поскольку речь идет о симбиозе, то образ должен взаимодействовать с ментальными моделями, трансформируясь в адекватную проблеме структуру.

Весьма интересным примером когнитивной семиотики, мы полагаем, являются когнитивные карты. Заметим, что они ориентированы на моделирование слабо определенных ситуаций.

*Когнитивная карта (причинно-следственная карта) – это модель ситуации, в которой ее параметры – факторы (характеристики) ситуации  $F$  представлены в виде узлов орграфа, а дуги определяют причинно-следственные отношения между факторами  $W$ :  $G = (F, W)$*  [Кулинич, 2009].

Вполне очевидно, что когнитивная карта – это образ, который является результатом когнитивного моделирования, но это – также, и семиотическая модель: она представляет собой знаковую конструкцию (**S**), которая отображает некоторую ситуацию реального мира (**D**) и мыслей эксперта (**C**). Вполне очевидны

- *синтаксис* (ориентированный взвешенный граф),
- *семантика* (причинно-следственные отношения) и
- *прагматика* (ориентация на анализ ситуации и принятие решений слабо структурированных проблем) когнитивной карты.

Для того, что бы синтез и анализ когнитивных карт осуществлялся посредством компьютерных технологий необходимо в вычислительной среде поддерживать базы знаний ментальных и формальных моделей соответствующих ситуаций и вывод на этих моделях. Заметим, что примерами практического применения когнитивной семиотики в образном мышлении являются: когнитивная графика [Зенкин, 1991], интеллект-карты, различные схемы структур, мнемосхемы, тексты, картины и т.д. Можно говорить о шкале когнитивности для этих образов. Необходима разработка систем анализа этих образов. Но, более интересны процессы синтеза образных структур; это – реализация творческих процедур.

По-сути – это моделирование образного мышления, в частности, процессов понимания, порождения смыслов знаковых структур.

---

## 7. Заключение

---

И когнитология, и семиотика являются междисциплинарными науками. Введение понятия когнитивная семиотика, с нашей точки зрения, было обусловлено желанием, с *одной стороны*, вычленив из всей многообразной семиотики проблемы, ориентированные на моделирование мыследеятельности, с *другой стороны*, наоборот, выделить из многих приложений когнитологии проблемы, связанные с синтезом и анализом знаковых структур для представления и использования наших знаний, моделирования смыслов, понимания и объяснения посредством знаковых конструкций.

Полагаем, что это направление исследований должно обеспечить разработку формального аппарата для моделирования образного мышления в компьютерных технологиях.

---

## Благодарности

---

Работа опубликована при финансовой поддержке проекта ITHEA XXI Института информационных теорий и приложений FOI ITHEA Болгария [www.ithea.org](http://www.ithea.org) и Ассоциации создателей и пользователей интеллектуальных систем ADUIS Украина [www.aduis.com.ua](http://www.aduis.com.ua).

---

## Литература

---

- [Беляев и др., 2008] Беляев И., Капустян В., Рыков В. Знаковые системы и бизнес-процессы // Информационные ресурсы России. – М., 2008, №5.
- [Валькман, 2008] Валькман Ю. Р. Анализ понятия образ: отношения «образы – понятия» // Сб. тр. XI Междунар. конференции «Искусственный интеллект (КИИ-2008)», Россия, Дубна, 2008.
- [Валькман, 2010] Валькман Ю. Р. Структура образа: доформальное исследование // Сб. тр. XII Междунар. конференции «Искусственный интеллект (КИИ-2010)», Россия, Тверь, 2010
- [Зенкин, 1991] Зенкин А.А. Когнитивная компьютерная графика. - М.: Наука, 1991. - 192 с.
- [Кулинич, 2009] Кулинич А.А. Когнитивный подход поддержки принятия решений коалиционного управления ситуацией. \ \ Тр. VIII Междунар. конферен. "Когнитивный анализ и управление развитием ситуаций" (CASC'2009) 2009.
- [Мельников, 1978] Мельников Г. П. Системология и языковые аспекты кибернетики. М.: Сов. радио, 1978.
- [Рыков, 2006] Рыков В.В. Извлечение знаний – реализация когнитивной семиотики. <http://rykov-cs.narod.ru/dlg9.html>.
- [Сковорода, 1973] Сковорода Г. Диалог «Имя ему – потоп змиин». // Г. Сковорода. Сочинения в двух томах. Т. 2. – М.: Мысль, 1973.
- [Черниговская, 2006] Черниговская Т. В. Когнитивная наука как синтез естественнонаучного и гуманитарного знания. // Первая российская интернет-конференция по когнитивной науке (Информационно-образовательный портал Auditorium. ru – Гуманитарные науки, <http://www.auditorium.ru>)
- [Щедровицкий, 1967] Щедровицкий Г. П. О методе семиотического исследования знаковых систем // Семиотика и восточные языки: Сб. — Москва 1967

---

## Информация об авторе

---



**Юрий Валькман** – Международный научно-учебный центр информационных технологий и систем НАН и МОН Украины, 03680 ГСП, г. Киев, проспект акад. Глушкова, 40; e-mail: [yur@valkman.kiev.ua](mailto:yur@valkman.kiev.ua)

**Область научных интересов:** Моделирование образного мышления, Методы и средства искусственного интеллекта, Интеллектуальные технологии и системы, Базы знаний, Системной анализ, Технологии управления знаниями.

## DIVERGENT AND MULTIPLE-VALUED SEQUENCES AND FUNCTIONS

Igor Gorban

**Abstract:** *On the basis of the theory of hyper-random phenomena, the calculus approaches for divergent and multiple-valued sequences and functions have been developed. For divergent sequences and functions, a number of new concepts, in particular concepts of generalized limit, spectrum of limit points, convergence to spectrum of limit points, distribution function and density function of limit points, bounds of a distribution function etc. are introduced. Concepts known for single-valued functions, in particular concepts of convergence, continuity, derivative, differentiability, indefinite and definite integrals are generalized on multiple-valued functions. A link between multiple-valued and divergent functions is found. Transformation particularities of single-valued functions into multiple-valued functions and multiple-valued functions into single-valued ones are researched.*

**Keywords:** *divergent function, partial limit, multiple-valued function, divergent integral, theory of hyper-random phenomena.*

**ACM Classification Keywords:** *G.3 Probability and Statistics*

---

### 1. Introduction

---

The limit and convergence concepts are considered as basics of modern mathematics. Main mathematical results have been obtained on the basis of them. Concepts of uniform convergence, continuous function, derivative, integral, and so on are introduced by them.

Important request to classic definitions as of limit of the function determined in a set of real numbers, as of convergence of the numerical sequence to a limit, is obligatory to the existence of just a single limit. If there is no just a single limit, it is said that the function or the sequence has no limit or that there is a divergence of it.

Not all sequences and functions have limits. Interesting, in the real physical world a lot of processes are divergent ones. Such processes, for instance, are flicker noises, statistically instable processes [Gorban, 2012-2], chaotic processes with strange attractors, and others ones.

The lack of convergence is a serious problem related to many mathematical objects. However, it is not researched well yet. Mainly it is discussed in the limit theory and in connection with convergence disturbances of series and integrals [Ильин, 1985, Корн, 1973, Фихтенгольц, 1958, Харди, 1951].

A divergent numerical sequence  $\{x_n\}$ , terms  $x_n$  of which are alternately increasing and decreasing, when number  $n$  tends to infinity and also a divergent function  $x(t)$ , whose value is fluctuated in some bounds, when  $t$  tends to definite value  $t_0$  are of especial interest.

The lack of convergence does not mean that it is impossible to say anything about the behavior of the sequence  $\{x_n\}$ , when  $n \rightarrow \infty$  or about the behavior of the function  $x(t)$  when  $t \rightarrow t_0$ . We should emphasize that the limit is only one parameter from the set of them characterizing a sequence or a function under the limit passage.

Research of different physical processes in large observation intervals showed [Gorban, 2007, 2010, 2011-1, 2011-2, 2011-3, 2012-2] that in the overwhelming majority of cases their sample averages were not convergent. Search of effective methods for description of such processes led to the new physical-mathematical theory of hyper-random phenomena [Gorban, 2007, 2011-1] oriented on learning the physical phenomena that could not be characterized by single-valued probability characteristics. Researching physical objects of this theory are statistically unstable physical phenomena, in particular physical magnitudes, the variance of sample average of

which does not tend to zero, when the sample size tends to infinity. In this theory, to describe physical phenomena instead of concrete probability parameters and characteristics, a set of their possible alternatives are used. Main abstract mathematical objects of the theory are hyper-random variable, which is the set of random variables and hyper-random function (the latter being the set of random functions). Probability measure of these random variables and functions depends on a parameter which value belongs to a finite, countable, or non-countable set.

Research shows [Gorban, 2012-1, 2012-3] that the methods of this theory may be effectively used for solving many tasks including those being far away from the statistic tasks, in particular for the description of divergent deterministic sequences and functions, as well as of closely coupled with them multiple-valued variables, sequences, and functions.

The purpose of the article is to present new scientific results in these two directions.

---

## 2. Generalized limits of single-valued sequences and functions

---

In [Gorban, 2012-1], the new concept of convergence for an unlimited single-valued numerical sequence  $\{x^n\}^{n \rightarrow \infty} = x^1, x^2, \dots, x^n, \dots$  has been introduced.

According to the classic view, the sequence  $\{x^n\}^{n \rightarrow \infty}$  is the convergent one if just a single limit  $a = \lim_{n \rightarrow \infty} x^n$  exists. The sequence that does not have just a single limit is the divergent one.

Divergent sequences may be of different types.

It is known, that from any infinite sequence a set of partial sequences obtaining from the initial sequence by deletion of some its terms can be formed.

It has been proven that if the sequence is a converged one, then all its partial sequences are converged ones too. If the sequence is a divergent one, then not necessarily all its partial sequences are divergent ones. Some of them can converge to the definite limit points  $a_m$  (accumulation points or partial limits). The set of all limit points of the sequence has been called the spectrum  $\tilde{S}_x$  [Gorban, 2012-1].

The spectrum of a divergent sequence is an analog of the limit of a convergent sequence. Analytically it can be written by the following expression:

$$\tilde{S}_x = \text{LIM}_{n \rightarrow \infty} x^n, \quad (1)$$

where in contrast to the classic limit  $\lim_{n \rightarrow \infty}$  the multiple-valued generalized limit  $\text{LIM}_{n \rightarrow \infty}$  [Gorban, 2012-1] is used.

The spectrum  $\tilde{S}_x$  is characterized by the distribution function of limit points [Gorban, 2012-1]

$$\tilde{F}(x) = \text{LIM}_{n \rightarrow \infty} \frac{n(x)}{n}, \quad (2)$$

where  $n(x)$  is a number of terms of the sequence  $\{x^n\} = x^1, x^2, \dots, x^n$  that are less than  $x$ .

The generalized limit (2) can be converged to a number (fig. 1a), converged to a set of numbers (fig. 1b), or can be a divergent one (fig. 1c). In the first two cases, the distribution function  $\tilde{F}(x)$  is a single-valued one ( $\tilde{F}(x) = F(x)$ ) and in the third case – a multiple-valued one.

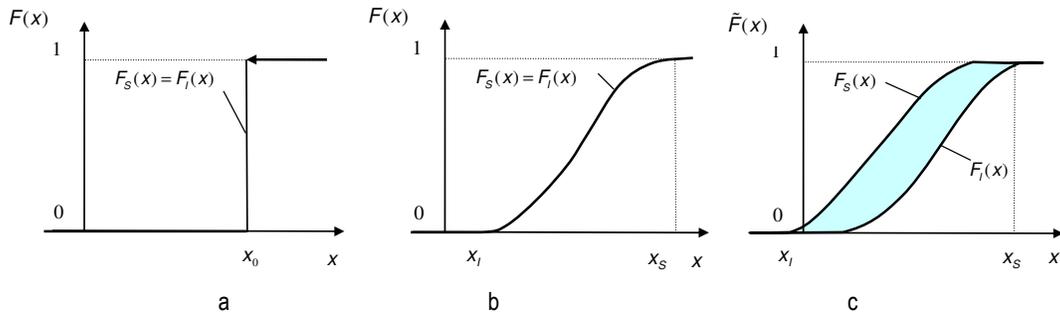


Fig. 1. The distribution function of limit points  $\tilde{F}(x)$  and its bounds  $F_I(x)$ ,  $F_S(x)$  for the single-valued sequence  $\{x^n\}^{n \rightarrow \infty}$  converging to the number  $x_0$  (a), converging to the set of numbers (b), and for the divergent sequence (c)

For description of the distribution function  $\tilde{F}(x)$ , its low  $F_I(x)$  and upper  $F_S(x)$  bounds (fig. 1) can be used as well as density functions of bounds  $f_I(x) = \frac{dF_I(x)}{dx}$ ,  $f_S(x) = \frac{dF_S(x)}{dx}$ , moments of bounds: expectations of bounds  $m_I$ ,  $m_S$ , variances of bounds  $D_I$ ,  $D_S$ , and other characteristics and parameters of the theory of hyper-random phenomena.

Similarly, it has been introduced [Gorban, 2012-1] the concept of convergent of a single-volume function  $x(t)$  from the left-hand side (when  $t \rightarrow t_0 - 0$ ) and the right-hand side (when  $t \rightarrow t_0 + 0$ ) to sets (spectrums) of limit points  $\tilde{S}_x^-(t_0) = \text{LIM}_{t \rightarrow t_0 - 0} x(t)$  and  $\tilde{S}_x^+(t_0) = \text{LIM}_{t \rightarrow t_0 + 0} x(t)$  respectively.

Sets  $\tilde{S}_x^\pm(t)$  can be characterized by multiple (in a general case) distribution functions of limit points  $\tilde{F}^\pm(x; t)$ .

For description of the distribution functions  $\tilde{F}^\pm(x; t)$  it can be used their low and upper bounds  $F_I^\pm(x; t)$ ,  $F_S^\pm(x; t)$ , distribution functions of bounds  $f_I^\pm(x; t) = \frac{dF_I^\pm(x; t)}{dx}$ ,  $f_S^\pm(x; t) = \frac{dF_S^\pm(x; t)}{dx}$ , moments of bounds: expectations of bounds  $m_I^\pm(t)$ ,  $m_S^\pm(t)$ , variances of bounds  $D_I^\pm(t)$ ,  $D_S^\pm(t)$ , and other characteristics.

### 3. Multiple-valued variables and functions

In mathematics, single-valued and multiple-valued variables and functions are recognized. A single-valued variable has a concrete value and a multiple-valued – a set of values. A single-valued function sets a single meaning point-to-point correspondence and a multiple-valued function – a multiple meanings correspondence.

It will be supposed that all values of a multiple-valued variable, an argument, and values of multiple-valued functions are scalar real values.

A particular case of a multiple-valued function is the multiple-valued number sequence that is the multiple-valued function of an integer argument. Another particular case of a multiple-valued function is a multiple-valued variable that is the multiple-valued function, the applicable domain of which is a number.

We will mark a multiple-valued particularity by the tilde above a letter identifying a multiple-valued variable, sequence, or function.

Different approaches for description of multiple-valued variables and functions are known. One of them widely used in the trigonometry, in the theory of functions of complex variable, and others mathematical directions is based on the branch concept.

A branch of the function is defined [Kopn, 1973] as a single-valued continues function in its applicable domain.

Multiple meanings of the function is interpreted as a heightened dimension of its actual range or applicable domain.

In the first case, the multiple-valued function  $\tilde{x}(t)$  of an argument  $t$  is regarded as a parametrically specified single-valued continues function  $x_g(t)$ , the parameter of which  $g \in G$  (where  $G$  is a finite, countable, or non-countable set) characterizes the branch of the function  $\tilde{x}(t)$ .

In the second case, the multiple-valued function  $\tilde{x}(t)$  is presented as the single-valued continues function  $x(t, g)$  of two arguments:  $t$  and  $g$ . When the argument  $g$  is fixed, the dependence from the argument  $t$  is a continues function, which is presented as the  $g$ -th branch of the function  $\tilde{x}(t)$ .

So in both cases, the function  $\tilde{x}(t)$  is regarded as a finite, countable, or non-countable set of branches. Notice that branches of a multiple-valued function can have common points, applicable domains of branches can be different, and there are a lot of branch decomposition variants.

Description of multiple-valued functions by branches is very comfortable and visual, especially when a quantity of branches is a finite or countable one. When a branch number does not a countable, an ability of visualization is lost and an extraction of branches becomes a problem.

An original approach for description of multiple-valued variables and functions proposes the probability theory. This theory is oriented on the study of statistical stable physical objects, in particular physical magnitudes that have sample averages trending to definite values, when a sample number tends to infinity. Ones of the main mathematical objects of the probability theory are a random variable and a random function. A random variable can be regarded as a multiple-valued variable, for which there is a probability measure (distribution function). A random function is interpreted or as a set of random variables depended from the argument of the function, or as a set of single-valued realizations of the multiple-valued function, for which there are a probability measure.

The theory of hyper-random phenomena [Gorban, 2011-1] opens new possibilities for description of multiple-valued variables and functions.

---

#### 4. Description of multiple-valued variables and functions on the base of the theory of hyper-random phenomena

---

Let a variable  $x(p)$  depends from a parameter  $p \in P$  where  $P$  is a neighbourhood of the point  $p_0$ . We shall propose that for all fixed  $p \neq p_0$  the variable has a single value. Mark, in the point  $p_0$  the variable may be a multiple-volume one.

Examine the single-valued sequence  $\{x^n\} = x^1, x^2, \dots, x^n$  obtained from the variable  $x(p)$  when  $p \rightarrow p_0$ .

The generalized limit  $\mathop{\text{LIM}}_{n \rightarrow \infty} x^n = \mathop{\text{LIM}}_{p \rightarrow p_0} x(p)$  of the sequence can tend to a number, to a set of numbers, or be the divergent limit.

**Definition 1.** A multiple-valued determine variable  $\tilde{x}$  can be regarded as a generalized limit  $\mathop{\text{LIM}}_{n \rightarrow \infty} x^n$  presented by the spectrum  $\tilde{S}_{\tilde{x}}$  and the distribution function  $\tilde{F}(x)$ .

Mark, the spectrum of the multiple-valued variable  $\tilde{x}$  does not necessary coincide with the values of the variable  $x(\rho)$  in the point  $\rho_0$ .

The distribution function  $\tilde{F}(x)$  can be as a single-valued as a multiple-valued one. If it is a single-valued ( $\tilde{F}(x) = F(x)$ ), the density function  $f(x) = dF(x)/dx$  exists.

More strictly, the multiple-valued variable can be defined by an assistance of the space that is the analog of the hyper-random space described by the tetrad  $(\Omega, \mathfrak{S}, G, P_g)$  [Gorban, 2011-1], where  $\Omega$  is a set of simple events (for instance, values  $x$  of the multiple-valued variable  $\tilde{x}$ ),  $\mathfrak{S}$  is a sigma field,  $G$  is a set of conditions  $g \in G$ , and  $P_g$  is a measure of event's subset that depends from conditions  $g$ .

**Definition 1a.** A multiple-valued determine variable  $\tilde{x}$  can be regarded as a mathematical object specifying by the spectrum of values  $\tilde{S}_{\tilde{x}}$  and the distribution function  $\tilde{F}(x)$ .

In a particular case, when there is single conditions, the multiple-valued variable can be defined by assistance of the space similar to the probability space described by the triad  $(\Omega, \mathfrak{S}, P)$  [Колмогоров, 1974], where  $P$  is a measure of event's subset. Then a multiple-valued variable can be presented by the spectrum  $\tilde{S}_{\tilde{x}}$  and the single-valued distribution function  $F(x)$ .

A multiple-valued determine function  $\tilde{x}(t)$  can be specified as a set of multiple-valued variables according to fixed values of the argument  $t$ . Therefore, a function  $\tilde{x}(t)$  can be characterized by the spectrum  $\tilde{S}_{\tilde{x}}(t)$  and the distribution function  $\tilde{F}(x; t)$ .

Mark, presented single-valued distribution functions  $F(x)$ ,  $F(x; t)$  and according density functions  $f(x)$ ,  $f(x; t)$  are similar to correspondently distribution probability functions and probability density functions of the random variable and the random function. The properties of the researched characteristics are the same as the properties of probability analogues.

---

## 5. Spectrums of multiple-valued sequences and functions

---

**Definition 2.** A single-valued sequence formed from the multiple-valued finite  $\{\tilde{x}_i\} = \tilde{x}_1, \tilde{x}_2, \dots, \tilde{x}_i$  or infinite  $\{\tilde{x}_i\}_{i \rightarrow \infty}$  sequence by casting-out a part of terms and retaining in the rest terms only one value in every of them will be called the subsequence (partial sequence) of the sequence.

**Definition 3.** A limit  $a_m$  (a number) of a single-valued  $m$ -th partial sequence formed from the multiple-valued sequence  $\{\tilde{x}_i\}_{i \rightarrow \infty}$  will be called the  $m$ -th partial limit (accumulation point) of the sequence.

**Definition 4.** A limit (a number) of a single-valued  $m$ -th partial sequence formed from the multiple-valued function  $\tilde{x}(t)$  with finite volumes, when  $t \rightarrow t_0 - 0$  or  $t \rightarrow t_0 + 0$  will be called the  $m$ -th partial limit (accumulation point) of the function.

Note, not all single-volume partial sequences are converged (have single limits). Therefore not all single-volume partial sequences of a multiple-valued sequence or a multiple-valued function have single limit points.

For multiple-valued sequences and functions the analogue of usual limit is the set (spectrum) of limit points.

Let  $\tilde{S}_x$  is the set (spectrum) of limit points of a multiple-valued sequence  $\{\tilde{x}_i\}_{i \rightarrow \infty}$  and  $\tilde{S}_x^-(t_0)$ ,  $\tilde{S}_x^+(t_0)$  are the left- and right-hand sides sets (spectrums) of limit points of a multiple-valued function  $\tilde{x}(t)$ , when  $t \rightarrow t_0 - 0$  and  $t \rightarrow t_0 + 0$  respectively.

Analytically, the convergence of the multiple-valued sequence to the set of limit points can be written by the expression  $\tilde{S}_x = \underset{i \rightarrow \infty}{\text{LIM}} \tilde{x}_i$  and the convergence of the multiple-valued function to the left- and right-hand sides sets of limit points – by the expressions  $\tilde{S}_x^-(t_0) = \underset{t \rightarrow t_0 - 0}{\text{LIM}} \tilde{x}(t)$  and  $\tilde{S}_x^+(t_0) = \underset{t \rightarrow t_0 + 0}{\text{LIM}} \tilde{x}(t)$ .

Limit points of a multiple-valued sequence  $\{\tilde{x}_i\}_{i \rightarrow \infty}$  are bounded by the interval  $[x_l, x_s]$ , where  $x_l$ ,  $x_s$  are low and upper bounds of limit points of the sequence. Limit points of the multiple-valued function  $\tilde{x}(t)$ , when  $t \rightarrow t_0 - 0$  or  $t \rightarrow t_0 + 0$  are bounded by correspondently intervals  $[x_l^-(t_0), x_s^-(t_0)]$  and  $[x_l^+(t_0), x_s^+(t_0)]$ , where  $x_l^-(t_0)$ ,  $x_s^-(t_0)$  are low and upper bounds of the left-hand side limit points of the function and  $x_l^+(t_0)$ ,  $x_s^+(t_0)$  are low and upper bounds of the right-hand side limit points of it.

Mark, the request to finite volumes of the function and to volumes of the argument  $t_0$  figured in Definition 4 is not essential one. By the same manner, the concepts of a set of limit points for an unbounded multiple-valued function and for a multiple-valued function  $\tilde{x}(t)$  when  $t \rightarrow +\infty$  or  $t \rightarrow -\infty$  can be defined too.

---

## 6. The distribution function of the multiple-valued sequence

---

Every term  $\tilde{x}_j$  of a multiple-valued finite sequence  $\{\tilde{x}_j\}$  ( $j = \overline{1, i}$ ) can be presented as the generalized limit  $\underset{n \rightarrow \infty}{\text{LIM}} x_j^n$  of the generated sequence  $\{x_j^n\} = x_j^1, x_j^2, \dots, x_j^n$  and described by the distribution function

$$\tilde{F}_j(x) = \underset{n \rightarrow \infty}{\text{LIM}} \frac{n_j(x)}{n},$$

where  $n_j(x)$  is a number of terms of the sequence  $\{x_j^n\}$  that are less than  $x$ .

The spectrum  $\tilde{S}_{\tilde{x}_i}$  of the sequence  $\{\tilde{x}_i\}$  can be described by the distribution function

$$\tilde{F}^i(x) = \underset{n \rightarrow \infty}{\text{LIM}} \frac{\sum_{j=1}^i n_j(x)}{ni} = \frac{1}{i} \sum_{j=1}^i \tilde{F}_j(x).$$

**Definition 5.** The distribution function of limit points of a sequence  $\{\tilde{x}_i\}_{i \rightarrow \infty}$  will call the function

$$\tilde{F}(x) = \underset{i \rightarrow \infty}{\text{LIM}} \tilde{F}^i(x) = \underset{i \rightarrow \infty}{\text{LIM}} \frac{1}{i} \sum_{j=1}^i \tilde{F}_j(x) = \underset{i \rightarrow \infty}{\text{LIM}} \underset{n \rightarrow \infty}{\text{LIM}} \frac{\sum_{j=1}^i n_j(x)}{ni}.$$

Pay attention, that the function  $\tilde{F}(x)$  may be a multiple-volume one. If for all  $x \in (-\infty, +\infty)$  it is a single-volume one then  $\tilde{F}(x) = F(x)$ .

Examined distribution function of limit points  $\tilde{F}(x)$  is similar to the distribution function of limit points (2) of a single-volume sequence.

We will recognize multiple-volume sequences  $\{\tilde{x}_i\}_{i \rightarrow \infty}$  converging to a number, to a set of numbers and divergent multiple-volume sequences.

**Definition 6.** A multiple-valued sequence  $\{\tilde{x}_i\}_{i \rightarrow \infty}$  will be called the converging sequence to the number  $x_0$  if

the distribution function  $\tilde{F}(x)$  of limit points is described by the single jump function  $\text{sign}[x - x_0] = \begin{cases} 0, & \text{when } x < x_0, \\ 1, & \text{when } x \geq x_0 \end{cases}$  in the point  $x_0$ , the converging sequence to the set of numbers (in

particular to the interval) if the distribution function is described by the single-volume function in the interval  $(-\infty, +\infty)$ , and the divergent sequence if distribution function has a multiple meanings even in a single point  $x$ .

So not only single-volume but multiple-volume sequences can be converging to a number, to a set of numbers, and can be divergent sequences.

As in a single-value sequence case, a distribution function  $\tilde{F}(x)$  for a multiple-volume sequence can be characterized by the single-value low  $F_l(x)$  and upper  $F_s(x)$  bounds. If for all  $x$  the distribution function  $\tilde{F}(x)$  has concrete volumes (the sequence converges to a number or to a set of numbers), then the bounds are coincided. In the contrary case we have  $F_l(x) \neq F_s(x)$ .

---

## 7. The distribution function of the multiple-valued function

---

Similar to the distribution function  $\tilde{F}(x)$  of a multiple-valued sequence it can be introduced the concept of the left-hand side  $\tilde{F}^-(x; t)$  and the right-hand side  $\tilde{F}^+(x; t)$  distribution functions of limit points of the multiple-valued function  $\tilde{x}(t)$  (fig. 2) that characterize the volume frequency of the function, when the argument tends to  $t$  from the left- and right-hand side respectively.

Mark, the distribution functions  $\tilde{F}^\pm(x; t)$  may be as single-volume as multiple-volume ones.

**Definition 7.** A multiple-volume function  $\tilde{x}(t)$  will be called a converging function from the left (when  $t$  is fixed) to the definite number  $x^-(t)$  if its left-hand side distribution function of limit point  $\tilde{F}^-(x; t)$  is described by the single jump function  $\text{sign}[x - x^-(t)]$  (fig. 2a), will be called a converging function from the left to the set of numbers if its left-hand side distribution function is described by a single-volume function for all  $x \in (-\infty, +\infty)$  (fig. 2b), and will be called a divergent function from the left if according distribution function has a multiple meanings even in a single point  $x$  (fig. 2 c).

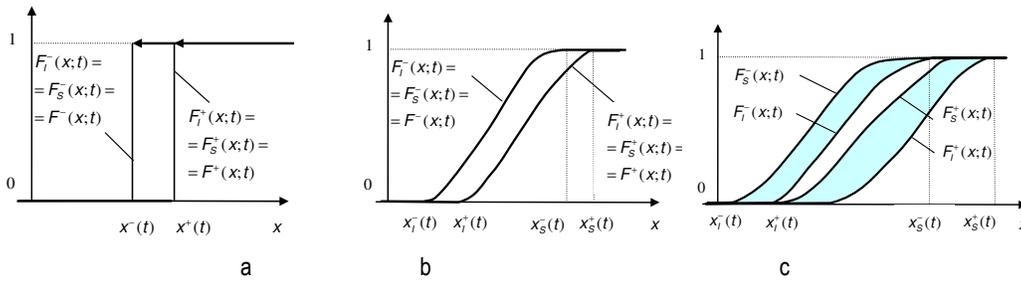


Fig. 2. Bounds of the distribution function of limit points of the multiple-valued function  $\tilde{x}(t)$  that converges from the left- and right-hand side to the number (a), converges from the left- and right-hand side to the set of numbers (b) and bounds of the distribution function of the divergent function  $\tilde{x}(t)$  (c).

Examining the right distribution function  $\tilde{F}^+(x; t)$  according to the right-hand side limit of the function  $\tilde{x}(t)$  we will recognize the multiple-volume function  $\tilde{x}(t)$  converging from the right to the definite number  $x^+(t)$  (fig. 2a), converging from the right to the set of numbers (fig. 2b) and the divergent function from the right (fig. 2c).

The left-  $\tilde{F}^-(x; t)$  and right-hand  $\tilde{F}^+(x; t)$  side distribution functions can be characterized by single-volume bounds  $F_i^-(x; t)$ ,  $F_s^-(x; t)$  and  $F_i^+(x; t)$ ,  $F_s^+(x; t)$  respectively. If under  $x \in (-\infty, +\infty)$  they have concrete volumes (the function  $\tilde{x}(t)$  is converged to a number or to a set of numbers), then according bounds are coincided:  $F^-(x; t) = F_i^-(x; t) = F_s^-(x; t)$ ,  $F^+(x; t) = F_i^+(x; t) = F_s^+(x; t)$  (fig. 2a, 2b). In the contrary case they are different:  $F_i^-(x; t) \neq F_s^-(x; t)$ ,  $F_i^+(x; t) \neq F_s^+(x; t)$  (fig. 2c).

## 8. A continuous multiple-volume function

**Definition 8.** A multiple-volume function  $\tilde{x}(t)$  will be called the continuous function in the point  $t$  from the left (right) if

- 1) the function is determined as in the point  $t$  as in the left-hand (right-hand) side area of this point,
- 2) the function is converged in the point  $t$  from the left-hand (right-hand) side to a number or a set of numbers (according distribution function is a single-volume one),
- 3) in the point  $t$  the left-hand  $F^-(x; t)$  (the right-hand  $F^+(x; t)$ ) side distribution function equals to the distribution function  $F(x; t)$  in the point  $t$ :  $F^-(x; t) = F(x; t)$  ( $F^+(x; t) = F(x; t)$ ) (the distribution function  $F(x; t)$  is continuous along  $t$  from the left (right)).

In any contrary case, the function will be called the discontinuous one in the point  $t$  from the left (right).

**Definition 9.** A multiple-volume function  $\tilde{x}(t)$  will be called the continuous function in the interval  $(t_1, t_2)$ , if it is a continuous in all points of this interval from the left and right.

For a continuous function  $\tilde{x}(t)$ , it can be written the following equality:  $x_i^-(t) = x_i^+(t) = x_i(t)$ ,  $x_s^-(t) = x_s^+(t) = x_s(t)$ , where  $x_i(t)$ ,  $x_s(t)$  are low and upper bounds of the function  $\tilde{x}(t)$  (fig. 3a, 3c).

For continuous functions new branch concept can be defined.

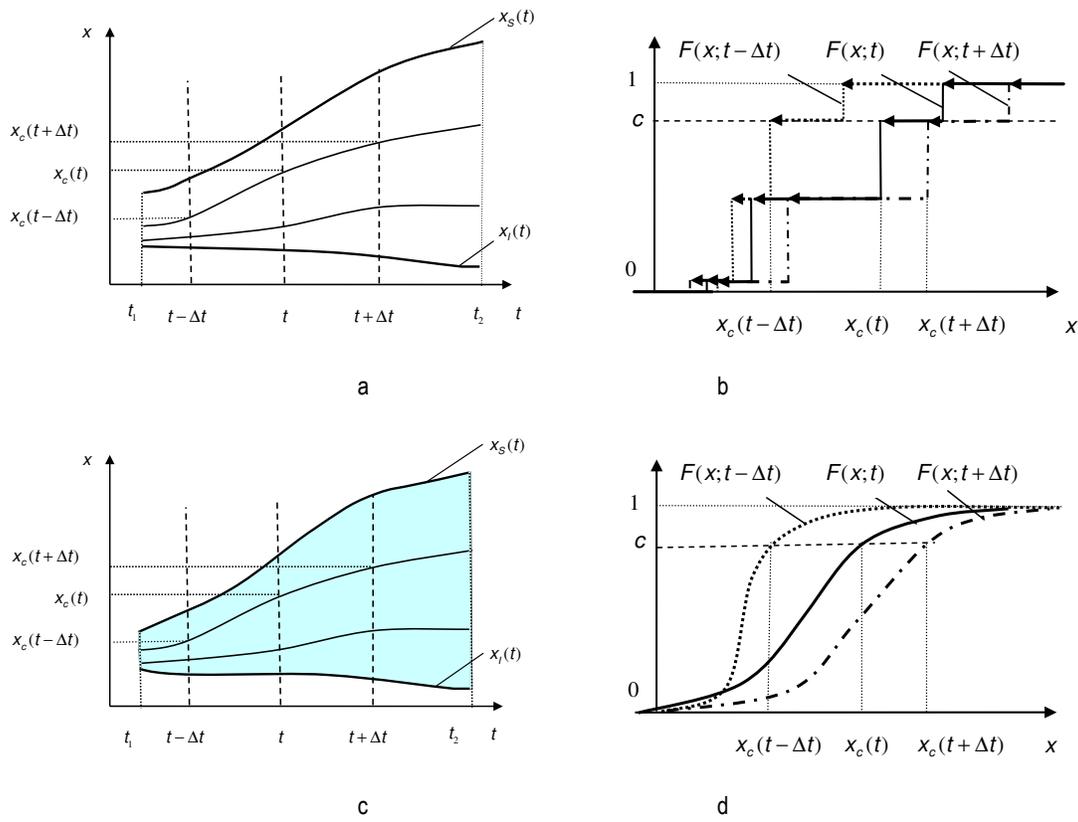


Fig. 3. Multiple-volume continuous functions  $\tilde{x}(t)$  (a, c) and according sections of their distribution functions  $F(x; t - \Delta t)$ ,  $F(x; t)$ ,  $F(x; t + \Delta t)$  in the points  $t - \Delta t$ ,  $t$ , and  $t + \Delta t$  (b, d). Thin continuous lines in the fig. 3a, 3c correspond to branches of the function  $\tilde{x}(t)$  and bold lines – to its bounds.

**Definition 10.** The  $c$ -th branch ( $c \in (0, 1]$ ) of the function  $\tilde{x}(t)$ , determined in the interval  $t \in (t_1, t_2)$  and describing by the distribution function  $F(x; t)$  will call the single-volume function  $x_c(t) = \inf_x \arg(F(x; t) = c)$  (fig. 3a, 3c).

For existence of the  $c$ -th branch in the interval  $t \in (t_1, t_2)$ , it is necessary and sufficient that the equation  $F(x; t) = c$  has a solution (or solutions) for all  $t \in (t_1, t_2)$  (fig. 3b, 3d).

The number of branches may be a finite, countable, or non-countable one.

If the number of branches is a finite (fig. 3a) or countable, then under  $t = \text{const}$  the distribution function  $F(x; t)$  is a stepped function of the argument  $x$  (fig. 3b). If the number of branches is a non-countable one and for all  $t \in (t_1, t_2)$  function volumes closely fill the interval  $(x_1(t), x_5(t))$  (fig. 3c), then under  $t = \text{const}$  the distribution function  $F(x; t)$  is a strictly increasing function of  $x$  (fig. 3d).

**Theorem 1.** The branches of a multiple-volume continuous function are continuous functions that have not common points.

The continuity of the branches of the multiple-volume continuous function follows from the continuity along  $t$  of its distribution function  $F(x; t)$ .

The absence of common points of branches can be proofed by ex adverso. Let the multiple-volume continuous function  $\tilde{x}(t)$  described by the single-volume distribution function  $F(x;t)$  has branches  $x_{c_1}(t)$  and  $x_{c_2}(t)$  ( $c_2 \neq c_1$ ) that have a common point when  $t = t_0$ :  $x_{c_1}(t_0) = x_{c_2}(t_0) = x_0$ . It follows from this that in the point  $(x_0, t_0)$  the distribution function  $F(x;t)$  has two different volumes:  $c_1$  and  $c_2$ . This fact contradicts to the request of one-valuedness of the distribution function  $F(x;t)$ .

**Definition 11.** A multiple-volume function  $\tilde{x}(t)$  that is continuous in the interval  $t \in (t_1, t_2)$  will be called the decomposable one on branches, if it can be presented by a set of branches:  $\tilde{x}(t) = \{x_c(t), c \in C\}$ , where  $C$  is a set of branches.

Notice, not all multiple-volume continuous functions can be decomposed on branches. If a function  $\tilde{x}(t)$  is decomposed on branches, then it can be described by the set of branches  $C$  and the distribution function  $F_c(x)$  of branches.

---

## 9. A derivative of the multiple-volume function

---

**Definition 12.** The left derivative  $\tilde{x}'^-(t)$  of the multiple-volume continuous function  $\tilde{x}(t)$  that can be decomposed on branches will call the set of the left derivatives

$$\tilde{x}'_c^-(t) = \text{LIM}_{\Delta t \rightarrow +0} \frac{x_c(t) - x_c(t - \Delta t)}{\Delta t}, \quad (3)$$

and the right derivative  $\tilde{x}'^+(t)$  – the set of the right derivatives

$$\tilde{x}'_c^+(t) = \text{LIM}_{\Delta t \rightarrow +0} \frac{x_c(t + \Delta t) - x_c(t)}{\Delta t}, \quad (4)$$

calculated in the point  $t$  for all branches of  $c \in C$ .

Generalized limits in expressions (3) and (4) are not, in general, single-volume ones. They can converge to a set of numbers or be divergent limits.

If in expressions (3) and (4) the limits are single-volume ones ( $\text{LIM} = \text{lim}$ ) for all  $c \in C$ , then  $\tilde{x}'^{\pm}(t) = x_c'^{\pm}(t)$  and the derivative  $\tilde{x}'^-(t)$  (derivative  $\tilde{x}'^+(t)$ ) is the set of velocities, with that branches  $x_c(t)$  are changing when the argument is tending to  $t$  from the left (right).

**Definition 13.** A multiple-volume continuous function  $\tilde{x}(t)$  that can be decomposed on branches will be called the differentiable one in the point  $t$ , if all its derivatives on branches are single-volume ones and for all branches the left derivative equals to the right derivative:  $x_c'^-(t) = x_c'^+(t) = x_c'(t)$ .

**Definition 14.** A multiple-volume continuous function  $\tilde{x}(t)$  that can be decomposed on branches will be called the differentiable one, if it is differentiated in all points of its applicable domain.

For a continuous derivative  $\tilde{x}'(t)$  that can be decomposed on branches the second derivative  $\tilde{x}''^{\pm}(t)$  can be defined. By iteration, for a continuous  $r$ -th derivative  $\tilde{x}^{(r)\pm}(t)$  that can be decomposed on branches the  $r+1$ -th derivative  $\tilde{x}^{(r+1)\pm}(t)$  can be defined too.

For the differentiable function  $\tilde{x}(t)$  with the differentiable derivative  $\tilde{x}'(t)$ , the second derivative  $\tilde{x}''^-(t)$  (derivative  $\tilde{x}''^+(t)$ ) in the point  $t$  is the set of accelerations with that branches  $x_c(t)$  are changing, when the argument is tending to  $t$  from the left (right).

A multiple-volume differentiable function  $\tilde{x}(t)$  that in the point  $t_0$  has single-volume derivatives  $\tilde{x}^{(r)}(t_0)$  of any order  $r$  can be described by the set of branches  $x_c(t)$ , every of which is decomposed in the point  $t_0$  in Taylor series. Therefore, the function  $\tilde{x}(t)$  can be described by the set  $\{x(t_0)\}$  of volumes of function in the point  $t_0$ , the set  $\{x^{(r)}(t_0)\}$  ( $r=1,2,\dots$ ) of volumes of its derivatives, and the set of according distribution functions  $F(x;t_0)$ ,  $F(x^{(r)};t_0)$  ( $r=1,2,\dots$ ).

---

## 10. Examples of multiple-volume functions

---

Multiple-volume functions that are single-volume in all applicable domains except some intervals are especially interesting. Examples of such functions are presented in fig. 4a-4d.

These functions are single-volume ones in the intervals  $t < t_1$ ,  $t > t_2$  and multiple-volume ones in the interval  $t_1 \leq t \leq t_2$ . Multiple meanings of the function in fig. 4a appear spontaneously and spontaneously disappear. In other functions (fig. 4b-4d), the conversion to multiple meanings and then to single meaning is accompanied by the branch processes marked in the figures by dash lines. Part limits are formed in these zones.

Functions presented in fig. 4a and 4b are discontinues ones. If for all points of the applicable domain of functions presented in fig. 4c and 4d the conditions of the Definition 8 are satisfied, then the functions are continues ones. The functions in fig. 4a-4c are not differentiable ones and the function in fig.4d is differentiable one (if the last is a continuous function).

Examine the function

$$\tilde{x}(t) = \begin{cases} \sin\left(\frac{1}{\omega_1(t-t_1)}\right), & \text{when } t < t_1, \\ [-1, 1], & \text{when } t_1 \leq t \leq t_2, \\ \sin\left(\frac{1}{\omega_2(t-t_2)}\right), & \text{when } t > t_2, \end{cases} \quad (5)$$

that is a single-volume one in intervals  $(-\infty, t_1)$ ,  $(t_2, +\infty)$  and a multiple-volume one in the interval  $[t_1, t_2]$ , where  $\omega_1 \neq 0$ ,  $\omega_2 \neq 0$  (fig. 5a).

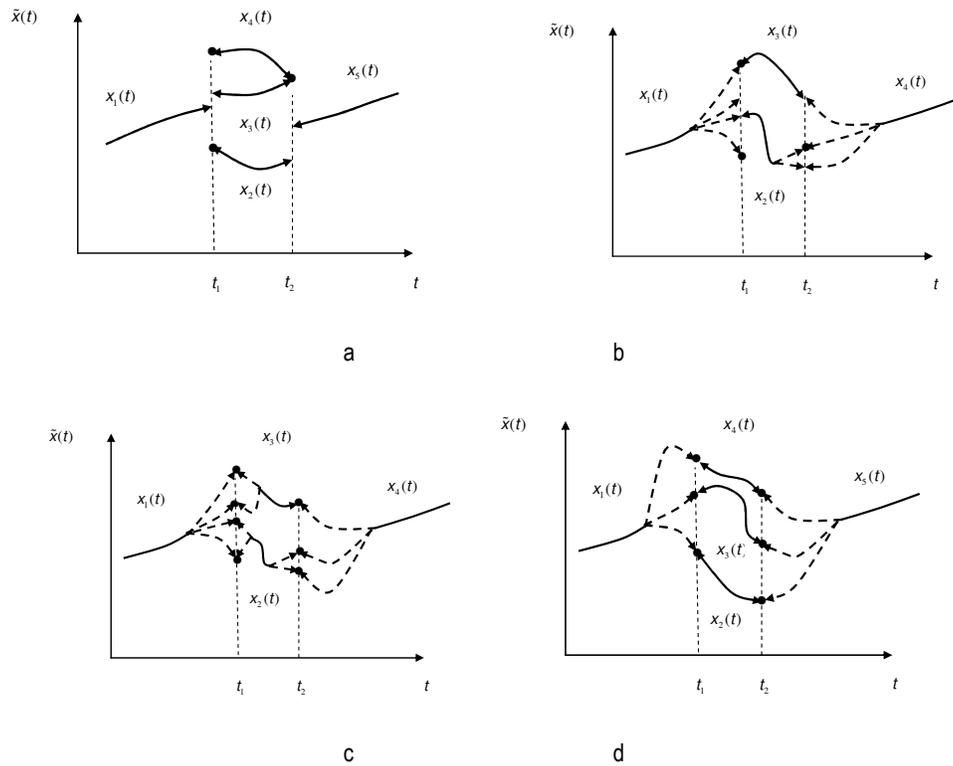


Fig 4. Multiple-volume functions: discontinuous (a, b) ones and continuous ones (if in all points of applicable domain the conditions of the Definition 8 are satisfied) (c, d)

When  $t$  tends to  $t_1$  from the left-hand side and  $t$  tends to  $t_2$  from the right-hand side, the single-volume parts of the function (5) are delaminated. In this case, left  $F^-(x; t_1)$  and right  $F^+(x; t_2)$  distribution functions are described [Gorban, 2012-1] by the expression

$$F^-(x; t_1) = F^+(x; t_2) = \frac{1}{2} + \frac{1}{\pi} \arcsin x. \tag{6}$$

Therefore, if in the interval  $[t_1, t_2]$  the distribution function  $F(x; t)$  is described by the same expression (6), then the function (5) is a continuous and differentiable one.

In this case, the derivative of the function (5) is a single-volume function for  $t \in (-\infty, +\infty)$ :

$$x'(t) = \begin{cases} -\frac{1}{\omega_1(t-t_1)^2} \cos\left(\frac{1}{\omega_1(t-t_1)}\right), & \text{when } t < t_1, \\ 0, & \text{when } t_1 \leq t \leq t_2, \\ -\frac{1}{\omega_2(t-t_2)^2} \cos\left(\frac{1}{\omega_2(t-t_2)}\right), & \text{when } t > t_2. \end{cases}$$

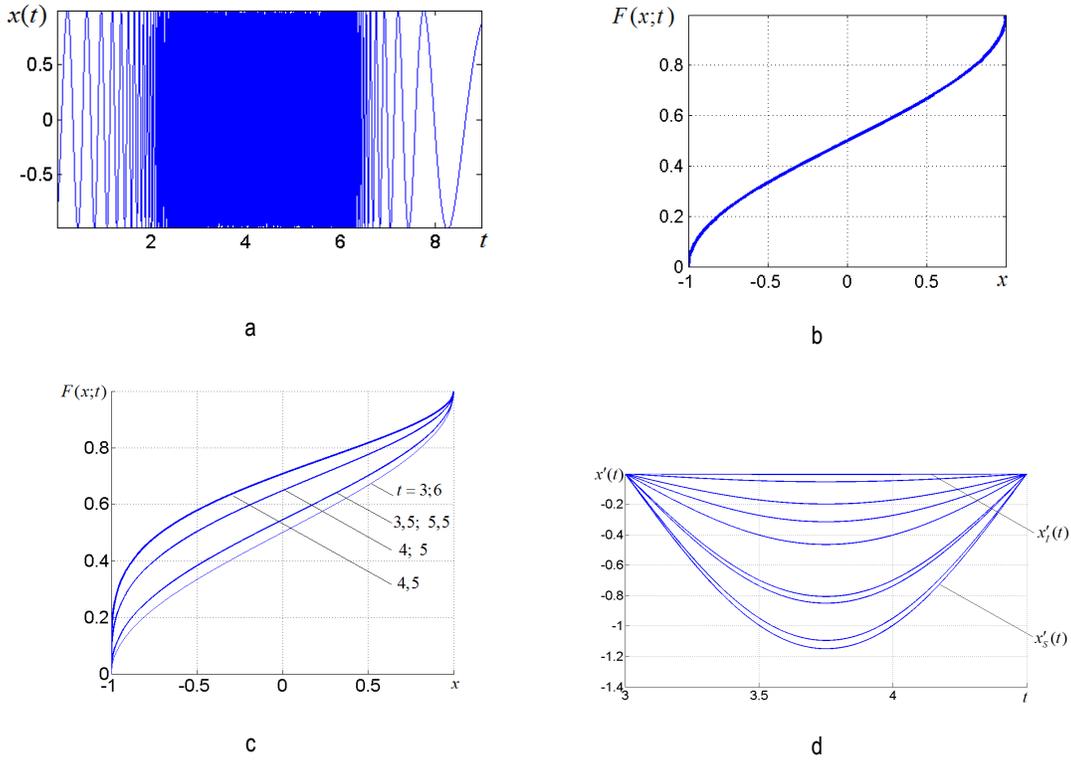


Fig. 5. The multiple-volume function (5) (a), its distribution functions (6) (b), (7) (c) in the interval  $[t_1, t_2]$ , and its derivative (8) (d) ( $c = \overline{0,1}$  with the step 0,1):  $t_1 = 3, t_2 = 6, \omega_1 = 10^{-2}, \omega_2 = 4 \cdot 10^{-2}$

The distribution function of the derivative is the function  $F(x'; t) = \text{sign}[x' - x'(t)]$ .

If the distribution function  $F(x; t)$  for  $t \in [t_1, t_2]$  is described by the expression

$$F(x; t) = \left( \frac{1}{2} + \frac{1}{\pi} \arcsin x \right)^{a(t)}, \tag{7}$$

where  $a(t) = \frac{3}{4} + \frac{1}{4} \cos \frac{2\pi(t-t_1)}{t_2-t_1}$  (fig. 5c), then the  $c$ -th branch  $x_c(t)$  of the function  $\tilde{x}(t)$  is described by

the equation

$$\left( \frac{1}{2} + \frac{1}{\pi} \arcsin x_c(t) \right)^{a(t)} = c.$$

The solution of this equation is the function  $x_c(t) = -\cos \pi^{a(t)} \sqrt{c}$ . Then, the derivative can be obtained in the following form:

$$x'_c(t) = \frac{\pi^2 c^{1/a(t)} \ln c}{2a^2(t)(t_2-t_1)} \sin(\pi c^{1/a(t)}) \sin\left(\frac{2\pi(t-t_1)}{t_2-t_1}\right).$$

So in this case, the function (5) is a continuous and differentiable one for any  $t$ . In the interval  $[t_1, t_2]$  its derivative is multiple-volume one and described by the expression

$$\tilde{x}'(t) = \left\{ \frac{\pi^2 c^{1/a(t)} \ln c}{2a^2(t)(t_2 - t_1)} \sin(\pi c^{1/a(t)}) \sin\left(\frac{2\pi(t - t_1)}{t_2 - t_1}\right), \quad c \in (0, 1] \right\}. \quad (8)$$

The distribution function of the derivative  $\tilde{F}(x'; t)$  can be as a single-volume one (then  $\tilde{F}(x'; t) = F(x'; t)$ ) as a multiple-volume one.

---

### 11. The integral from the multiple-volume function

---

**Definition 15.** The multiple-volume differentiable function  $\tilde{y}(t)$  determined in the interval  $[a, b]$  will be called the primitive of the multiple-volume function  $\tilde{x}(t)$  determined in the same interval, if in all its points the derivative  $\tilde{y}'(t)$  equals to the function  $\tilde{x}(t)$ .

As any multiple-volume differentiable function (and therefore continuous and decomposable on branches), the primitive  $\tilde{y}(t)$  is described by the set of volumes  $\tilde{S}_y(t)$  and the distribution function  $F(y; t)$  of volumes.

**Definition 16.** The indefinite integral from the multiple-volume function  $\tilde{x}(t)$  determined in the interval  $[a, b]$  will call the multiple-volume differentiable function  $\int \tilde{x}(t) dt = \tilde{y}(t) + C_0$ , where  $C_0$  is any constant.

**Definition 17.** The definite integral from the multiple-volume bounded continuous function  $\tilde{x}(t)$  determined in the interval  $[a, b]$  and decomposable on branches will call the set of limit points

$$\tilde{S}_y = \int_a^b \tilde{x}(t) dt = \left\{ \text{LIM}_{\max \Delta t_i \rightarrow 0} \sum_{i=1}^l x_c(\xi_i) \Delta t_i, \quad c \in C \right\}, \quad (9)$$

where  $a = t_0 < t_1 < \dots < t_l = b$ ,  $\Delta t_i = t_i - t_{i-1}$ ,  $\tilde{x}(\xi_i)$  is the volume in any point  $\xi_i \in [t_{i-1}, t_i]$ , and low  $y_l$  and upper  $y_s$  bounds of the integral will call accordingly low and upper boundaries of this set.

The definite integral  $\int_a^b \tilde{x}(t) dt$ , as any set of limit points is described not only by the set of its volumes  $\tilde{S}_y$  but also by the distribution function  $\tilde{F}(y)$  that, in a general is a multiple-volume one.

In the particular case, when limits in the expression (9) are single-volume ones, the set of limit points

$$\tilde{S}_y = \int_a^b \tilde{x}(t) dt = \left\{ \int_a^b x_c(t) dt, \quad c \in C \right\}.$$

Mark, the Definition 17 can be generalized to nonintrinsic integrals too.

---

### 12. The generalized main volume of the definite integral

---

Introduced concept of the definite integral from the multiple-volume function can be useful for estimation of divergent integrals. Such tasks are occurred [Gorban, 2012-2], for instance, in the case of functional transformations.

Examine the continuous single-volume bounded function  $x(t, \lambda)$  of the scalar argument  $t$  determined in the interval  $[a(\lambda), b(\lambda)]$ , where  $\lambda \in \Lambda$  is a parameter. Let the integral of this function converges, when  $\lambda \neq \lambda_0$  and diverges, when  $\lambda = \lambda_0$ .

**Definition 18.** The generalized main volume of the definite integral of the function  $x(t, \lambda)$ , when  $\lambda = \lambda_0$  will call the multiple-volume (in general) set of limit points

$$\tilde{S}_y^{\infty} = \text{LIM}_{\lambda \rightarrow \lambda_0} \int_{a(\lambda)}^{b(\lambda)} x(t, \lambda) dt,$$

and the distribution function of generalized main volume – the function

$$\tilde{F}(y) = \text{LIM}_{\lambda \rightarrow \lambda_0} \frac{m_{\lambda}(y)}{m_{\lambda}},$$

where  $m_{\lambda}(y)$  is the number of volumes of the integral  $\int_{a(\lambda)}^{b(\lambda)} x(t, \lambda) dt$  that are less than  $y$  and  $m_{\lambda}$  is the common number of volumes of this integral.

The researched generalized main volume of the integral, in contrast to the main volume of a usual integral has a set of meanings. Bounds  $y_l, y_s$  of this integral are low and upper boundaries of the set of limit points  $\tilde{S}_y^{\infty}$ .

### 13. Conclusion

On the basis of the theory of hyper-random phenomena, the calculus approaches for divergent and multiple-valued sequences and functions have been developed.

For divergent sequences and functions, a number of new concepts, in particular concepts of generalized limit, spectrum of limit points, convergence to spectrum of limit points, distribution function and density function of limit points, bounds of a distribution function etc. are introduced.

Concepts known for single-valued functions, in particular concepts of convergence, continuity, derivative, differentiability, indefinite and definite integrals are generalized on multiple-valued functions.

A link between multiple-valued and divergent functions is found.

Transformation particularities of single-valued functions into multiple-valued functions and multiple-valued functions into single-valued ones are researched.

### Acknowledgements

The paper is published with financial support by the project ITHEA XXI of the Institute of Information Theories and Applications FOI ITHEA Bulgaria [www.ithea.org](http://www.ithea.org), and the Association of Developers and Users of Intelligent Systems ADUIS Ukraine [www.aduis.com.ua](http://www.aduis.com.ua).

### Bibliography

- [Gorban, 2007] I.I. Gorban. Theory of hyper-random phenomena. Kiev: Naukova dumka. – 2007. – 181 p. – ISBN 978-966-02-4367-5. – [http://www.immsp.kiev.ua/perspages/gorban\\_i\\_i/index.html](http://www.immsp.kiev.ua/perspages/gorban_i_i/index.html) (In Russian).
- [Gorban, 2010] I.I. Gorban. Disturbance of statistical stability // Information Models of Knowledge. – 2010. – P. 398 – 410.

- [Gorban, 2011-1] I.I. Gorban. Theory of hyper-random phenomena: physical and mathematical basis. Kiev: Naukova dumka. – 2011. – 318 p. – ISBN 978-966-00-1093-2. – [http://www.immsp.kiev.ua/perspages/gorban\\_i\\_i/index.html](http://www.immsp.kiev.ua/perspages/gorban_i_i/index.html) (In Russian).
- [Gorban, 2011-2] I.I. Gorban. Particularities of the large numbers law in conditions of disturbances of statistical stability // Radioelectronics and Communications Systems. – Vol. 54, No. 7, 2011. – P. 373 – 383.
- [Gorban, 2011-3] I.I. Gorban. Disturbance of statistical stability (part II) // International Journal “Information Theories and Applications”. – Vol. 18, No 4, 2011. – P. 321 – 334.
- [Gorban, 2012-1] I.I. Gorban. Diverging sequences and functions // Mathematical Machines and Systems. – №1, 2012. – P. 106 – 118 (In Russian).
- [Gorban, 2012-2] I.I. Gorban. Statistically instable processes: connection with flicker, nonequilibrium, fractal and colored noise // Radioelectronics and Communications Systems. – Vol. 55, No. 3, 2012. – P. 99 – 114.
- [Gorban, 2012-3] I.I. Gorban. Multiple-valued sequences and functions // Mathematical Machines and Systems. – № 3, 2012. (In Russian).
- [Ильин, 1985] В.А. Ильин. Математический анализ / Ильин В.А., Садовничий В.А., Сендов Бл.Х. – М.: Изд-во московского университета. – 1985. – Т. 1. – 660 с.
- [Колмогоров, 1974] А.Н. Колмогоров. Основные понятия теории вероятностей. – М.: ОНТИ, 1936. – 175 с.; 1974. – 119с.
- [Корн, 1973] Г. Корн. Справочник по математике для научных работников и инженеров / Г. Корн, Т. Корн. – М.: Наука, 1973. – 832 с.
- [Фихтенгольц, 1958] Г.М. Фихтенгольц. Курс дифференциального и интегрального исчисления. – М.-Л.: Гос. изд-во физ.-мат. литературы, 1958. – Т. 1. – 607 с.
- [Харди, 1951] Г. Харди. Расходящиеся ряды. – М.: Изд-во иностранной литературы, 1951. – 504 с.

---

### Author's Information

---



**Igor Gorban** – Principal scientist of the Institute of Mathematical Machines and Systems Problem, National Academy of Sciences of Ukraine, Glushkov ave., 42, Kiev, 03187, Ukraine; e-mail: [igor.gorban@yahoo.com](mailto:igor.gorban@yahoo.com)

*Major Fields of Scientific Research: Mathematical statistics, Probability theory, Physical-mathematical theory of hyper-random phenomena, Space-time signal processing in complicated dynamic conditions, Fast multichannel space-time signal processing.*



## ITHEA® International Scientific Society

To extend the possibilities for international scientific collaboration in all directions of informatics by wide range of concrete activities, in 2002 year, the Institute for Information Theories and Applications FOI ITHEA® (IITA FOI ITHEA®) has been established as an international nongovernmental organization. IITA FOI ITHEA® is aimed to support international scientific research through international scientific projects, workshops, conferences, journals, book series, etc. The achieved results are remarkable. IITA FOI ITHEA® became world-wide known scientific organization. One of the main activities of the IITA FOI ITHEA® is building the ITHEA® International Scientific Society aimed to unite researches from all over the world who are working in the area of informatics.

Till the beginning of 2012 year, the **ITHEA® International Scientific Society** was joined by more than **2800** members from **48** countries all over the world: *Armenia, Azerbaijan, Belarus, Brazil, Belgium, Bulgaria, Canada, China, Czech Republic, Denmark, Egypt, Estonia, Finland, France, Germany, Greece, Hungary, India, Iran, Ireland, Israel, Italy, Japan, Jordan, Kyrgyz Republic, Latvia, Lithuania, Malaysia, Malta, Mexico, Moldova, Netherlands, Peru, Poland, Portugal, Romania, Russia, Scotland, Senegal, Serbia, Montenegro, Sweden, Spain, Sultanate of Oman, Turkey, UK, Ukraine, USA.*

ITHEA® Publishing House (**ITHEA® PH**) is the official publisher of the works of the ITHEA® ISS. The scope of the books of the ITHEA® ISS covers the area of Informatics and Computer Science. ITHEA® PH welcomes scientific papers and books connected with any information theory or its application.

ITHEA® ISS has two International Journals, established as independent scientific printed and electronic media, published by ITHEA® Publishing House:

- **International Journal “Information Theories and Applications” (IJ ITA)**, since 1993
- **International Journal “Information Technologies and Knowledge” (IJ ITK)** since 2007.

All journals and books of ITHEA® ISS are edited by the Institute of Information Theories and Applications FOI ITHEA in collaboration with the leading researchers from the: *Institute of Cybernetics “V.M.Glushkov”, NASU (Ukraine); Institute of Mathematics and Informatics, BAS (Bulgaria); University of Hasselt (Belgium); Natural Computing Group (NCG) of the Technical University of Madrid (Spain); Astrakhan State Technical University (Russia); Taras Shevchenko National University of Kiev (Ukraine); University of Calgary (Canada); VLSI Systems Centre, Ben-Gurion University (Israel).*

The great success of ITHEA® International Journals, Books and Conferences belongs to the whole of the ITHEA® International Scientific Society.

More information may be obtained from [www.ithea.org](http://www.ithea.org) .



Научное издание

Сборник статей

«ПРОБЛЕМЫ  
ИНТЕЛЛЕКТУАЛИЗАЦИИ  
КОМПЬЮТЕРА»

На русском и английском языках

Компьютерная верстка: В.Ю. Величко

Подп. в печать 03.09.2012. Формат 60x84/8. Бумага офс. Печать цифровая. Усл. печ. л. 43,71. Усл. краско-оттиск. 44,63. Уч.-изд. л. 47,0. Зак. 94. Тираж 60 экз.

Напечатано в авторской редакции с оригинал-макета заказчика на полиграфическом участке редакционно-издательского отдела Института кибернетики имени В.М. Глушкова НАН Украины 03680, ГСП, Киев-187, проспект Академика Глушкова,40

