



**I T H E A**

**International Journal**

**INFORMATION** TECHNOLOGIES  
&  
**KNOWLEDGE**



**2012 Volume 6 Number 2**

**International Journal  
INFORMATION TECHNOLOGIES & KNOWLEDGE**

**Volume 6 / 2012, Number 2**

Editor in chief: **Krassimir Markov** (Bulgaria)

**Victor Gladun** (Ukraine)

<b>Abdelmgeid Amin Ali</b>	(Egypt)	<b>Koen Vanhoof</b>	(Belgium)
<b>Adil Timofeev</b>	(Russia)	<b>Larissa Zaynutdinova</b>	(Russia)
<b>Aleksey Voloshin</b>	(Ukraine)	<b>Laura Ciocoiu</b>	(Romania)
<b>Alexander Kuzemin</b>	(Ukraine)	<b>Luis F. de Mingo</b>	(Spain)
<b>Alexander Lounev</b>	(Russia)	<b>Natalia Ivanova</b>	(Russia)
<b>Alexander Palagin</b>	(Ukraine)	<b>Nataliia Kussul</b>	(Ukraine)
<b>Alexey Petrovskiy</b>	(Russia)	<b>Nelly Maneva</b>	(Bulgaria)
<b>Alfredo Milani</b>	(Italy)	<b>Nikolay Lyutov</b>	(Bulgaria)
<b>Avram Eskenazi</b>	(Bulgaria)	<b>Orly Yadid-Pecht</b>	(Israel)
<b>Axel Lehmann</b>	(Germany)	<b>Radoslav Pavlov</b>	(Bulgaria)
<b>Darina Dicheva</b>	(USA)	<b>Rafael Yusupov</b>	(Russia)
<b>Ekaterina Solovyova</b>	(Ukraine)	<b>Rumyana Kirkova</b>	(Bulgaria)
<b>Eugene Nickolov</b>	(Bulgaria)	<b>Stefan Dodunekov</b>	(Bulgaria)
<b>George Totkov</b>	(Bulgaria)	<b>Stoyan Poryazov</b>	(Bulgaria)
<b>Hasmik Sahakyan</b>	(Armenia)	<b>Tatyana Gavrilova</b>	(Russia)
<b>Iliia Mitov</b>	(Bulgaria)	<b>Vadim Vagin</b>	(Russia)
<b>Irina Petrova</b>	(Russia)	<b>Vasil Sgurev</b>	(Bulgaria)
<b>Ivan Popchev</b>	(Bulgaria)	<b>Velina Slavova</b>	(Bulgaria)
<b>Jeanne Schreurs</b>	(Belgium)	<b>Vitaliy Lozovskiy</b>	(Ukraine)
<b>Juan Castellanos</b>	(Spain)	<b>Vladimir Ryazanov</b>	(Russia)
<b>Julita Vassileva</b>	(Canada)	<b>Martin P. Mintchev</b>	(Canada)
<b>Karola Witschurke</b>	(Germany)	<b>Zhili Sun</b>	(UK)

**International Journal "INFORMATION TECHNOLOGIES & KNOWLEDGE" (IJ ITK)  
is official publisher of the scientific papers of the members of  
the ITHEA International Scientific Society**

IJ ITK rules for preparing the manuscripts are compulsory.

The **rules for the papers** for IJ ITK as well as the **subscription fees** are given on [www.foibg.com](http://www.foibg.com).

Responsibility for papers published in IJ ITK belongs to authors.

General Sponsor of IJ ITK is the **Consortium FOI Bulgaria** ([www.foibg.com](http://www.foibg.com)).

**International Journal "INFORMATION TECHNOLOGIES & KNOWLEDGE" Vol.6, Number 2, 2012**

Edited by the **Institute of Information Theories and Applications FOI ITHEA**, Bulgaria, in collaboration with:  
Institute of Mathematics and Informatics, BAS, Bulgaria,  
V.M.Glushkov Institute of Cybernetics of NAS, Ukraine,  
Universidad Politécnic de Madrid, Spain.

**Printed in Bulgaria**

**Publisher ITHEA®**

Sofia, 1000, P.O.B. 775, Bulgaria. [www.ithea.org](http://www.ithea.org), [www.foibg.com](http://www.foibg.com), e-mail: [info@foibg.com](mailto:info@foibg.com)

Technical editor: **Ina Markova**

Издател: ИТЕА (Регистрирана запазена марка на ЕТ ФОИ-КОМЕРС, София, България)  
София 1000, ПК 775р България, [www.ithea.org](http://www.ithea.org), e-mail: [info@foibg.com](mailto:info@foibg.com)

**Copyright © 2012 All rights reserved for the publisher and all authors.**

© 2007-2012 "Information Technologies and Knowledge" is a trademark of Krassimir Markov

**ISSN 1313-0455 (printed)**

**ISSN 1313-048X (online)**

**ISSN 1313-0501 (CD/DVD)**

---

---

## КОМПЛЕКСНЫЙ АНАЛИЗ РИСКА БАНКРОТСТВА КОРПОРАЦИЙ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ

Михаил Згуровский, Юрий Зайченко

**Abstract:** *Different methods of enterprise bankruptcy risk analysis are considered in the paper. Discriminant analysis method of E.Altman and fuzzy method of Nedosekin are described. The method of bankruptcy risk forecasting based on application of fuzzy neural networks with Mamdani and Tsukamoto inference algorithms is suggested and considered. The experimental investigations of the considered methods of bankruptcy risk analysis for Ukrainian plants were carried out, their efficiency estimated and the most adequate method for Ukrainian economy was determined.*

**Keywords:** *bankruptcy risk analysis, fuzzy matrix method, fuzzy neural networks, Mamdani, Tsukamoto inference.*

**ACM Classification Keywords:** *G.1.0 Mathematics of Computing– General – Error analysis; G.1.6 Mathematics of Computing – NUMERICAL ANALYSIS – Optimization -; I.2.3 Computing Methodologies - ARTIFICIAL INTELLIGENCE - Uncertainty, “fuzzy”, and probabilistic reasoning; I.2.6 Computing Methodologies - ARTIFICIAL INTELLIGENCE – Learning - Connectionism and fuzzy neural nets.*

---

### Введение

Одной из актуальных проблем, связанных со стратегическим менеджментом и планированием является анализ финансового состояния и оценка риска банкротства предприятия (корпорации).

Своевременное выявление признаков возможного банкротства позволяет руководству принимать срочные меры по исправлению финансового состояния и снижению риска банкротства.

В течение многих лет *классические статистические методы* широко использовались для прогнозирования рисков банкротства. Эти модели также имеют название одномерных ('single-period') методов классификации, или статистических моделей. Они включают процедуру классификации, которая относит ту или другую компанию к группе потенциальных банкротов или к группе компаний с благоприятным финансовым положением с определенной мерой точности. Применяя эти модели, могут возникать два типа ошибок. *Ошибка первого типа* возникает тогда, когда фирма-банкрот классифицировалась как фирма с благоприятным финансовым положением. *Ошибка второго типа* возникает тогда, когда предприятие с нормальным финансовым состоянием классифицируется как потенциальный банкрот. Обе ошибки могут привести к серьезным последствиям и убыткам. Например, если кредитное учреждение откажет компаниям со «здоровой» финансовой ситуацией в предоставлении кредита в связи с допущением ошибки 2-го типа, то это может привести к потерям будущей прибыли этой компанией. Такую ошибку часто называют «*коммерческим риском*». И наоборот, если кредитное учреждение примет решение о предоставлении кредита компании, которая является потенциальным

банкротом (ошибка 1-го типа), то это может привести к потерям процентов по кредиту, значительной части ссудных средств, альтернативной стоимости, и др. Поэтому такую ошибку называют «кредитным риском».

В настоящее время существует несколько общепризнанных методов и методик оценки риска банкротства. Наиболее известной и широко применяемой является *методика профессора Альтмана* [1, 2]. Z- модель Альтмана представляет собой статистическую модель, которая на основе оценки показателей финансового состояния и платежеспособности компании позволяет оценить риска банкротства и разделить хозяйственные субъекты на потенциальных банкротов и не банкротов. Вместе с тем модель Альтмана имеет ряд недостатков, и ее применение для экономики Украины сопряжено с определенными трудностями. Поэтому в последние годы разрабатываются альтернативные подходы и методы, учитывающие специфику анализа и принятия решений в условиях неопределенности. К их числу относятся аппарат нечетких множеств и нечеткие нейронные сети.

Целью настоящей работы является рассмотрение и сравнительный анализ эффективности применения различных методов анализа риска банкротства предприятий применительно к экономике Украины.

---

### **Модели оценки риска банкротства на основе многомерного дискриминантного анализа**

---

К числу наиболее известных и распространенных моделей оценки риска банкротства относится модель профессора Е. Альтмана [3,4]. Модель Альтмана построена с использованием аппарата мультипликативного дискриминантного анализа (МДА), который позволяет подобрать такие показатели, дисперсия которых между группами была бы максимальной, а внутри группы минимальной. В данном случае классификация проводилась по двум группам компаний одни из которых позднее обанкротились, а другие, наоборот, смогли выстоять и упрочить свое финансовое положение.

В результате МДА была построена модель Альтмана (Z-счет), имеющая следующий вид [3]:

$$Z=1.2 K_1 + 1.4 K_2 + 3.3 K_3 + 0.6 K_4 + 1.0 K_5 \quad (1)$$

где  $K_1$  = собственный оборотный капитал/ сумма активов;

$K_2$ = нераспределенная прибыль/ сумма активов;

$K_3$ = прибыль до уплаты процентов/ сумма активов;

$K_4$ = рыночная стоимость собственного капитала/ стоимость заемного капитала;

$K_5$ = объем продаж/ сумма активов.

В результате подсчета Z – показателя для конкретного предприятия делается заключение :

если  $Z < 1,81$  – очень высокая вероятность банкротства;

если  $1,81 \leq Z \leq 2,7$  – высокая вероятность банкротства;

если  $2,7 \leq Z \leq 2,99$  –возможно банкротство;

если  $Z \geq 3,0$  – вероятность банкротства крайне мала.

Модель Альтмана дает достаточно точный прогноз вероятности банкротства с временным интервалом 1 – 2 года.

В результате проведения дискриминантного анализа по группе предприятий, которые заявили о своем банкротстве, по финансовым показателям, взятым за год до дефолта, был верно смоделирован этот факт в 31 случае из 33 (94,5%), и в 2 – сделана ошибка (6%). По второй группе предприятий, которые не

обанкротились, модель ошибочно спрогнозировала банкротство только в 1 случае (3%), а в оставшихся 32 (97%) была допущена очень низкая вероятность банкротства, что и подтвердилось фактически. Соответствующие результаты приведены в таблице 1.

**Таблица 1. Результаты прогноза по модели Альтмана за год до банкротства.**

Группа	Количество компаний	Прогноз: принадлежность к 1 группе	Прогноз: принадлежность к 2 группе
Группа 1 (обанкротившиеся компании)	33	31(94,0%)	2 (6,0%)
Группа 2 (компании, не обанкротились)	33	1(3,0%)	32(97,0%)

Аналогичные расчеты были проведены на основе финансовых показателей за два года до банкротства. Как видно таблицы 2, результаты оказались размытыми, особенно по группе предприятий, которые заявили о своем дефолте, тогда как по группе 2 достоверность расчетов осталась приблизительно на том же уровне. Общая точность классификации по модели Альтмана составляет 95 % за год и 82% за два года до банкротства.

**Таблица 2. Результаты прогноза по модели Альтмана (за два года до банкротства).**

Группа	Количество компаний	Прогноз: принадлежность к 1 группе	Прогноз: принадлежность к 2 группе
Группа 1 (обанкротившиеся компании)	33	23(72,0%)	9 (28,0%)
Группа 2 (компании, которые не обанкротились)	33	2(6,0%)	31(94,0%)

Учитывая то, что вышеприведенный z-счет пригодный лишь для больших предприятий, акции которых котируются на бирже, в 1985 году Е. Альтман предложил новую модель, которая позволяет исправить данный недостаток. Ниже приведена формула для определения вероятности прогнозирования банкротства для предприятий, акции которых не представлены на бирже [4]:

$$Z = 0.717K_1 + 0.847K_2 + 3.107K_3 + 0.42K_4 + 0.995K_5 \quad (2)$$

где  $K_4$  - балансовая стоимость собственного капитала по отношению к одолженному капиталу.

При  $Z < 1.23$  риск банкротства очень большой. Подход Альтмана был многократно использован самим Альтманом и его последователями во многих странах (Великобритания, Франция, Бразилия, Китай, но др.).

Подход Альтмана на основе многомерного дискриминантного анализа далее был развит другими исследователями. К числу известных моделей прогнозирования риска банкротства относятся такие модели:

а) модель Лиса [2]:

$$Z = 0.063K_1 + 0.092K_2 + 0.057K_3 + 0.001K_4 \quad (3)$$

де  $K_1$  - оборотный капитал/сумма активов;

$K_2$  - прибыль от реализации/сумма активов;

$K_3$  - нераспределенная прибыль/ сумма активов;

$K_4$  - рыночная стоимость собственного капитала/заемный капитал;

При  $Z < 0,037$  – высока вероятность банкротства.

б) модель Спрингейта

$$Z = 1.3A + 3.07B + 0.66C + 0.4D \quad (4)$$

где А- оборотный капитал/ общая стоимость активов;

В- прибыль до уплаты налогов/ общая стоимость активов;

С- прибыль до уплаты налогов / краткосрочные обязательства;

Д- объем продаж/ общая стоимость активов.

Если значение  $Z$  меньше, чем 0,862, то предприятие является потенциальным банкротом с вероятностью 92%.

Если  $Z < 0$ , то предприятие классифицируется как банкрот.

В последние годы были выполнены исследования по применению модели

Альтмана для стран СНГ с переходной экономикой. При этом коэффициенты модели должны были быть скорректированы с учетом специфики данного типа экономики. К числу наиболее успешных моделей относится модель Давыдовой-Беликова, разработанная для экономики России [5].

Модель Давыдовой –Беликова имеет вид:

$$R = 8.38K_1 + K_2 + 0.054K_3 + 0.63K_4 \quad (5)$$

где  $K_1$  -отношение оборотного капитала к сумме всех активов;

$K_2$  - отношение чистой прибыли к сумме собственного капитала;

$K_3$  -отношение объема продаж (выручки от реализации) к сумме активов (коэффициент оборачиваемости) ;

$K_4$  -отношение чистой прибыли к себестоимости.

При  $R < 0$ - вероятность банкротства максимальна (90-100 %);  $0 < R < 0,18$  - вероятность банкротства высока (60-80 %);  $0,18 < R < 0,32$  вероятность банкротства средняя (35-50 %);  $0,32 < R < 0,42$ - вероятность банкротства низкая (15-20 %);  $R < 0,42$  - вероятность банкротства минимальна.

---

Заметим, что MDA базируется на следующих ограничениях [2,3]:

- независимые переменные, включенные в модель, нормально распределены;
- матрицы дисперсий и ковариаций группы успешных компаний и банкротов равны;
- стоимость неправильной классификации и априорная вероятность неудачи определены.

На практике данные очень редко удовлетворяют всем трем выше названным предположениям, потому часто применение MDA происходит неадекватным образом и правильность результатов, полученных после его применения, стоит под вопросом

Слабая сторона модели Альтмана состоит в том, что модель является чисто эмпирической, подогнанной по выборке, и не имеет под собой самостоятельной теоретической базы. Кроме того, приведенные коэффициенты должны определяться для различных отраслей промышленности и будут естественно, различаться.

В экономике Украины модель Альтмана пока не получила широкого применения по следующим причинам:

- 1) требуется вычисление соответствующих коэффициентов при показателях  $K_i$ ,  $i=1,5$ , которые, естественно, отличаются от их значений для зарубежных стран;
- 2) информация о финансовом состоянии анализируемых предприятий, как правило, недостоверна, руководство ряда предприятий «сознательно» подправляет свои показатели в финансовых отчетах, что делает невозможным найти достоверные оценки коэффициентов в Z- модели.

Поэтому задача оценки вероятности риска банкротства должна решаться в условиях неопределенности, неполноты исходной информации, и для ее решения предлагается использовать адекватный аппарат принятия решений – нечеткие множества и нечеткие нейронные сети (ННС).

---

### **Оценка риска банкротства на основе нечетко-множественного метода**

---

Рассмотрим матричный метод прогнозирования банкротства корпораций на основе аппарата нечетких множеств, предложенный О.А. Недосекиным [2, 6].

1. Эксперт строит лингвистическую переменную со своим терм-множеством значений. Например, «Уровень менеджмента» может иметь следующее терм-множество значений «Очень низкий, Низкий, Средний, Высокий, Очень высокий».
2. Для того, чтобы конструктивно описать лингвистическую переменную, эксперт выбирает соответствующий количественный признак – например, сконструированный специальным образом показатель уровня менеджмента, который принимает значения от нуля до единицы.
3. Далее эксперт каждому значению лингвистической переменной которая по построению является нечетким подмножеством значений интервала  $[0,1]$ , ставит в соответствие функцию принадлежности того или иного нечеткого множества. Как правило, это трапециевидальная функция принадлежности. Верхнее основание трапеции соответствует полной уверенности эксперта в правильности классификации, а нижнее – уверенности в том, что никакие иные значения интервала  $[0,1]$  не попадают в выбранное нечеткое множество. (см. рис.1.)

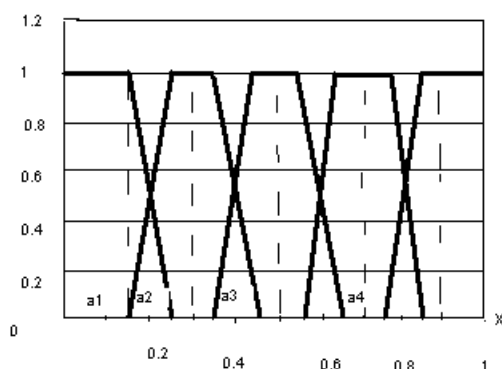


Рис.1. Трапецидальная функция принадлежности

На этом описание лингвистических переменных заканчивается.

Нечетко-множественный метод, известный также, как **матричный метод**, состоит из следующих этапов

#### Этап 1 (Лингвистические переменные и нечеткие множества)

а. Лингвистическая переменная **Е** «Состояние предприятия» 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".

б. Соответствующая переменной **Е** лингвистическая переменная **Г** «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 очень низкий".

**Носитель** множества **Г** – показатель степени риска банкротства  $g$  – принимает значения от нуля до единицы по определению.

в. Для отдельного финансового показателя или показателя управления  $X_i$  задаем лингвистическую переменную **В<sub>i</sub>** «уровень показателя  $X_i$ » на следующем терм-множестве значений:

$V_{i1}$  - подмножество "очень низкий уровень показателя  $X_i$ ",

$V_{i2}$  - подмножество "низкий уровень показателя  $X_i$ ",

$V_{i3}$  - подмножество "средний уровень показателя  $X_i$ ",

$V_{i4}$  - подмножество "высокий уровень показателя  $X_i$ ",

$V_{i5}$  - подмножество "очень высокий уровень показателя  $X_i$ ".



**Этап 2 (Показатели).** Построим набор отдельных показателей  $X=\{X_i\}$  общим числом  $N$ , которые по мнению эксперта, с одной стороны влияют на оценку риска банкротства предприятия, а с другой стороны, оценивают разные по природе стороны деловой и финансовой жизни предприятия. Например, в матричном методе используются такие показатели [6]

- $X_1$  – коэффициент автономии (отношение собственного капитала к валюте баланса);
- $X_2$  – коэффициент обеспечения оборотных активов собственными средствами (отношение чистого оборотного капитала к оборотным активам);
- $X_3$  – коэффициент промежуточной ликвидности (отношение суммы денежных средств и дебиторской задолженности к краткосрочным пассивам);
- $X_4$  – коэффициент абсолютной ликвидности (отношение суммы денежных средств к краткосрочным пассивам);
- $X_5$  – оборачиваемость всех активов за год (отношение выручки от реализации к средней выручке за период стоимости активов);
- $X_6$  – рентабельность всего капитала (отношение чистой прибыли к средней за период стоимости активов).

**Этап 3 (Значимость показателей).** Поставим в соответствие каждому показателю  $X_i$  уровень его значимости  $r_i$ . Для того, чтобы оценить этот уровень, необходимо поставить все показатели по порядку уменьшения их значимости так, чтобы выполнялось соотношение:

$$r_1 \geq r_2 \geq \dots r_N$$

Если система показателей проранжирована в порядке уменьшения их значимости, то вес  $i$ -го показателя  $r_i$  необходимо определять по правилу Фишберна:

$$r_i = \frac{2(N-i+1)}{(N+1)N} \quad (6)$$

Если все показатели имеют одинаковый вес, то  $r_i = 1/N$ .

**Этап 4 (Классификация степени риска).** Построим классификацию текущего значения  $g$  показателя степени риска как критерий разбиения этого множества на нечеткие подмножества (таблица 3.):

Таблица 3. Классификация степени риска

Интервал значений $g$	Классификация уровня параметра	Степень оценочной уверенности (функция принадлежности)
$0 \leq g \leq 0.15$	$G_5$	1
$0.15 < g < 0.25$	$G_5$	$\mu_5 = 10 \times (0.25 - g)$
	$G_4$	$1 - \mu_5 = \mu_4$
$0.25 \leq g \leq 0.35$	$G_4$	1
$0.35 < g < 0.45$	$G_4$	$\mu_4 = 10 \times (0.45 - g)$
	$G_3$	$1 - \mu_4 = \mu_3$
$0.45 \leq g \leq 0.55$	$G_3$	1
$0.55 < g < 0.65$	$G_3$	$\mu_3 = 10 \times (0.65 - g)$
	$G_2$	$1 - \mu_3 = \mu_2$
$0.65 \leq g \leq 0.75$	$G_2$	1
$0.75 < g < 0.85$	$G_2$	$\mu_2 = 10 \times (0.85 - g)$
	$G_1$	$1 - \mu_2 = \mu_1$
$0.85 \leq g \leq 1.0$	$G_1$	1

**Этап 5 (Классификация значений показателей).** Построим классификацию текущих значений показателей  $X$  как критерий разбиения полного множества их значений на нечеткие подмножества вида  $B$ . Один из примеров такой классификации приведен ниже в таблице 4. В клетках таблицы стоят трапецеидальные нечеткие числа, которые характеризуют соответствующие функции принадлежности

Таблица 4. Классификация отдельных финансовых показателей

Показатель	Т-числа $\{y\}$ для значений лингвистической переменной «Величина параметра»:				
	«очень низкий»	«низкий»	«средний»	«высокий»	«очень высокий»
$X_1$	(0,0,0.1,0.2)	(0.1,0.2,0.25,0.3)	(0.25,0.3,0.45,0.5)	(0.45,0.5,0.6,0.7)	(0.6,0.7,1,1)
$X_2$	(-1,-1,-0.005,0)	(-0.005,0,0.09,0.11)	(0.09,0.11,0.3,0.35)	(0.3,0.35,0.45,0.5)	(0.45,0.5,1,1)
$X_3$	(0,0,0.5,0.6)	(0.5,0.6,0.7,0.8)	(0.7,0.8,0.9,1)	(0.9,1,1.3,1.5)	(1.3,1.5, $\infty$ , $\infty$ )
$X_4$	(0,0,0.02,0.03)	(0.02,0.03,0.08,0.1)	(0.08,0.1,0.3,0.35)	(0.3,0.35,0.5,0.6)	(0.5,0.6, $\infty$ , $\infty$ )
$X_5$	(0,0,0.12,0.14)	(0.12,0.14,0.18,0.2)	(0.18,0.2,0.3,0.4)	(0.3,0.4,0.5,0.8)	(0.5,0.8, $\infty$ , $\infty$ )
$X_6$	( $-\infty$ , $-\infty$ ,0,0)	(0,0,0.006,0.01)	(0.006,0.01,0.06,.1)	(0.06,0.1,0.225,.4)	(0.225,0.4, $\infty$ , $\infty$ )

**Этап 6 (Оценка уровня показателей).** Проведем оценку текущего уровня показателей и сведем полученные результаты в таблицу 5.

Таблица 5. Текущий уровень показателей

Показатель	Текущее значение
$X_1$	$X_1$
...	...
$X_i$	$X_i$
...	...
$X_N$	$X_N$

**Этап 7 (Классификация уровня показателей).** Проведем классификацию текущих значений  $x$  по критерию таблицы, построенной на этапе 5. Результатом проведенной классификации есть таблица значений  $\lambda_{ij}$  – уровней принадлежности носителя  $x_i$  нечетким подмножествам  $B_j$ .

**Этап 8 (Оценка степени риска).** Выполним вычислительные операции для оценки степени риска банкротства  $g$ :

$$g = \sum_{j=1}^5 g_j \sum_{i=1}^N r_i \lambda_{ij} \quad (7)$$

где 
$$g_j = 0.9 - 0.2 * (j-1) \quad (8)$$

Смысл применения формул (7) и (8) состоит в следующем. Сначала мы оцениваем вес того или иного подмножества из  $B$  в оценке состояния корпорации  $E$  и в оценке степени риска  $G$ . Эти веса далее принимают участие во внешней сумме для определения среднего значения показателя  $g$ , где  $g_j$  есть не что иное как средняя оценка  $g$  из соответствующего диапазона таблицы 3 этапа 4.

**Этап 9 (Лингвистическое распознавание).** Классифицируем полученное значение степени риска на базе данных таблицы 4. Результатом классификации являются лингвистическое описание степени риска банкротства и степени уверенности эксперта в правильности его классификации.

Основные достоинства нечетко-множественного матричного метода состоят в следующем:

- 1) возможность использования, кроме количественных, и качественных факторов;
- 2) учет неточной, приблизительной информации о значениях факторов.

### **Анализ состояния предприятия «ЭК Одесса Облэнерго» на основе подхода Альтмана**

Рассмотрим ОАО «ЭНЕРГОСНАБЖАЮЩАЯ КОМПАНИЯ» Одессаоблэнерго», которое существует и функционирует в Украине. Анализ будем проводить по два отчетных года 2009 и 2010 на основе финансовых показателей. Для анализа предприятия будем пользоваться формулой (1).

Для этого определим значения переменных:

- $X_1$  - оборотный капитал / сумма активов;
- $X_2$  - нераспределенная прибыль / сумма активов;
- $X_3$  - операционная прибыль / сумма активов;
- $X_4$  - балансовая стоимость капитала / заимствованный капитал ;
- $X_5$  - отношение выручки / сумма активов.
- $X_6$  - рентабельность всего капитала.

#### **Этап 3 (Значимость).**

Соответствующие результаты приведены в таблице 6

Таблица 6. Результаты вычислений

Название показателя	Текущее значение 2009г.	Текущее значение 2010г.
$X_1$	-0,09555	0,028968
$X_2$	-0,1534	-0,1355
$X_3$	0,12773	0,103273
$X_4$	0,097544	0,098317
$X_5$	0,070147	0,097018
$Z_{2009(2010)}$	<b>3,8809</b>	<b>3,2525</b>

$$Z_{2009}=3,8809; \quad Z_{2010}=3,2525.$$

Сравним полученные значения  $Z_{2009}$  и  $Z_{2010}$  с критерием Альтмана:

если  $Z > 2,89$  низкая степень банкротства.

Как мы видим, полученные значения свертки по Альтману для обоих лет указывают на то, что предприятие является финансово стабильным.

### **Анализ состояния предприятия ОАО «ЭК Одесса Облэнерго» на основе нечетко-множественного метода**

Рассмотрим ОАО «ЭНЕРГОСНАБЖАЮЩАЯ КОМПАНИЯ Одессаоблэнерго», анализ которой проделан выше с использованием модели Альтмана и применим матричный нечетко-множественный метод..

#### **Этап 1 (Лингвистические переменные и нечеткие подмножества).**

Определяем множества  $E, G, B$ . Обозначим Лингвистической переменной  $E$  «Состояние предприятия».

Далее определяем лингвистическую переменную  $G$  «Риск банкротства», которая соответствует переменной  $E$ , и также имеет пять значений.

Для произвольного финансового или управленческого показателя  $X_i$  задаем лингвистическую переменную  $V_i$  - «Уровень показателя  $X_i$ » на следующем множестве значений: "очень низкий уровень показателя  $X_i$ "; «низкий уровень показателя  $X_i$ »; "средний уровень показателя  $X_i$ "; "высокий уровень показателя  $X_i$ "; "очень высокий уровень показателя  $X_i$ ".

**Этап 2 (Показатели)** Строим набор отдельных показателей  $X = \{X_i\}$  общим количеством  $N$ , которые по усмотрению эксперта-аналитика влияют на оценку риска банкротства предприятий и оценивают различные по природе аспекты деловой и финансовой жизни предприятия, причем показатели не должны дублировать друг друга с точки зрения их значимости для анализа.

Выберем систему из тех же самых шести следующих показателей:

- $X_1$  - коэффициент автономии;
- $X_2$  - коэффициент обеспеченности оборотных активов собственными средствами;
- $X_3$  - коэффициент промежуточной ликвидности;
- $X_4$  - коэффициент абсолютной ликвидности;
- $X_5$  - коэффициент оборачиваемости активов;
- $X_6$  - рентабельность всего капитала.

### Этап 3 (Значимость).

Сопоставим каждому показателю  $X_i$  уровень его значимости для анализа  $r_i$ .

В нашем случае все показатели равнозначны, следовательно  $r_i = 1 / 6$ .

### Этап 4 (Классификация степени риска).

Построим классификацию текущего значения  $g$  - показателя степени риска как критерий разбиения этого множества на нечеткие подмножества (используя таблицу 3.)

### Этап 5 (Классификация значений показателей).

Построим классификацию текущих значений  $x$  показателей  $X$ , как критерий разбиения полного множества их значений на нечеткие подмножества вида  $B$ . При разбиении будем пользоваться трапециевидными числами, характеризующими соответствующие функции принадлежности. Для анализа финансовых показателей воспользуемся шкалой классификации финансовых показателей (таблица 4).

### Этап 6 (Вычисление уровня показателей).

Вычисляем текущие уровни показателей  $X$  для данного предприятия, и для удобства анализа сводим в таблицу (таблица 7).

Таблица 7. Текущий уровень показателя

Название показателя	Текущее значение 2009 г.	Текущее значение 2010 г.
$X_1$	0,0889	0,0895
$X_2$	-0,5351	0,1149
$X_3$	0,5825	0,9376
$X_4$	0,1554	0,5420
$X_5$	1,0754	0,8946
$X_6$	0,00001	0,0017

**Этап 7 (Классификация уровня показателей).** Проводим классификацию текущих значений показателей  $x_i$  из таблицы (7) используя критерии, приведенные в таблице (4). Результаты полученной классификации будем заносить в таблицу (таблица 8), где  $\lambda_{ij}$  - уровень принадлежности носителей  $x_i$  нечеткому множеству  $V_i$ .

Таблица 8. Уровни принадлежности носителей нечетких подмножеств

Название показателя	Результат классификации по подмножествам 2007г.				
	$V_{i1}$	$V_{i2}$	$V_{i3}$	$V_{i4}$	$V_{i5}$
	«очень низкий»	«низкий»	«средний»	«высокий»	«очень высокий»
	$\lambda_{i1}$	$\lambda_{i2}$	$\lambda_{i3}$	$\lambda_{i4}$	$\lambda_{i5}$
$X_1$	1	0	0	0	0
$X_2$	1	0	0	0	0
$X_3$	0,175	0,825	1	0	0
$X_4$	0	0	1	0	0
$X_5$	0	0	0	0	1
$X_6$	0	1	0	0	0
$\sum \Gamma_i \lambda_{ij}$	0,3625	0,304167	0,33333	0	0,16667

Название показателя	Результат классификации по подмножествам 2008г				
	$V_{i1}$	$V_{i2}$	$V_{i3}$	$V_{i4}$	$V_{i5}$
	«очень низкий»	«низкий»	«средний»	«высокий»	«очень высокий»
	$\lambda_{i1}$	$\lambda_{i2}$	$\lambda_{i3}$	$\lambda_{i4}$	$\lambda_{i5}$
$X_1$	1	0	0	0	0
$X_2$	1	0	0	0	0
$X_3$	0	1	0,624	0,346	0
$X_4$	0	0	1	0,58	0,42
$X_5$	0	0	0	0	1
$X_6$	0	1	0	0	0
$\sum \Gamma_i \lambda_{ij}$	0,33333	0,33333	0,27067	0,159333	0,236667

Значение  $X_3 = 0,5825$  попадает в интервал (0,5; 0,6), причем как мы видим это интервал неуверенности эксперта, поэтому нам необходимо определить принадлежность вычисленного значения до «очень низкого» и «низкого» уровней. Для этого трапециевидные числа необходимо записать в аналитическом виде, и выполнить вычисления.

**Этап 8 (Оценка степени риска).** Теперь необходимо выполнить свертку полученных уровней принадлежности показателей, для оценки степени риска банкротства  $g$  по формулам (7), (8). Вычислим  $g_j$  для нашего примера:

Таблица 9.

	1	2	3	4	5
$g_j$	0,9	0,7	0,5	0,3	0,1

Вычислим  $g$  для каждого года:  $g_{2009}=0,639181$ ;  $g_{2010}=0,473567$ ;

Мы видим, что в течение года произошли улучшения финансового состояния предприятия, хотя и не значительные. Можно сделать предварительный вывод, что предприятие начинает выходить из кризисного состояния.

**Этап 9 (Лингвистическое распознавания).** Классифицируем полученное значение степени риска с помощью таблицы (4). Результатом классификации является лингвистическое описание степени риска банкротства и дополнительно степень уверенности эксперта в правильности результатов его классификации.

Как мы видим, наше значение  $g_{2009} = 0,639181$  попадает в интервал, который указывает на «Высокий» или «Средний» уровень риска банкротства. А значение  $g_{2010} = 0,473567$  попадает в интервал, который указывает, что уровень банкротства может быть «Средний».

### **Анализ состояния предприятия ОАО «ЭК Одесса Облэнерго» на основе метода Мамдани**

Определим уровень банкротства на предприятии ОАО «ЭНЕРГОСНАБЖАЮЩАЯ КОМПАНИЯ Одессаоблэнерго» с помощью нечеткого вывода Мамдани [1,2].

Этап 1 (Лингвистические переменные и нечеткие подмножества).

Аналогично нечетко-множественному подходу определяем множества E, G, B.

Этап 2 (Показатели) Строим набор отдельных показателей  $X = \{X_i\}$  общим количеством N, которые по усмотрению эксперта-аналитика влияют на оценку риска банкротства предприятий и оценивают различные по природе аспекты делового и финансового жизни предприятия. Выберем систему из шести показателей тех самых, что и для нечетко-множественного подхода

Этап 3 (Формирование базы правил системы нечеткого вывода).

Базу правил формируют специалист по предметной области в виде совокупности нечетких предикатных правил вида:

$P_1$  : если  $x \in A_1$  и  $y \in B_1$ , то  $z \in C_1$ ;

$P_2$  : если  $x \in A_2$  и  $y \in B_2$ , то  $z \in C_2$ .

Введем следующие лингвистические переменные для реализации алгоритмов нечеткого вывода Мамдани и Цукамото.

X1: (Очень Низкий, Низкий, Средний, Высокий, Очень Высокий);

X2: (Очень Низкий, Низкий, Средний, Высокий, Очень Высокий);

X3: (Очень Низкий, Низкий, Средний, Высокий, Очень Высокий);

X4: (Очень Низкий, Низкий, Средний, Высокий, Очень Высокий);

X5: (Очень Низкий, Низкий, Средний, Высокий, Очень Высокий);

X6: (Очень Низкий, Низкий, Средний, Высокий, Очень Высокий);

Уровни банкротства: (Очень Низкий, Низкий, Средний, Высокий, Очень Высокий).

Для упрощения записи введем следующие сокращения:

Очень Низкий – (ОН), Низкий – (Н), Средний – (Ср), Высокий – (В), Очень Высокий – (ОВ).

Тогда мы можем записать следующие правила, с учетом всех возможных комбинаций :

Если  $X_1$  «ОН» и  $X_2$  «ОН» и  $X_3$  «ОН» и  $X_4$  «ОН» и  $X_5$  «ОН» и  $X_6$  «ОН» то риск банкротства «ОВ»;

Если  $X_1$  «Н» и  $X_2$  «ОН» и  $X_3$  «ОН» и  $X_4$  «ОН» и  $X_5$  «ОН» и  $X_6$  «ОН» то риск банкротства «ОВ»;

Если  $X_1$  «Ср» и  $X_2$  «Н» и  $X_3$  «ОН» и  $X_4$  «ОН» и  $X_5$  «ОН» и  $X_6$  «ОН» то риск банкротства «ОВ»;

Если  $X_1$  «Ср» и  $X_2$  «Ср» и  $X_3$  «Н» и  $X_4$  «ОН» и  $X_5$  «ОН» и  $X_6$  «ОН» то риск банкротства «ОВ»;

Если  $X_1$  «Ср» и  $X_2$  «Ср» и  $X_3$  «Ср» и  $X_4$  «Н» и  $X_5$  «ОН» и  $X_6$  «ОН» то риск банкротства «В»;

Если  $X_1$  «В» и  $X_2$  «Ср» и  $X_3$  «Н» и  $X_4$  «ОН» и  $X_5$  «Н» и  $X_6$  «ОН» то риск банкротства «Н»;

...

Если  $X_1$  «В» и  $X_2$  «В» и  $X_3$  «В» и  $X_4$  «Ср» и  $X_5$  «Ср» и  $X_6$  «В» то риск банкротства «Ср»;

Если  $X_1$  «ОВ» и  $X_2$  «ОВ» и  $X_3$  «В» и  $X_4$  «ОВ» и  $X_5$  «В» и  $X_6$  «ОВ» то риск банкротства «Н»;

Если  $X_1$  «ОВ» и  $X_2$  «ОВ» и  $X_3$  «ОВ» и  $X_4$  «ОВ» и  $X_5$  «ОВ» и  $X_6$  «ОВ», то риск банкротства «ОН».

Общее число правил очень велико, если учитывать все возможные варианты перестановок значений.

Для облегчения восприятия и сокращения записи правил введем баллы для лингвистических значений.

ОН=5; Н=4; Ср=3; В=2; ОВ=1.

Вычислим предельные показатели уровня банкротства, воспользовавшись следующими граничными правилами: Если  $X_1$  «ОН» и  $X_2$  «ОН» и  $X_3$  «ОН» и  $X_4$  «ОН» и  $X_5$  «ОН» и  $X_6$  «ОН» то БАЛЛ=30;

Если  $X_1$  «Н» и  $X_2$  «Н» и  $X_3$  «Н» и  $X_4$  «Н» и  $X_5$  «Н» и  $X_6$  «Н» то БАЛЛ=24;

Если  $X_1$  «Ср» и  $X_2$  «Ср» и  $X_3$  «Ср» и  $X_4$  «Ср» и  $X_5$  «Ср» и  $X_6$  «Ср» то БАЛЛ=18;

Если  $X_1$  «В» и  $X_2$  «В» и  $X_3$  «В» и  $X_4$  «В» и  $X_5$  «В» и  $X_6$  «В» то БАЛЛ=12;

Если  $X_1$  «ОВ» и  $X_2$  «ОВ» и  $X_3$  «ОВ» и  $X_4$  «ОВ» и  $X_5$  «ОВ» и  $X_6$  «ОВ» то БАЛЛ=6;

Тогда новые правила для оценки риска банкротства запишутся таким образом:

Если БАЛЛ > 24, то уровень банкротства ОВ;

Если БАЛЛ ≤ 24 и БАЛЛ > 18, то уровень банкротства В;

Если БАЛЛ ≤ 18 и БАЛЛ > 12, то уровень банкротства Ср;

Если БАЛЛ ≤ 12 и БАЛЛ > 6, то уровень банкротства Н;

Если БАЛЛ = 6, то уровень банкротства ОН.

Такой подход позволяет охватить все множество правил.

Этап 4 (Фаззификация входных параметров).

Проводим фаззификацию входных параметров, или описание каждого из терм-множеств (лингвистических переменных) с помощью функций принадлежности. И находим степени истинности для каждого значения в правилах:  $A_1(x_0)$ ,  $A_2(x_0)$ ,  $B_1(y_0)$ ,  $B_2(y_0)$ .

В качестве функций принадлежности будем использовать треугольные функции. Для большей наглядности функций принадлежности представим их графически, рис.2.–8. и укажем на них соответствующие фактические значения показателей.

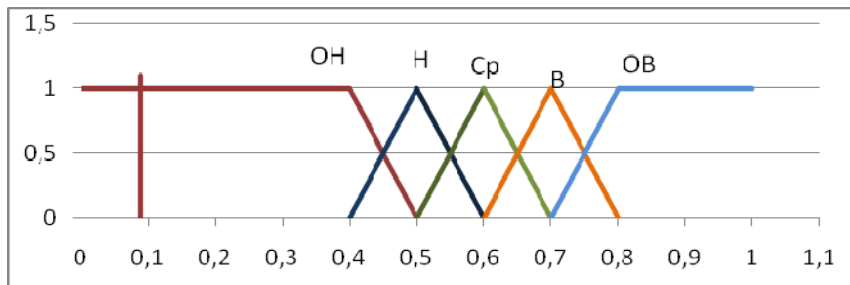


Рис. 2. Функция принадлежности  $\mu_1$  параметра X1

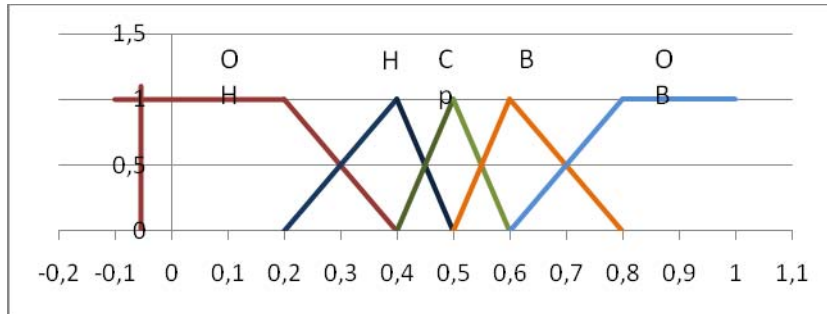


Рис. 3. Функция принадлежности  $\mu_2$  параметра X2

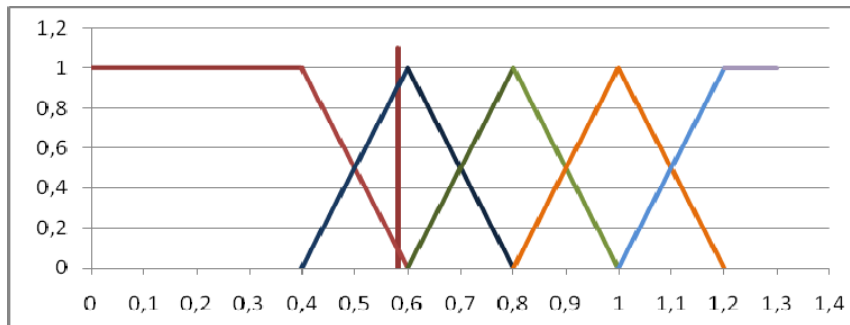


Рис. 4. Функция принадлежности  $\mu_3$  параметра X3

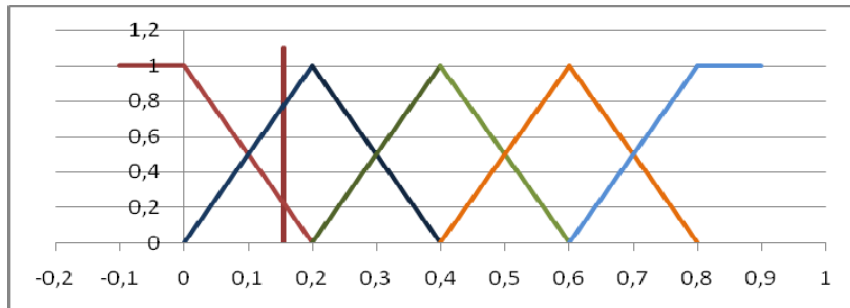


Рис. 5. Функция принадлежности  $\mu_4$  параметра X4

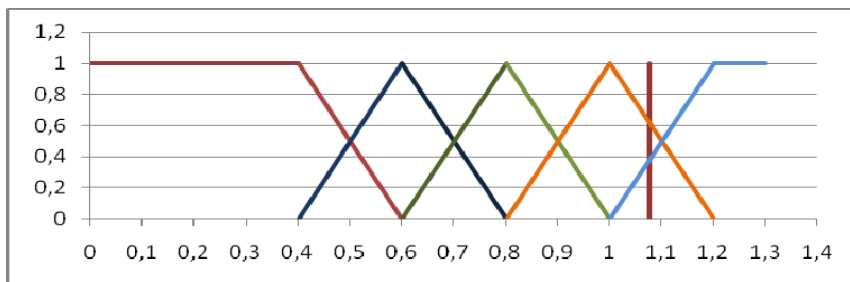


Рис. 6. Функция принадлежности  $\mu_5$  параметра X5



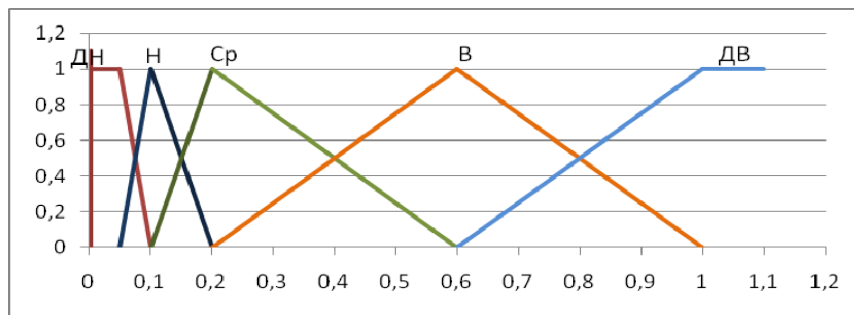


Рис. 7. Функция принадлежности  $\mu_6$  параметра X6

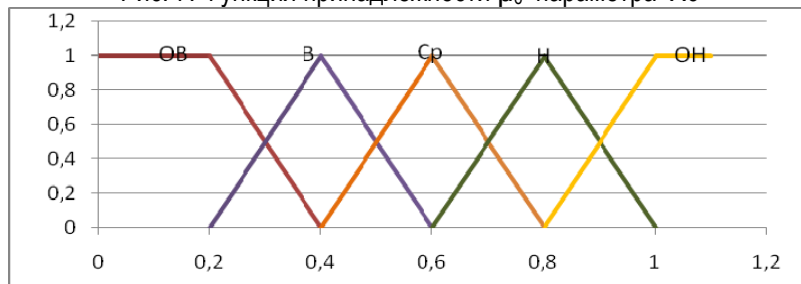


Рис. 8. Функция принадлежности уровней банкротства

**Этап 5 (Логический вывод).** Находим уровни «отсечения» для предпосылок каждого из правил с использованием операции  $\min$ :

$$\alpha_1 = A_{11}(x_{10}) \wedge A_{21}(x_{20}) \wedge A_{31}(x_{30}) \wedge A_{41}(x_{40}) \wedge A_{51}(x_{50}) \wedge A_{61}(x_{60});$$

$$\alpha_i = A_{1i}(x_{10}) \wedge A_{2i}(x_{20}) \wedge A_{3i}(x_{30}) \wedge A_{4i}(x_{40}) \wedge A_{5i}(x_{50}) \wedge A_{6i}(x_{60}).$$

А также находим «усеченные» функции принадлежности:

$$C_1' = (\alpha_1 \wedge C_1(z));$$

$$C_i' = (\alpha_i \wedge C_i(z)).$$

Для большей наглядности покажем это на рис. 9. – 11:

Правило первое:

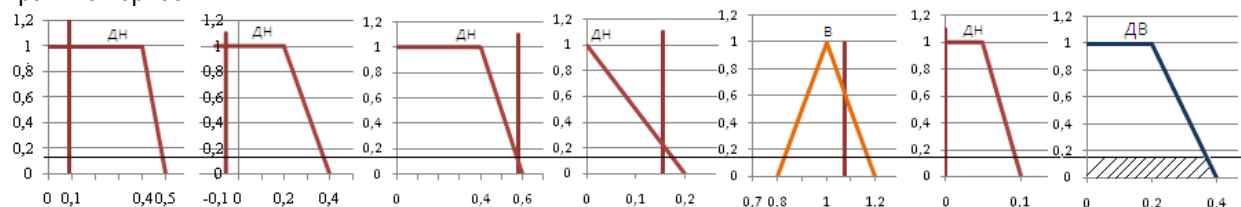


Рис. 9. Первое правило

Согласно нашим правилам мы проводим ранжирование для каждого входного значения  $X_i$  :  
 $5 + 5 + 5 + 5 + 2 + 5 = 27 - ДВ$ .

Правило второе:

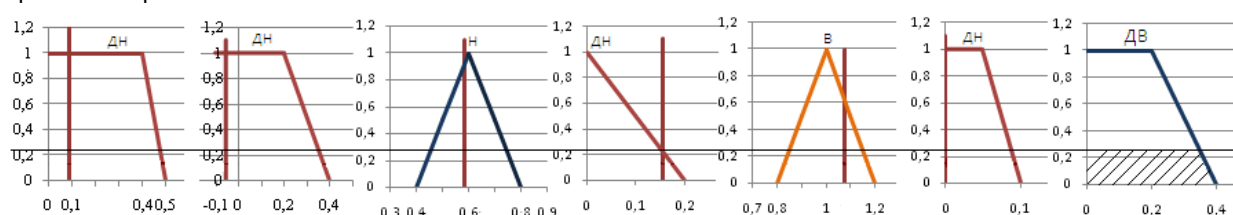


Рис. 10. Второе правило

Где:  $5 + 5 + 4 + 5 + 2 + 5 = 26 - ДВ$ .

Остальные 6 правил строим аналогичным образом. Последнее правило выглядит так

Правило восьмое:

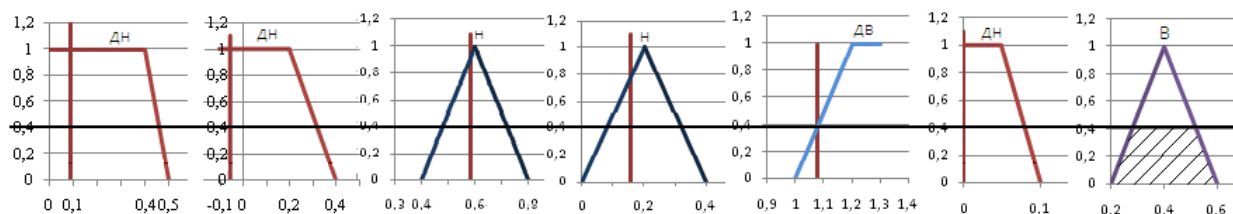


Рис. 11. Восьмое правило

где:  $5 + 5 + 4 + 4 + 1 + 5 = 24 - В$ .

**Этап 6 (Композиция).** Проводится объединение найденных усеченных функций с использованием операции  $\max$ , что приводит к получению конечного нечеткого подмножества для выходной переменной с функцией принадлежности  $\mu_z$ . Для наглядности покажем это на рис. 12.

Логический вывод:

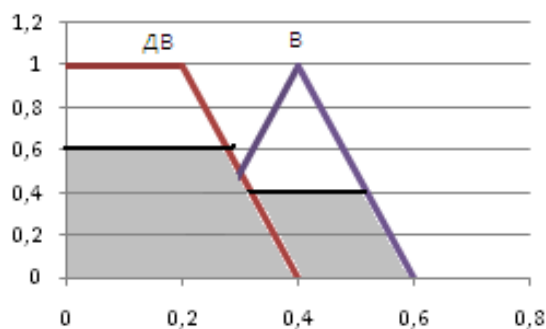


Рис. 12. Вывод правил за 2009 год

**Этап 7 (Приведение к четкости (дефаззификация).** Приведение к четкости осуществляется центроидным методом [1,2] согласно формулы

$$w_0 = \frac{\int_{\Omega} w \cdot \mu_{\Sigma}(w) dw}{\int_{\Omega} \mu_{\Sigma}(w) dw}$$

Для предприятия ОАО «ЭНЕРГОСНАБЖАЮЩАЯ КОМПАНИЯ Одессаоблэнерго» значения  $Z_0$  за 2009 год равно  $Z_{0(2009)} = 0,347$ , что соответствует «очень высокому» или «ВЫСОКОМУ» уровню банкротства.

Определим уровень банкротства для ОАО «ЭНЕРГОСНАБЖАЮЩАЯ КОМПАНИЯ Одессаоблэнерго » за 2010 год. Проходим аналогичные этапы, тогда мы получим следующие два правила рис.13, повлиявшие на исход композиции (рис. 14).

Далее осуществляем анализ риска банкротства предприятий, используя алгоритм нечеткого вывода Цукамото. Алгоритм во многом похож на метод Мамдани, отличия заключаются на этапе определения выходов правил: здесь выход каждого правила определяется путем решения уравнения [2]:

$$\alpha_i = C_i(z_i)$$

И определяем четкие значения  $(z_i)$  для каждого исходного правила.

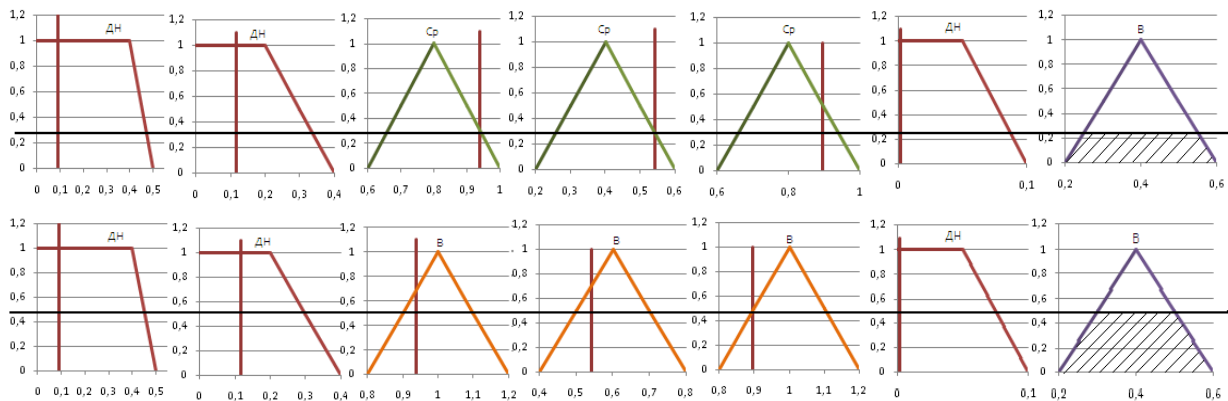


Рис.13. Два правила, которые повлияли на композицию выхода

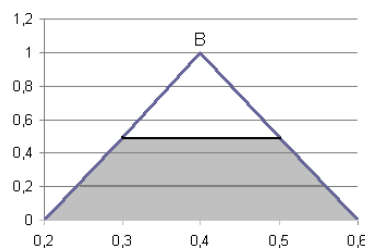


Рис.14. Вывод правил за 2010 год

Итак, мы получили  $Z_{0(2010)} = 0,4$ , что отвечает «ВЫСОКОМУ» уровню банкротства.

Композицию выходов правил осуществляем центроидным методом, согласно формулы:

$$z_0 = \frac{\sum_{i=1}^n \alpha_i z_i}{\sum_{i=1}^n \alpha_i}$$

Для предприятия ОАО «ЭНЕРГОСНАБЖАЮЩАЯ КОМПАНИЯ Одессаоблэнерго» значения  $Z_0$  за 2009 год равен:  $Z_{0(2009)} \approx 0,374$ , что соответствует «очень высокому» или «ВЫСОКОМУ» уровню банкротства.

Определим уровень банкротства для ОАО «ЭНЕРГОСНАБЖАЮЩАЯ КОМПАНИЯ Одессаоблэнерго» за 2010 год. Выполнив все этапы нечеткого логического вывода по алгоритму Цукамото, получим

$Z_0(2010) \approx 0,2896$ , что соответствует «очень высокому» или «ВЫСОКОМУ» уровню банкротства.

Как видно из результатов решения задачи разными методами, наихудший результат показал подход Альтмана, который определил для предприятия «НИЗКИЙ» уровень риска банкротства. С помощью подхода Недосекина был получен результат, согласно которому предприятию был спрогнозирован «СРЕДНИЙ» или «высокий» уровень риска банкротства, причем с помощью подхода Недосекина можно увидеть улучшения в работе предприятия за 2010 год.

С помощью подходов Мамдани и Цукамото было определено, что предприятие находится на грани неопределенности между «ОЧЕНЬ ВЫСОКИМ» и «высоким» уровнями риска банкротства. С помощью подхода Мамдани также можно анализировать изменения в состоянии предприятия.

### Сравнительный анализ методов прогнозирования риска банкротства предприятий

Проведем расчеты состояния предприятий на основе финансовых показателей за два года и за год до банкротства с помощью подходов Альтмана, Недосекина, Мамдани и Цукамото. Анализ предприятия мы будем проводить с помощью разработанной программы которая реализует все четыре метода диагностики состояний предприятия, а конечные результаты будем заносить в таблицы для большей наглядности. Всего было исследовано 52 предприятия, акции которых не представлены на бирже. Среди этих предприятий 26 были признаны банкротами официально и обращение их акций было аннулировано на рынке ценных бумаг. Остальные 26 предприятий официально считаются работоспособными на сегодняшний день.

Проанализировав первую группу предприятий-«банкротов» с помощью модели Альтмана за два года до дефолта, мы получили следующие результаты, среди 26 предприятий «высокий» уровень вероятности банкротства получило только 9 предприятий, 7 предприятий признано со «средним» уровнем риска банкротства, и 10 предприятий были признаны предприятия с «низким» уровнем вероятности банкротства. За год до дефолта 11 предприятий получило «высокий» уровень риска банкротства, 9 предприятий- «средний» уровень, и 6 предприятий - «низкий» уровень риска банкротства (таблица 10).

Таблица 10. Результаты прогноза по модели Альтмана «предприятия - банкроты»

Группа	Кол-во компаний	Прогноз банкротства		
		Высокий	Средний	Низкий
За два года до банкротства	26	35% (9)	27% (7)	38% (10)
За год до банкротства	26	42% (11)	35% (9)	23% (6)
Среднее за два года	26	38%	31%	31%

Определим уровень точности прогнозирования риска банкротства предприятия в течение исследуемого периода. Итак модель Альтмана с точностью 0,69 дает в среднем правильный прогноз для предприятий, которые являются потенциальными банкротами (рис. 15)



Рис. 15. Уровень точности прогнозирования состояния предприятий-банкротов

Для второй группы предприятий, которую условно назовем «работоспособные», мы получили следующие результаты. За два отчетных года до нынешнего состояния, 22 предприятия признаны, как предприятия с «низким» уровнем банкротства, 2 предприятия - «средний» уровень и 2 предприятия получили статус «высокий» уровень банкротства. За один отчетный год до настоящего состояния 18 предприятий - «низкий» уровень банкротства, 5 предприятий - «средний» уровень банкротства, 3 предприятия - «высокий» уровень банкротства (таблица 11).

Таблица 11. - Результаты прогноза по модели Альтмана «предприятия - не банкроты»

Группа	Кол-во компаний	Прогноз банкротства (уровни)		
		Высокий	Средний	Низкий
За 2009 отчетный год	26	7,5% (2)	7,5% (2)	85% (22)
За 2010 отчетный год	26	12% (3)	19% (5)	69% (18)
Среднее за два года	26	10%	13%	77%

Определим уровень точности прогнозирования риска работоспособности предприятия в течение исследуемого периода. Итак, средний показатель точности прогнозирования для предприятий - не банкротов по равняется 0,77 .

Проведем анализ финансового состояния тех же самых двух групп предприятий, которые анализировались методом Альтмана, с помощью нечетко-множественного метода Недосекина. В результате анализа предприятий «банкротов » за два года до дефолта среди 26 исследуемых предприятий было выявлено 20 предприятий с «Очень высоким », «высоким»или «средним» уровнями риска банкротства, 6 предприятий имеют статус предприятий с «низким» и «очень низким » уровнем банкротства. За год до дефолта 22 предприятий - с «очень высоким », «высоким»или «средним» уровнями банкротства, 4 предприятия - с «низким» или «очень низким» уровень банкротства (таблица 12)

Таблица 12. Результаты прогноза по модели Недосекина «предприятия - банкроты»

Группа	Кол-во компаний	Прогноз	
		Банкроты	Не банкроты
За два года до банкротства	26	77% (20)	23% (6)
За год до банкротства	26	85% (22)	15% (4)
Среднее за два года	26	81%	19%

Определим уровень точности прогнозирования риска банкротства предприятия в течение исследуемого периода. Итак, подход Недосекина дает правильный прогноз для предприятий, которые являются потенциальными банкротами, со средней точностью 0,81.

Для второй группы предприятий - «работоспособные», мы получили следующие результаты, анализируя их методом Недосекина. За два отчетных года до нынешнего состояния, 21 предприятия признаны, как предприятия с «очень низким», «низким» или «средним» уровнями риска банкротства, 5 предприятия получили статус «высокий» или «очень высокий» уровень риска банкротства. За один отчетный год до настоящего состояния 20 предприятий - «очень низкий », «низкий» или «средний» уровень риска банкротства, 6 предприятий - «высокий» или «очень высокий» уровень банкротства (таблица 13).

Таблица 13. Результаты прогноза по модели Недосекина «предприятия - не банкроты»

Группа	Кол-во компаний	Прогноз	
		Банкроты	Не банкроты
За 2009 отчетный год	26	19% (5)	81% (21)
За 2010 отчетный год	26	23% (6)	77% (20)
Среднее за два года	26	21%	79%

Обобщим полученные результаты, найдя среднее значение точности прогнозирования за каждый один отчетный год, и за два года вместе (таблица 14).

Таблица 14. Средняя точность прогноза состояния предприятия по модели Недосекина

Группа	Количество компаний	Прогноз (%)	
		Верно	Ошибка
За два отчетных года	52	79	21
За один отчетный год	52	81	19
Среднее	52	80	20

Учитывая полученные результаты, можно сказать, что подход Недосекина позволяет не только определить финансовое состояние предприятий, но определить его более точно благодаря лингвистической шкале, состоящей из пяти оценок уровня банкротства «ОН, Н, СР, В, ОВ». Кроме того, подход Недосекина позволяет проследить динамику развития предприятия, т.е. позволяет провести финансовый анализ предприятия за предыдущий и текущий отчетные периоды и определить уровень банкротства на «начальной» стадии, что позволяет преждевременно принять меры по предупреждению банкротства.

Проведем анализ финансового состояния тех же самых двух групп предприятий с помощью подхода Мамдани. В результате анализа предприятий-«банкротов» за два года до дефолта среди 26 исследуемых предприятий было выявлено 22 предприятий с «Очень высоким», «высоким» или «средним» уровнями риска банкротства, 4 предприятия имеют статус предприятий с «низким» и «очень низким» уровнем риска банкротства. За год до дефолта было определено 25 предприятий - с «очень высоким», «высоким» или «средним» уровнями риска банкротства, 1 предприятие - с «низким» или «очень низким» уровнем риска банкротства (таблица 15).

Таблица 15. Результаты прогноза по модели Мамдани «предприятия - банкроты»

Группа	Количество компаний	Прогноз	
		Банкроти	Не банкроты
За два года до банкротства	26	85% (22)	15% (4)
За год до банкротства	26	96% (25)	4% (1)
Среднее за два года	26	90%	10%

Для второй группы предприятий - «работоспособные», мы получили следующие результаты, анализируя их методом Мамдани. За 2009 отчетный год, 23 предприятия признаны, как предприятия с «очень низким», «низким» или «средним» уровнями риска банкротства, 3 предприятия получили статус «высокий» или «очень высокий» уровень риска банкротства. За 2010 год состояние некоторых предприятий ухудшилось, они перешли на ступень ниже, но общая картина осталась той же: 23 предприятия - «очень низкий», «низкий» или «средний» уровень риска банкротства, 3 предприятий - «высокий» или «очень высокий» уровень риска банкротства (таблица 16).

Таблица 16. Результаты прогноза по модели Мамдани «предприятия - не банкроты»

Группа	Количество компаний	Прогноз	
		Банкроти	Не банкроты
За два года до банкротства	26	12% (3)	88% (23)
За год до банкротства	26	12% (3)	88% (23)
Среднее за два года	26	12%	88%

Проведя анализ финансового состояния тех же предприятий методом Цукамото, получили следующие результаты (таблицы 17–19).

Таблица 17. Результаты прогноза по модели Цукамото «предприятия - банкроты»

Группа	Количество компаний	Прогноз	
		Банкроти	Не банкроты
За два года до банкротства	26	22 (85%)	4 (15%)
За год до банкротства	26	24 (92%)	2 (8%)
Среднее за два года	26	88%	12%

Таблица 18. Результаты прогноза по модели Цукамото «предприятия - не банкроты»

Группа	Количество компаний	Прогноз	
		Банкроти	Не банкроты
За два года до банкротства	26	12% (3)	88% (23)
За год до банкротства	26	15% (4)	85% (22)
Среднее за два года	26	13%	87%

Таблица 19. Усредненные показатели точности прогноза о состоянии предприятия по модели Цукамото

Группа	Количество компаний	Прогноз (%)	
		Верно	Ошибка
За два отчетных года	52	87	13
За один отчетный год	52	88	12
Среднее	52	87	13

Как видно из приведенных таблиц, подход Цукамото также дает возможность проанализировать состояние предприятия на любой стадии и с достаточно высоким процентом вероятности выявить критическое состояние предприятия на начальной стадии.

Обобщим полученные результаты для предприятий «банкротов», с помощью подходов Альтмана, Недосекина, Мамдани, Цукамото (таблица 20) рис. 16.

Таблица 20. Результаты прогнозов по Альтману, Недосекину, Мамдани, Цукамото о состоянии предприятий- банкротов

Подход	Количество компаний	Прогноз	
		Правильный (%)	Не правильный (%)
Альтмана	26	69,2	30,8
Недосекина		80,8	19,2
ННС Мамдани		90,4	9,6
ННС Цукамото		88,5	11,5

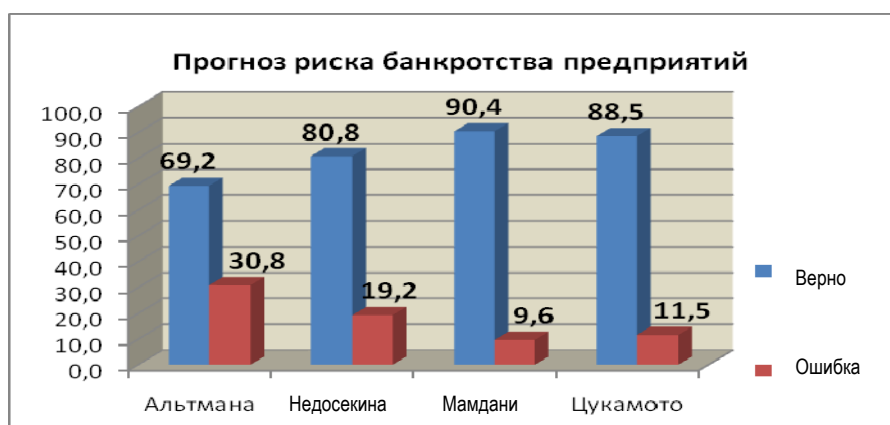


Рис. 16 . Результаты прогнозирования риска банкротства предприятий-банкротов различными методами

Обобщим полученные результаты для всех исследуемых предприятий, с помощью подходов Альтмана, Недосекина, Мамдани, Цукамото, они приведены в таблице 21 и на рис. 17.

Таблица 21. Результаты прогнозов по Альтману, Недосекину, Мамдани, Цукамото

Подход	Количество компаний	Прогноз	
		Правильный (%)	Не правильный (%)
Альтмана	52	73	27
Недосекина		80	20
Мамдани		89,4	10,6
Цукамото		88	13

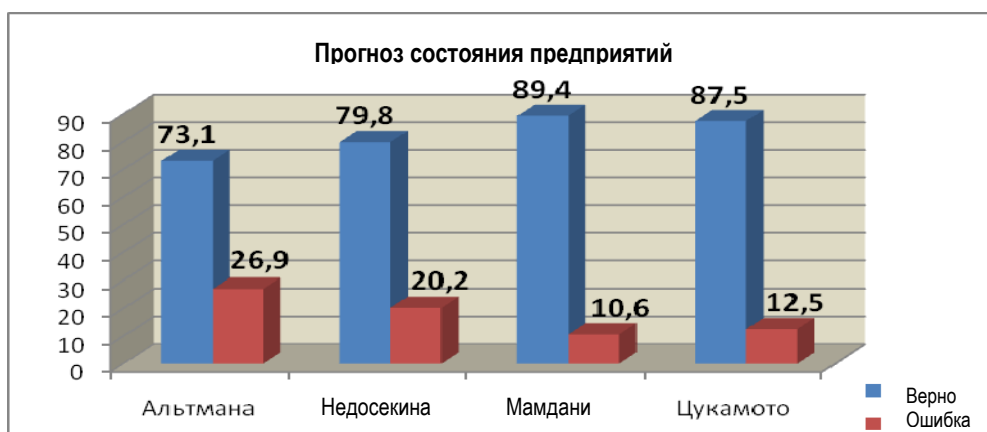


Рис. 17. Анализ прогнозирования состояния предприятий различными методами

Как видим, в нашем исследовании метод Альтмана правильно спрогнозировал состояние предприятий в среднем на 69%, метод Недосекина этот прогноз совершил верно в среднем на 81%, подходы Мамдани и Цукамото дали примерно одинаковые результаты, прогноз был осуществлен на 90% правильно. Во-вторых, не учитываем заинтересованность в существовании обанкротившихся предприятий. Но можно уверенно сказать, что нечетко-множественный метод Недосекина, а также нечеткие нейронные сети Мамдани и Цукамото позволяют изучить тенденции развития предприятий, и выявить угрозу банкротства предприятия уже на ранней стадии.



---

## Заключение

---

В статье были изложены методы анализа и прогнозирования риска банкротства: классический метод Альтмана, нечетко-множественный метод проф. Недосекина и разработанные нами методы на основе применения нечетких нейронных сетей с выводами Мамдани и Цукамото.

Сравнительный анализ различных методов оценки риска банкротства был проведен с помощью разработанного программного продукта, на языке программирования C++. Используя разработанный программный комплекс, было проведено прогнозирование банкротства для 52 предприятий Украины. Среди них 26 предприятий были потенциальными банкротами, а 26 предприятий - платежеспособными, т.е. уровень банкротства является «низким», «очень низким», «средним». Среди 26 предприятий потенциальных банкротов 24 предприятия на 01.02.2011 год были признаны банкротами по решению суда или согласно решению о прекращении эмитента путем ликвидации по решению высшего органа и принято общим собранием акционеров предприятия. Среди 26 платежеспособных предприятий со «средним» уровнем риска банкротства было признано банкротами - 4, а 6 предприятий были реорганизованы в общества с дополнительной ответственностью или общества с ограниченной ответственностью.

Заметим, что по результатам сравнительного анализа наиболее высокую точность прогноза банкротства предприятий показали ННС с выводом Мамдани (90%) и Цукамото (88%), далее следует нечетко-множественный метод Недосекина (80%) и наконец, наихудшие показатели точности прогноза имеет классический метод дискриминантного анализа Альтмана (73%).

---

## Благодарности

---

Статья частично финансирована из проекта **ITHEA XXI** Института Информационных теорий и Приложений FOI ITHEA и консорциума FOI Bulgaria ([www.ithea.org](http://www.ithea.org), [www.foibg.com](http://www.foibg.com))

---

## Литература

---

1. М.З.Згуровский, Ю.П. Зайченко. Модели и методы принятия решений в нечетких условиях.-К.: Изд. «Наукова думка»,2011.- с
2. Ю,П. Зайченко. Нечеткие модели и методы в интеллектуальных системах-К.: издательский дом « Слово», 2008.-344 с.
3. Altman E.I. Corporate Financial Distress.- New York, John Wiley, 1983.
4. Altman E.I. Financial Ratios, Discriminant Analysis and the prediction of Corporate Bankruptcy. // Journal of Finance, September, 1968, pp. 589-609
5. Давыдова Г.В., Беликов А.Ю. Методика количественной оценки риска банкротства предприятий//Управление риском, 1999, № 3, с. 13-20.
6. Недосекин А.О. Максимов О.Б., Павлов Г.С. Анализ риска банкротства предприятия. Метод. указания по курсу «Антикризисное управление - На сайте [http://sedok.narod.ru/sc\\_group.htm](http://sedok.narod.ru/sc_group.htm).

---

## Информация об авторах

---

**Михаил Згуровский**- академик НАН Украины, доктор технических наук, профессор, ректор НТУУ «Киевский политехнический институт»,03056,

**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)

---

---

## АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МОДЕЛИ БАЛАНСНЫХ СЕТЕЙ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ СЕТЕЙ ДОСТУПА

**Антон Бондаренко, Виталий Величко**

**Аннотация:** в связи с долговременным и трудоемким процессом проектирования сетей доступа, предлагается автоматизировать этот процесс с помощью создания программного комплекса автоматизированного проектирования с использованием модели балансных сетей .

**Ключевые слова:** Сеть доступа (СД), Узел Доступа (УД), Линия Доступа (ЛД), Модель балансной сети (МБС).

**Классификация ключевых слов ACM:** H.1 MODELS AND PRINCIPLES

---

### Введение

Концепция сетей доступа (СД) разработана сравнительно недавно. Перспективная СД должна удовлетворять потребностям всех групп пользователей, предоставляя доступ к любой базовой сети в любой точке мира, что является, несомненно, удобным для пользователя.

Исследованием вопросов создания СД с 2002 года занимается д.т.н., проф. Гайворонская Г.С. Количество опубликованных ею научных работ, посвященных этой проблеме, составляет около 40 наименований.

С 2005 к исследованию проблемы создания и проектирования сетей доступа подключились преподаватели и аспиранты кафедры информационно-коммуникационных технологий одесской государственной академии холода ОГАХ. За эти годы подготовлено и защищено под руководством проф. Гайворонской 6 диссертационных работ. Эти работы касались исследования услуг, предоставляемых пользователям СД, вероятностно-временной структуры потоков вызовов поступающих на эти сети, модели нагрузки и тяготения сетей доступа, методов расчета параметров линий доступа (ЛД) и оптимизации месторасположения узлов доступа (УД) на территории обслуживаемой СД. Однако, несмотря на это, по-прежнему остаются открытыми ряд аспектов, к одним из которых можно отнести задачу выбора структуры сети доступа. Так в работах [Гайворонская,Сахарова,2011], [Гайворонская,Сахарова,2011], [Сахарова,2011] исследуются два возможных варианта прокладки ЛД: ортогональный и радиальный, однако, на сегодняшний день уже редко можно встретить применение только радиальной или только ортогональной структуры прокладки ЛД, а соответственно нужно учитывать возможные комбинации их взаимодействия, а следовательно необходим аппарат для анализа всех возможных вариантов.

В процессе научно-технического сотрудничества с Киевским институтом кибернетики им. В.М. Глушкова возникла идея исследовать возможность использования модели балансных сетей (МБС), разработанную проф. Гладуном В.П. [Гладун,2000]. Работа по анализу возможности использования МБС при проектировании СД, с целью повышения эффективности ее функционирования и сокращения времени проектирования выполняется совместно с Величко В. Ю.

## Основная часть

МБС предназначена для управления процессом поиска решений и представляет собой граф  $\langle U, V \rangle$ , где  $\langle U \rangle$  – множество вершин, а  $\langle V \rangle$  – множество связей между ними. Принцип работы модели заключается в формировании последовательности управляющих воздействий, т.е. плана достижения конечного результата, где каждая вершина имеет свое значение, причём нижестоящая вершина является аргументом для функции вышестоящей вершины. Процесс решения представляет собой цикл, на каждом шаге которого выбирается «наилучшее» управляющее воздействие и формируется модель новой ситуации, возникающей в результате его применения. МБС может применяться в различных областях, однако в области телекоммуникационных сетей и сетях доступа до сих пор не применялась.

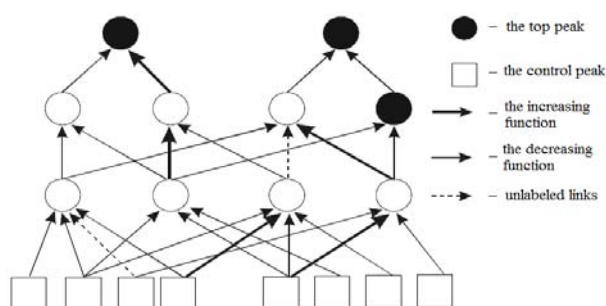


Рисунок 1 – Модель балансной сети

В процессе анализа возможности использования МБС при проектировании СД проводились исследования о возможности применения МБС в задачах нескольких видов:

1. Задачи географического позиционирования, т.е. определения наилучшего месторасположения всех узлов доступа.
2. Задачи, связанные с выяснением топологической структуры СД и определением наилучшего маршрута прокладки ЛД.
- 3.

Так при решении второй задачи принята следующая ее постановка. Необходимо определить наилучший маршрут прокладки ЛД. Предположим, что у нас уже определены месторасположения узла предоставления услуг (УПУ) и УД. Необходимо найти наиболее целесообразный вариант маршрута для подключения УД к УПУ. Частично эти вопросы рассмотрены в работах [Сахарова, 2009], [Котова, 2009], [Гайворонская, 2009]. При этом, следует учитывать, что на прокладку ЛД влияет множество факторов, таких, например, как наличие кабельной канализации и свободного места в ней, решение задачи выбора между прокладкой новых кабельных труб или использованием существующих возможностей, например использование системы ливневых стоков, внешние воздействия на кабель (затопления, вибрации от движения транспорта, и т.д.). Таким образом, решение этой нетривиальной задачи – трудоемкий и длительный процесс.

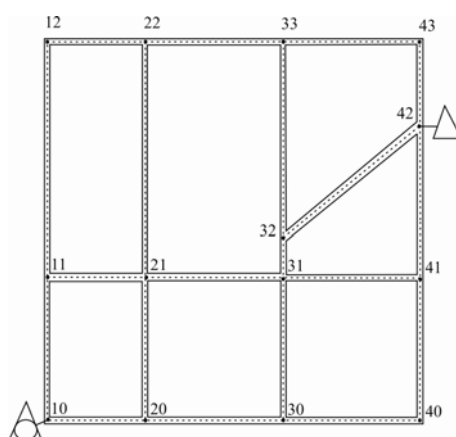


Рисунок 2 – Пример карты района подключения УД к УПУ

На рисунке 2 изображен простой и небольшой участок, однако даже для него существует около двух десятков вариантов подключения УД к УПУ, а при увеличении зоны обслуживания и количества пользователей задача неизмеримо усложняется и уже не может быть решена аналитическими методами, следовательно, необходимо использовать имитационное моделирование.

В связи с необходимостью анализа и сравнения параметров каждого пути анализ всех возможных вариантов прокладки линий доступа является одним из наиболее трудоемких и длительных.

Однако, в ходе исследования стало понятным, что можно использовать только некоторые идеи МБС, поскольку в большей мере её применение целесообразно при рассмотрении задач с большим количеством параметров, где необходимо, например, выявить взаимосвязи между ними, или проследить влияние того или другого параметра на конечный результат. А поскольку в задачах, уже решенных с применением МБС, все параметры являются общими для каждой вершины, то и целесообразность применения МБС вызывает сомнения.

Однако, построение карты подключения ЛД в виде некоторого подобия графа, а точнее МБС, поможет оценить картину в целом и позволит быстро отбросить худшие варианты, выявить варианты со схожими фрагментами. В свою очередь это позволит уменьшить количество необходимых вычислений, и как следствие, приведет к сокращению времени, необходимого на нахождение оптимального пути подключения.

Таким образом, использование некоторых идей МБС позволит представить выбор пути прокладки ЛД для примера на рисунке 2 в виде, показанном на рисунке 3.

На рисунке 3 приняты следующие обозначения:

- управляющие вершины – вершины с функцией  $f_{ij}(p_1, \dots, p_k, \dots, p_n)$ ;
- промежуточные вершины с параметрами  $p_1, \dots, p_k$ .

Граф-схема на рисунке 3 является схемой к рисунку 2. На данном этапе исследования предполагается, что ключевыми точками для ориентирования являются перекрестки, а именно канализационные люки, используя которые и происходят подключения УД. Как говорилось ранее, существует много факторов, влияющих в конечном итоге на стоимость прокладки ЛД и как результат на решение задачи о наилучшем варианте. Эти факторы можно разделить на две категории. К первой – относятся параметры,

действующие конкретно для канализационного люка (есть ли соединительная труба с соседним люком, есть ли свободное место в ней, затопляемость, и др.). На рисунке 2 каждый перекресток обозначен уникальным кодом. Этот же код сохраняется и для каждой управляющей вершины на рисунке 3. Эти параметры учитываются в управляющих вершинах. К другой группе относятся параметры, влияющие на ЛД (влияние движения транспорта, длина). Поскольку одна и та же управляющая вершина может соединяться с несколькими другими вершинами и параметры для этих связей будут разными, то существует необходимость в использовании промежуточных вершин с параметрами для конкретной связи этих двух управляющих вершин, что и показано на рисунке 3.

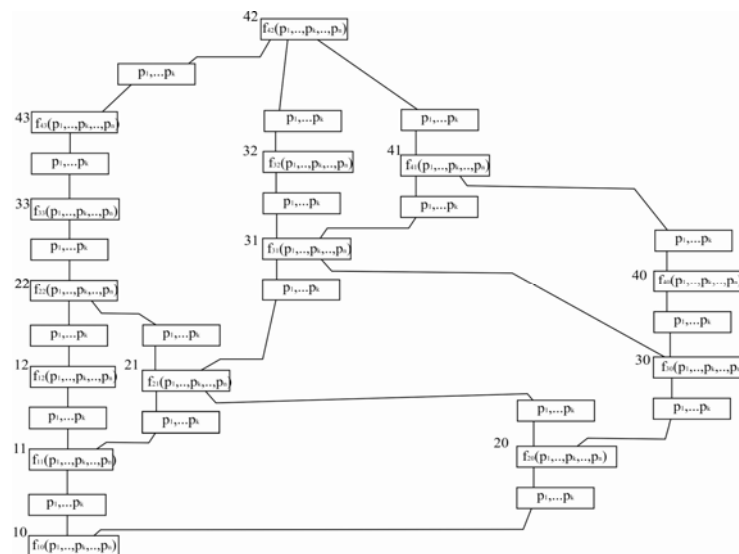


Рисунок 3 – Граф-схема района подключения

Еще одной идеей МБС является критерий выбора наилучшего варианта с использованием выражения

$$H_r = \sum_i h_r^i, \quad (1)$$

где  $h_r$  – значение дуги (например, “-1” или “+1” в зависимости от того возрастающая функция или спадающая). Но учитывая параметричность системы, формула 1 в явном виде нам не подходит, однако возможна некоторая ее модификация, позволяющая получить необходимые результаты

$$H_r = \sum_i f_i(p_{i1}, p_{i2}, \dots, p_{in}), \quad (2)$$

где  $i$  – количество вершин,  $n$  – количество влияющих параметров,  $p_{in}$  – значение  $n$ -ого параметра,  $f_i$  – значение функции от  $n$  параметров для  $i$ -той вершины.

## Выводы

Таким образом, применение МБС возможно при решении задач в области СД, но это не обязательно является достаточно эффективным средством их решения. Данную модель целесообразно использовать при поиске решений с большим количеством параметров СД, например, для задачи выявления

---

взаимосвязей между ними. Тем не менее, применение идей описанной модели для поиска наилучшего маршрута прокладки ЛД является легко воспринимаемым и удобным.

В ходе уже выполненных исследований разработан алгоритм общей модели синтеза структуры СД и реализована программно-имитационная модель процесса создания СД на заданной территории. Однако, в виду использования ряда допущений, данная модель имеет несколько существенных недостатков, а, следовательно, существует необходимость ее усовершенствования.

---

## Бібліографія

---

[Гладун,2000] Гладун В.П., Партнерство с компьютером. Человеко-машинные целеустремленные системы, «Port Royal», Киев, 2000. – с.128

[Гайворонская,2011] Гайворонская Г.С., Сахарова С.В., Этапы синтеза сетей доступа, Материалы XIX Международной Крымской конференции «СВЧ – техника и телекоммуникационные технологии» – Севастополь – Вебер – 2011 – с. 513-515

[Сахарова,2009] Сахарова С.В., Задача выбора параметров сети доступа / С.В. Сахарова // Матеріали НТК «Проблеми телекомунікацій»: Збірник тез. - Київ: НТУУ КПІ. – 2009. – с. 61.

[Котова,2009] Котова А.И., Принципы построения сети доступа / А.И Котова, С.В. Сахарова // Материалы СНТК «Інформаційні системи та технології». – Одеса, ОДАХ. – 2009. – с. 51-52.

[Гайворонская,2009] Гайворонська Г.С., Классификация параметров сетей доступа / Г.С. Гайворонская, С.В. Сахарова // Збірник тез V МНТК «Сучасні інформаційно-комунікаційні технології». – Київ: ДУКТ. – 2009. – с. 77-78.

[Гайворонская,соавт.,2011] Гайворонская Галина, выбор сценария создания сети доступа/ Гайворонская Галина, Сахарова Светлана, Котова Александра // Материалы НТК ITNEA International Conferences 2011 Knowledge - Dialogue – Solution.

[Сахарова,2011] Сахарова С.В., Применение метода определения мест расположения узлов доступа / С.В. Сахарова // Материалы НТК «Проблеми телекомунікацій»: Збірник тез. - Київ: НТУУ КПІ. – 2011. – с.174

[Гайворонская,Сахарова,2011] Гайворонська Г.С. Метод определения местоположения узлов при использовании прямоугольной модели сети доступа / Г. С. Гайворонская, С.В. Сахарова // Холодильна техніка і технологія. – Одеса : ОДАХ, 2011. – №1 (129). –с.73-76.

[Гайворонская,Сахарова,2011] Гайворонська Г.С. Особенности определения местоположения узлов доступа при использовании радиальной модели обслуживаемой территории. / Г.С. Гайворонская, С.В. Сахарова // Наукові праці ДонНТУ. – Донецьк: ДонНТУ, 2011.– №21 (183). – с. 82-86.

---

## Інформація об авторе

---

**Бондаренко Антон** – асп. каф. ІКТ, ОГАХ, Україна; e-mail: [osareni@mail.ru](mailto:osareni@mail.ru)

**Виталий Величко** - Assoc. Professor; V.M.Glushkov Institute of Cybernetics of NAS of Ukraine, Prosp. Akad. Glushkov, 40, Kiev-03680, Ukraine; e-mail: [glad@aduis.kiev.ua](mailto:glad@aduis.kiev.ua)

---

---

## СИНТЕЗ И АНАЛИЗ ДИОФАНТОВЫХ РЕГУЛЯТОРОВ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ПРОГРАММНЫМ ДВИЖЕНИЕМ

Адиль Тимофеев

**Аннотация:** Рассматриваются методы синтеза и анализа стабилизирующих и модальных регуляторов систем управления программным движением с обратимой (на подпространстве) динамикой. Значительное внимание уделяется исследованию и расчёту параметров декомпозирующих и диофантовых регуляторов с помощью диаграмм Вышнеградского и их обобщений.

**Keywords:** системы управления программным движением, стабилизирующие и диофантовые регуляторы, методы синтеза и анализа, диаграммы Вышнеградского

**ACM Classification Keywords:** H.1.1 Systems and Information Theory

---

### Введение

Современная теория автоматического управления нелинейными объектами тесно связана с информационными и когнитивными технологиями. Эта связь особенно важна в таких прикладных областях, как робототехника, мехатроника и аэрокосмические системы [1–7]. При этом информационные и когнитивные технологии полезны как на этапе автоматизированного проектирования (синтез, анализ, имитационное моделирование) систем автоматического управления, так и на этапе их программно-аппаратной реализации на современной микропроцессорной базе (цифровые сигнальные процессоры, многоядерные процессоры, нейропроцессоры и т.п.).

Эффективность управления сложными многомерными объектами (роботы, беспилотные летательные и подводные аппараты, планетоходы и т.д.) оценивается по многим показателям качества. К ним прежде всего относятся высокая точность и быстродействие, асимптотические и техническая устойчивость, робастность и адаптивность в нечётких и неопределённых условиях эксплуатации.

В настоящее время теория автоматического (в том числе оптимального) управления линейными динамическими объектами разработана почти исчерпывающим образом. В рамках этой теории синтез регуляторов по заданному расположению корней характеристического полинома замкнутой системы, т.е. по ее спектру, позволяет обеспечить не только асимптотическую устойчивость, но и заданные показатели качества переходных процессов (ПП).

Идея спектрального анализа и синтеза была предложена в 1876 г. И.А. Вышнеградским применительно к задаче о центробежном регуляторе паровой машины [1]. В дальнейшем эта идея была развита в теории модальных регуляторов многомерных линейных и линеаризованных систем.

В работах [2–6] были предложены спектральные методы синтеза, оптимизации и анализа нелинейных многомерных регуляторов обратимых динамических систем (ОДС), а также критерии глобальной

---

управляемости, обратимости, декомпозируемости и стабилизируемости ОДС. В [2–6] были получены также аналитический вид и расчетные формулы для синтеза нелинейных спектральных регуляторов.

В настоящей работе рассматривается новый класс диофантовых регуляторов и приводятся соотношения, связывающие их целочисленные параметры с целочисленными корнями характеристического полинома уравнения ПП. При этом существенно используются информационные технологиями и когнитивная графика, основанные на диаграммах Вышнеградского и их модификациях.

---

## 1. Архитектура систем управления программным движением

---

Во многих случаях глобальную задачу автоматического управления многомерными линейными и нелинейными объектами можно декомпозировать на две взаимосвязанные локальные задачи [2–7]:

1. задача построения и оптимизации программных движений (ПД);
2. задача синтеза, анализа и оптимизации регуляторов переходных процессов (ПП).

Методы решения первой локальной задачи позволяют построить в аналитическом виде ПД, обеспечивающее достижение цели движения с учётом конструктивных и динамических ограничений. Это ПД может быть оптимизировано при заданном показателе (функционале) качества. Некоторые методы и алгоритмы построения и оптимизации ПД описаны в работах [2–6]. В ряде случаев (например, в мобильной робототехнике) они связаны с методами навигации и маршрутизации [7–9].

Принципы решения второй локальной задачи направлены на синтез (в аналитическом виде), системный анализ и оптимизацию регуляторов ПП. Важную роль при этом играют математическое и имитационное моделирование поведения замкнутой системы автоматического управления. Эти принципы могут быть реализованы с помощью методов и алгоритмов, предложенных в работах [2–6], а также на основе диаграмм Вышнеградского и их модификаций.

Математическое и программное обеспечение решения первой и второй локальной задачи в сочетании с современными информационными технологиями и когнитивной графикой являются основой для автоматизированного проектирования и мультимикропроцессорной реализации современных и перспективных систем управления программным движением.

Архитектура таких систем включает в себя две подсистемы, а именно [2–7]:

- программатор движений;
- регулятор переходных процессов.

Программатор движений представляет собой аппаратно-программный комплекс, обеспечивающий построение и оптимизацию ПД.

Регулятор ПП также реализуется в виде аппаратно-программного комплекса (например, на базе PLD или DSP), обеспечивающего осуществление ПД с заданными показателями качества [2–7].

---

## 2. Динамика, обратимость и управляемость

---

Динамика широкого класса механических и мехатронных систем, роботов, космических и подводных аппаратов описывается векторным дифференциальным уравнением вида



$$A(y, y', \dots, y^{(r-1)}, \xi) y^{(r)} + b(y, y', \dots, y^{(r-1)}, \xi) + \pi = u, t \geq t_0, \quad (1)$$

где  $y$  –  $m$ -мерный управляемых координат,  $y^{(r)}$  – его  $r$ -я производная по времени  $t$ ,  $u$  –  $m$ -мерный вектор управлений,  $\xi$  –  $r$ -мерный вектор варьируемых параметров,  $A(\cdot)$ ,  $b(\cdot)$  – заданные матричная и векторная функции размерности  $r \times m$  и  $m$ , удовлетворяющие условиям существования и единственности решения уравнения (1) при заданных  $u$ ,  $\xi$ , начальных данных

$$y(t_0) = x_1(t_0), \dots, y^{(r-1)}(t_0) = x_{r-1}(t_0) \quad (2)$$

и измеряемых или неконтролируемых внешних возмущениях  $\pi = \pi(t)$ .

Критерием обратимости систем вида (1) является невырожденность матрицы  $A(\cdot)$  при всех допустимых значениях аргументов. Этим свойством обладают многие объекты управления (в частности, механические и электромеханические системы, мехатронные системы и роботы) [2, 3].

Введём вектор состояний канонического вида

$$x = |x_i|_{i=1}^r, \dot{x}_i = x_{i+1}, x_1 = y, n = rm. \quad (3)$$

Тогда систему (1), (2) можно записать в форме Коши

$$\dot{x} = F(x, u, \xi, \pi), x(t_0) = x_0, t \geq t_0. \quad (4)$$

Эта система имеет порядок  $n = r m$ , причём

$$F(x, u, \xi, \pi) = |x_1, x_2, \dots, w|^T, \quad (5)$$

где  $w = A^{-1}(x, \xi)(u - b(x, \xi) - \pi)$ .

В работах [2–4] показано, что система (4), (5) разрешима относительно  $u$  в виде (1), т.е. является ОДС на некотором подпространстве.

Представим систему (4), (5) в канонической форме

$$\dot{x} = Px + Qw, x(t_0) = x_0, t \geq t_0, \quad (6)$$

$$P = \begin{bmatrix} 0_m^{n-m} & I_{n-m} \\ 0_m^m & 0_{n-m}^m \end{bmatrix}, Q = \begin{bmatrix} 0_m^{n-m} \\ I_m \end{bmatrix}.$$

Здесь  $P$  и  $Q$  – блочные матрицы,  $0_\alpha^\beta = I_\alpha$  – нулевая и единичная матрицы размерности  $\alpha \times \beta$  и  $\alpha \times \alpha$

Система (6) глобально управляема по  $w$ , так как для нее справедлив критерий Калмана

$$\text{rank}(Q, PQ, \dots, P^{r-1}Q) = n. \quad (7)$$

Следовательно, существует такой канонический регулятор  $w = w(t)$ , что движение замкнутой им системы (6) удовлетворяет граничным условиям

$$x(t_0) = x_0, x(t_T) = x_T, T = t_T - t_0 < \infty. \quad (8)$$

Поскольку  $w$  связано с  $u$  взаимно однозначным преобразованием (5), то из (7) следует управляемость для исходной ОДС (1).

### 3. Синтез программных и стабилизирующих регуляторов

Обозначим через  $x = x_p(t)$  допустимое решение (4), (5) при  $\pi = 0$ , удовлетворяющее граничным условиям (8), Назовём его программным движением (ПД).

Подставляя ПД в (1) при  $\pi = 0$  получим в аналитическом виде программный регулятор

$$u(t) = A(x_p, \xi) x_{1,p}^{(r)} + b(x_p, \xi) \quad (9)$$

и регулятор с обратной связью по вектору состояний

$$u(t, x) = A(x, \xi) x_{1,p}^{(r)} + b(x, \xi) \quad (10)$$

Регуляторы (9) и (10) обеспечивают осуществление ПД в замкнутой системе в силу единственности решения (1) при начальном условии  $x_p(t_0) = x_0$  и известном (или измеряемом) законе изменения параметров  $\xi = \xi(t)$  и  $\pi = 0$ . Поэтому нестационарная нелинейная ОДС (1), замкнутая (10) является программно управляемой.

Программный регулятор (9) является решением обратной задачи динамики (1), впервые поставленной и решённой И.Ньютоном для случая  $r=2$  в задаче о динамике планет, а регулятор с обратной связью (10) синтезирован по принципу программного регулирования старшей производной (ускорением) уравнения движения (1) для случая  $r=2$ , предложенному Г.С.Поспеловым в задаче о самонастраивающемся автопилоте.

Управляемость ОДС гарантирует существование стабилизирующих регуляторов, обеспечивающих асимптотическую устойчивость ПД. Для синтеза таких регуляторов воспользуемся принципом скоростного управления ПД, предложенным в работах [2-6]. Согласно этому принципу сначала сконструируем эталонное дифференциальное управление переходных процессов (ПП) вида

$$e^{(r)} = \varphi(e, \dot{e}, \dots, e^{(r-1)}, t), e^{(i)}(t_0) = e_0^{(i)}, \quad (11)$$

где  $e = y - y_r = x_1 - x_{1,p} = e_1$ ,  $e^{(i)}(t)$  –  $i$ -я производная  $e$  по  $t$ ,  $i=0,1,\dots,r-1$ ,  $\varphi(\cdot)$  –  $m$ -вектор-функция, удовлетворяющая условиям асимптотической устойчивости тривиального решения  $e(t)=0$ . Обозначив  $E=x-x_r$ , получим из (1.3), (2.1) эталонное уравнение ПП

$$\dot{E} = \Phi(E, t), E(t_0) = \left| e_0^{(i)} \right|_{i=0}^{r-1}, \quad (12)$$

$$\Phi(E, t) = [e, \dot{e}, \dots, \varphi]^T, E(t_0) = \left| e_0^{(i)} \right|_{i=0}^{r-1},$$

причём  $\Phi(0, t) = 0$  и существуют такие числа  $\sigma > 0$  и  $\gamma > 0$ , что для любого решения (2) справедлива экспоненциальная оценка

$$\|E(t)\| \leq c \exp(-\gamma(t-t_0)) \|E(t_0)\|, t \geq t_0. \quad (13)$$

На втором этапе синтезируем нелинейный стабилизирующий регулятор из условия

$$\dot{x}_p + \Phi(E, t) = F(E + x_p, u, \xi). \quad (14)$$

Используя свойство обратимости, получим искомый нелинейный стабилизирующий регулятор в аналитическом виде

$$u = A(E + x_p, \xi)(x_{1,p}^{(r)} + \Phi(E, t)) + b(E + x_p, \xi). \quad (15)$$

Подставляя (2,5) в (1,1), убеждаемся, что ПП в замкнутой системе удовлетворяют эталонному уравнению (2,1) при  $\pi = 0$ . Следовательно, ПД будет асимптотически устойчивым.

На практике важен случай, когда

$$\varphi = -\Gamma_{r-1} e^{(r-1)} - \dots - \Gamma_1 \dot{e} - \Gamma_0 e, \quad (16)$$

где  $\Gamma_i = \Gamma_i(t), i = 0, 1, \dots, r-1$ , – варьируемые  $m \times m$  матричные параметры, определяющие характер ПП. Тогда регулятор (15), (16) будет стабилизирующим, если блочная матрица Фробениуса размерности  $n \times n$

$$\Gamma = \begin{pmatrix} 0 & I & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \Gamma_0 & \Gamma_1 & \dots & \Gamma_{r-1} \end{pmatrix}, \operatorname{Re} \lambda_j(\Gamma) < 0, \quad (17)$$

$j=1, \dots, n.$

гурвицева. Здесь  $\lambda_j$  – собственные числа матрицы  $\Gamma$ , определяющие спектр замкнутой ОДС. В этом случае

ПП удовлетворяют при  $\pi=0$  экспоненциальной оценке (13), где  $\gamma = \max_j \lambda_j(\Gamma)$ .

#### 4. Декомпозирующие регуляторы и диаграммы Вышнеградского

Многомерным ОДС присущи нелинейные перекрестные связи, интенсивность которых зависит от текущего состояния. Будем называть регулятор декомпозирующим [2-5], если уравнения ПП в замкнутой ОДС (1) распадаются на систему независимых скалярных уравнений по всем управляемым координатам.

Критерием декомпозируемости регулятора (15) при  $\pi = 0$  является диагональность матричных коэффициентов усиления, т.е.

$$\Gamma_i(t) = \operatorname{diag}(\gamma_j(t))_{j=1}^m, i = 0, 1, \dots, r-1. \quad (18)$$

В этом случае уравнение ПП в замкнутой ОДС имеет вид

$$e_j^{(r)} = -\sum_{i=0}^{r-1} \gamma_{ij} e_j^{(i)}, j = 1, \dots, m,$$

Следовательно, декомпозирующий регулятор (15) полностью компенсирует (развязывает) перекрестные связи и исключает их динамическое взаимовлияние в процессе стабилизации ПД. При этом значительно облегчается расчет параметров регулятора (15) по заданным показателям качества ПП.

Общий вид и показатели качества ПП в замкнутой ОДС (1), (15), (16) целиком определяются спектром матрицы  $\Gamma$ . Впервые на эту связь обратил внимание И.А. Вышнеградский [1]. Он предложил метод

анализа качества регуляторов одномерных линейных систем порядка  $n = 3$  в пространстве параметров  $v_1, v_2$  нормированного полинома

$$p(q) = q^3 + v_2 q^2 + v_1 q + 1 = \prod_{i=1}^3 (q - q_{ij}), \quad (19)$$

построив для этого диаграмму, представляющую собой исчерпывающую картину неустойчивости, устойчивости и качества ПП.

Декомпозирующие регуляторы (15)–(17) обобщают этот метод на широком классе многомерных линейных и нелинейных ОДС порядка  $n = 3m$ . Поэтому будем называть их обобщёнными регуляторами Вышнеградского.

Достоинствами диаграмм Вышнеградского являются наглядность, информативность и простота их использования для синтеза стабилизирующих и модальных результатов с наперёд заданными показателями качества и анализа ПП в замкнутых ОДС. Кроме того, они удобны для автоматизации проектирования линейных и нелинейных регуляторов, так как могут быть представлены средствами компьютерной "когнитивной графики" и дополнены "экспертными правилами" синтеза, оптимизации и анализа. Это позволило создать экспертную систему проектирования и реализации высококачественных регуляторов нелинейных ОДС порядка  $n \geq 3t$  [3,6].

Расчет параметров стабилизирующего регулятора осуществляется наведением курсора в область над гиперболой  $v_1 v_2 > 1, v_1 > 0, v_2 > 0$ .

Задание апериодического, монотонного или колебательного ПП производится наведением курсора в областях  $D_a, D_m$  или  $D_k$ , которым соответствуют различные варианты расположения корней полинома (19). Для обеспечения наибольшей "степени устойчивости", связанной с робастностью ОДС, достаточно навести курсор в точку  $v_i = v_2 = 3$  на пересечении границ областей  $D_a$  и  $D_m$ , что соответствует корням  $q_j = -1$  или  $i = 1, 2, 3$ .

Априорный и сравнительный анализ нелинейных регуляторов Вышнеградского сводится к подстановке их параметров в формулы

$$\gamma_1 = v_1 - \sqrt[3]{\gamma_0}, \gamma_2 = v_2 - \sqrt[3]{\gamma_0} \quad i = 1, \dots, m, \quad (20)$$

и определению области диаграммы, куда попала точка  $v_j, v_2$ .

Этот метод применим также для синтеза и анализа нелинейного аналога  $m$ -мерного ПИД-регулятора вида [3].

$$u = A(x, \xi) \left[ \ddot{x}_{1p} - \Gamma_1 \dot{e} - \Gamma_0 e - \Gamma \cdot \int_{t_0}^t e(s) ds \right] + b(x, \xi), \quad x = |y_i|_{i=1}^2. \quad (21)$$

Регуляторы, обеспечивающие заданное расположение корней замкнутой системы, принято называть модальными. К ним относятся регуляторы Вышнеградского и регуляторы общего вида (15–17). Однако представляется более обоснованным называть их спектральными, поскольку параметры этих регуляторов однозначно определяются по спектру матрицы  $\Gamma$ . Если этот спектр удовлетворяет условиям (17), (18), то регуляторы являются стабилизирующими и декомпозирующими, а тип (характер) ПП целиком определяется расположением корней  $\lambda_j(\Gamma), j = 1, \dots, n$  слева от мнимой оси.

Для упрощения расчетов и удобства цифровой реализации спектральных регуляторов (15), (17) потребуем, чтобы их параметры и соответствующие корни характеристических полиномов уравнения ПП (16) были целыми числами. Такие регуляторы будем называть диофантовыми.

Для вычисления корней по параметрам регулятора в случае  $r = 3$  и  $r = 4$  можно воспользоваться формулами Кардано и Феррари. Расположение целочисленных корней определяется неравенствами

$$\begin{aligned} 1 \leq \lambda_i < 1 + \omega, \quad i = 1, \dots, r, \\ \omega = \max(|\gamma_0|, \dots, |\gamma_{r-1}|). \end{aligned} \quad (22)$$

Параметры диофантовых регуляторов связаны неравенствами Гюа

$$q_{ij} \equiv \gamma_{ij}^2 (\gamma_{i-1,j} \gamma_{i+1,j})^{-1} > 1, \quad i = 1, \dots, r-1. \quad (23)$$

Величины  $q_{ij}$  особенно удобны для задания характера и показателей качества ПП, так как они безразмерны и инвариантны по отношению к умножению полиномов на произвольное число. Критерий апериодичности ПП при использовании диофантова регулятора (15) задаётся неравенствами

$$q_{ij} \geq 4, \quad i = 1, \dots, r-1, \quad j = 1, \dots, m. \quad (24)$$

Необходимое и достаточное условие асимптотической устойчивости ПД для декомпозирующих диофантовых регуляторов общего вида определяется неравенствами

$$\begin{aligned} \gamma_{ij} \geq 1, \quad \sum_{k=1}^2 s_{k+1,j} < 1, \quad k = 1, \dots, r-4, \\ s_{kj} = \gamma_{k-1,j} \gamma_{k+2,j} (\gamma_{k,j} \gamma_{k+1,j})^{-1}. \end{aligned} \quad (25)$$

---

## Заключение

Исследование робастности и синтез алгоритмов адаптации для синтезированных регуляторов с заданным спектром основываются на принципах адаптивного управления ПД. Методы синтеза и анализа робастных и адаптивных систем управления ПД рассмотрены в работах [2–7].

Работа выполнена при частичной поддержке грантов РФФИ № 09–08–00767-а, РФФИ № 12-08-01167-а и издательского гранта РФФИ № 12-08-07022-д.

---

## Литература

- [1] Вышнеградский И.А., Максвелл Д.К., Стодола А. Теория автоматического регулирования. М.: Изд-во АН СССР, 1949. 386 с.
- [2] Тимофеев А.В. Построение адаптивных систем управления программным движением. Л.: Энергия, 1980. 88 с.
- [3] Тимофеев А.В. Управляемость, робастность и инвариантность обратимых систем с нелинейной динамикой. – Доклады АН, 1998, том 359, № 2, с. 171–174.
- [4] Тимофеев А.В. Управление роботами – Л.: Изд. ЛГУ, 1985, 217 с.

- [5] Тимофеев А.В. Мульти-агентное и интеллектуальное управление сложными робототехническими системами. - Юбилейный сборник "Теоретические основы и прикладные задачи интеллектуальных информационных технологий", посвященный 275-летию РАН и 20-летию СПИИ РАН–СПб.: СПИИРАН, 1999, с.71-81.
- [6] Тимофеев А.В. Методы высококачественного управления, интеллектуализации и функциональной диагностики автоматических систем. – Мехатроника, автоматизация, управление, 2003. № 5.
- [7] Тимофеев А.В., Юсупов Р.М. Принципы построения интегрированных систем мульти-агентной навигации и интеллектуального управления мехатронными роботами. – International Journal "Information Technologies & Knowledge" vol. 5, n. 3, 2011, pp. 237–244.
- [8] Тимофеев А.В. Мульти-агентное управление коллективом роботов. – Проблемы информатизации, 2000, Выпуск 1, с. 70-77.
- [9] Тимофеев А.В., Кай З., Хе Х. Навигация и управление движением роботов в неизвестной среде. – Гироскопия и навигация № 3, 2004. № 2 (45), с. 13-24.
- [10] Тимофеев А.В. Мульти-агентные робототехнические системы и нейросетевые технологии. – Известия ЮФУ. Технические науки. Перспективные системы и задачи управления. 2010, №3, с. 20-23.

---

### Сведения об авторах

---



Тимофеев Адиль Васильевич – заведующий лабораторией информационных технологий в управлении и робототехнике Санкт-Петербургского института информатики и автоматизации Российской академии наук, Профессор кафедры информатики математико-механического факультета Санкт-Петербургского государственного университета, доктор технических наук, профессор, Заслуженный деятель науки РФ, 199178, Россия, Санкт-Петербург, 14-я линия, д. 39, СПИИРАН, [tav@ias.spb.su](mailto:tav@ias.spb.su)

---

---

## РЕСУРСНЫЙ ПОДХОД К МОДЕЛИРОВАНИЮ ЧЕЛОВЕКО-КОМПЬЮТЕРНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ С ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СРЕДОЙ

**Баканов А. С.**

**Абстракт:** В представленной работе рассматривается методика, позволяющая разработать модель человеко-компьютерного взаимодействия на основе ресурсного подхода.

**Ключевые слова:** Интеллектуальные системы, человеко-компьютерное взаимодействие, моделирование, ресурсный подход.

**ACM Classification Keywords:** I.2.1 Applications and Expert Systems

---

### Введение

Проблема взаимодействия человека с интеллектуальной информационной средой, приобретает все большую научную и практическую значимость. Актуальность темы обусловлена важностью роли, которую играет электронная информационная среда в жизни каждого человека, и тем воздействием, которое оказывает она на его жизнь, вне зависимости от того, вовлечен он в непосредственное взаимодействие с ней или нет. Рост количества социальных сетей, информационных и коммуникационных систем, а также рост числа их пользователей — все это также обуславливает актуальность данной темы исследования.

---

### Ресурсный подход к разработке модели человеко-компьютерного взаимодействия

В научной литературе получили довольно широкое освещение вопросы влияния информационных факторов на деятельность человека и его состояние (работы В.А. Бодрова, Г.М. Зараковского, В.П. Зинченко, Б.Ф. Ломова, R. Hockey, E. Hubbard, D. Salvendy, C. Wickens и др.). Среди исследований, касающихся вопросов информационного взаимодействия человека с техникой вообще и с интеллектуальной информационной средой в частности, необходимо отметить работу В.А. Бодрова, посвященную информационному стрессу [Бодров В.А., 2000], в которой проанализированы причины информационного стресса и дано описание моделей его изучения, а также работу коллектива авторов: Т. Атанасовой, Т.Н. Савченко, Г.М. Головиной и др., в которой описаны психологические механизмы взаимодействия человека с интеллектуальной информационной средой обитания [Т. Атанасова и др., 2010].

С позиций когнитивной психологии, возможности человека по приему и переработке информации описываются с помощью различных функциональных моделей структуры памяти пользователя [Величковский Б.М., 2006]. Среди моделей памяти можно отметить трехкомпонентная модель, предложенную в 1968 году Ричардом Аткинсоном и Ричардом Шиффрином [Аткинсон, 1980], а также ее последующие модификации [Baddeley, 2009]. В процессе взаимодействия с интеллектуальной информационной системой, человеку приходится учитывать значительное количество различных

---

факторов, а также решать задачи многокритериального выбора. Для человеческой системы переработки информации многокритериальные задачи представляют собой особо сложный класс задач [Петровский А.Б., 2004]. Наличие многих критериев приводит к нагрузке на человеческую систему переработки информации, заставляя человека использовать различные (зачастую оригинальные) эвристики для того, чтобы решить поставленную задачу при ограниченном объеме ресурсов памяти [Ларищев О. И., 1987].

Взаимодействие человека с интеллектуальной информационной средой будем рассматривать как информационное взаимодействие для более подробного его рассмотрения в рамках настоящей статьи.

Представим человеко-компьютерное взаимодействие как процесс обмена информацией между пользователем и интеллектуальной информационной системой. Этот процесс можно описать в виде конечного цикла: пользователь инициирует процесс, вводит информацию, получает (посредством пользовательского интерфейса) информацию, анализирует ее, принимает решение и снова вводит информацию и т.д. Принятая и введенная пользователем информация может быть оценена количественно и качественно. Под качественной оценкой информации, полученной пользователем, будем понимать оценку информации либо по критериям истинно/ложно, либо в соответствии с некоторой многокритериальной шкалой. В настоящее время на кафедре инженерной психологии и эргономики Института психологии РАН ведутся исследования субъективного процесса оценивания информации по многокритериальной шкале (частным случаем является оценка по критериям истинно/ложно) в зависимости от формы, содержания, количества и способа представления информации, а также исследования зависимости субъективного процесса оценивания информации от структуры ментальных репрезентаций пользователя [Брушлинский А.В., Сергиенко Е.А., 1998]. Результаты этих исследований будут в скором времени опубликованы. Поэтому в настоящей статье мы ограничимся рассмотрением количественных способов оценки информации.

Информацию, введенную/полученную пользователем в процессе человеко-компьютерного взаимодействия, можно оценить количественно несколькими способами, например, на основе ресурсного подхода к описанию процессов приема и преобразования информации. Ресурсный подход позволяет описывать и изучать процессы приема и преобразования информации, особенно при интенсивной деятельности пользователя [Бодров В.А. и др., 1998], то есть при предъявлении максимальных требований к процессам обработки информации. Предполагается, что возможности пользователя по приему, передаче и обработке информации являются в каждый конкретный момент времени изменяющимися, но ограниченными ресурсами. Эти ресурсы распределяются для выполнения так называемых совмещенных задач. Интерес, к так называемым ресурсоподобным свойствам [Бодров В.А. и др., 1998] связан, во-первых, с ограниченностью средств обработки информации, которыми располагает человек в каждый данный момент времени, и, во-вторых, с возможностями гибкого распределения и перераспределения человеком этих средств между разными этапами, стадиями, каналами, уровнями в ходе преобразования информации.

Традиционно эффективность выполнения человеком совмещенных задач объяснялась с помощью структурных промежуточных переменных, то есть влиянием степени схожести или различия структурных элементов, необходимых для реализации информационных процессов. Однако в проведенных исследованиях было показано, что одни и те же средства могут распределяться человеком между разными действиями [Величковский Б.М., 2006]. Ограниченность концепции гипотетических структурных



---

---

переменных и их роли в объяснении информационных процессов при решении совмещенных задач определила необходимость допустить наличие еще одной гипотетической промежуточной переменной, а именно ресурсов. Следует различать объективно наблюдаемые и регистрируемые ресурсоподобные свойства процессов преобразования информации и ресурсы как гипотетическую переменную, вводимую для объяснения этих свойств [Бодров В.А., 2000].

Для количественной оценки информационного взаимодействия введем понятие количества информации. Определим количество информации, приобретаемое при полном выяснении состояния некоторой системы  $X$ , как энтропию  $H(X)$ , то есть как меру степени неопределенности этой системы [Вентцель Е.С., 2005]. Обозначим  $I(X)$  как информацию, полученную в результате выяснения состояния некоторой системы  $X$ . При переходе системы из некоторого состояния  $X_1$  (с энтропией  $H(X_1)$ ), в некоторое состояние  $X_2$  (с энтропией  $H(X_2)$ ), количество информации можно определить как разность между энтропией системы в некотором состоянии  $X_1$  и энтропией системы в некотором состоянии  $X_2$ .

Рассмотрим процесс человеко-компьютерного взаимодействия как некоторую замкнутую систему, которая может переходить из одного состояния в другое. С этой точки зрения данный процесс можно представить в виде некоторой последовательности переходов системы от одного состояния к другому, причем каждый переход уменьшает неопределенность, то есть энтропию, системы. Процесс человеко-компьютерного взаимодействия можно представить в виде конечного цикла: пользователь инициирует процесс, вводит информацию (выполняет действие), получает (посредством пользовательского интерфейса) информацию, анализирует ее, принимает решение и снова вводит информацию (выполняет действие). И т.д. Таким образом, с использованием ресурсного подхода возможно разработать модель человеко-компьютерного взаимодействия с интеллектуальной информационной системой.

---

## **Заключение**

В статье рассмотрен ресурсный подход к моделированию человеко-компьютерного взаимодействия с интеллектуальной информационной средой. В основе ресурсного подхода лежит предположение о том, что возможности пользователя по приему, передаче и обработке информации являются в каждый конкретный момент времени изменяющимися, но ограниченными ресурсами. Эти ресурсы распределяются для выполнения стоящих перед пользователем задач по приему, обработке информации и принятию решений. Процесс человеко-компьютерного взаимодействия рассматривается, как некоторая замкнутая система, которая может переходить из одного состояния в другое. Для количественной оценки информационного взаимодействия используется математический аппарат теории информации.

---

## **Благодарности**

The paper is published with financial support by the project ITHEA XXI of the Institute of Information Theories and Applications FOI ITHEA ([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)).

---

**Библиография**

---

- [Атанасова Т. и др., 2010] Атанасова Т., Савченко Т.Н., Головина Г.М., Баканов А.С. Интеллектуальная информационная среда обитания и субъективное восприятие качества жизни // Методы исследования психологических структур и их динамики. Труды ИП РАН. М., 2010.
- [Аткинсон Р., 1980] Аткинсон Р. Человеческая память и процесс обучения. М.: Прогресс, 1980.
- [Баканов А.С., 2009] Баканов А.С. Особенности психологического подхода к моделированию человеко-компьютерного взаимодействия // Вестник ГУУ. 2009. №6. С. 15–18.
- [Бодров В.А., 2000] Бодров В.А. Информационный стресс: Учебное пособие для вузов. М.: ПЕР СЭ, 2000.
- [Бодров В.А. и др., 1998] Бодров В.А., Обознов А.А., Турзин П.С. Информационный стресс в операторской деятельности // Психологический журнал. 1998. Т. 19. № 5.
- [Брушлинский А.В., Сергиенко Е.А., 1998] Брушлинский А.В., Сергиенко Е.А. Ментальная репрезентация как системная модель в когнитивной психологии // Ментальная репрезентация: динамика и структура. М.: Изд-во «Институт психологии РАН», 1998.
- [Величковский Б.М., 2006] Величковский Б.М. Когнитивная наука: Основы психологии познания. В 2 т. Т. 1. М.: Смысл, 2006.
- [Вентцель Е.С., 2005] Вентцель Е.С. Теория вероятностей. М.: Академия, 2005.
- [Журавлев А.Л., 2004] Журавлев А.Л. Психология управленческого взаимодействия. М.: Изд-во «Институт психологии РАН», 2004.
- [Ларичев О.И., 1987] Ларичев О.И., Петровский А.Б. Системы поддержки принятия решений. Современное состояние и перспективы развития. // Итоги науки и техники. Серия Техническая кибернетика. М. ВИНТИ, 1987. т.21, с.131-164.
- [Петровский А.Б., 2004] Петровский А.Б. Многокритериальное принятие решений по противоречивыми данным: подход теории мультимножеств. // Информационные технологии и вычислительные системы, 2004, №2, 56-66.
- [Baddeley, 2009] Baddeley, A.D., Eysenck, M., Anderson, M.C. Memory. Hove: Psychology Press. 2009.

---

**Authors' Information**

---



**Арсений Сергеевич Баканов** – к.т.н., Институт психологии РАН, Ярославская ул., Москва, 129366, Россия; e-mail: [ars@iitp.ru](mailto:ars@iitp.ru)

*Major Fields of Scientific Research: Intelligent Systems, Software technologies*

---

---

## ВЫБОР СЦЕНАРИЯ СОЗДАНИЯ СЕТИ ДОСТУПА

Галина Гайворонская, Светлана Сахарова, Александра Котова

**Аннотация:** Рассмотрена структура и варианты построения перспективных сетей доступа. Проанализированы задачи, решение которых необходимо для выбора сценария создания сетей доступа. Предложен подход к определению структурных характеристик, учитывающий особенности обслуживаемой территории и градостроительные решения.

**Ключевые слова:** сеть доступа, характеристики сетей доступа, узлы доступа, сценарии создания сети доступа.

**Ключевые слова классификации АСМ:** С.2. Computer-communication networks, H. Information Systems - H.1 Models and Principles, K. Computing Milieux - K.6 Management of computing and information system

---

### Введение

В последние годы происходят глобальные радикальные преобразования информационных сетей, связанные с конвергенцией коммуникационных и информационных технологий. Эти процессы приводят к созданию инфокоммуникационной инфраструктуры и возникающей на ее базе инфосферы. Инфокоммуникационная инфраструктура состоит из трех основных составляющих: базовых сетей, сетей доступа (СД) и информационных терминалов пользователя. Информационные терминалы и оборудование обработки, хранения и преобразования информации определяет информационную составляющую, а сети доступа и базовые сети – телекоммуникационную составляющую инфокоммуникационной инфраструктуры. В настоящее время доступ к инфокоммуникационным услугам (ИКУ) предоставляется различными вторичными сетями, однако, перспективная концепция доступа к базовым сетям, сформулированная в рек. МСЭ G.902, предполагает создание единой системы доступа ко всем сетям и услугам.

Актуальность и важность разработки рекомендаций для создания СД признана Международным союзом электросвязи (МСЭ), которым в составе исследовательской комиссии ИК-15 «Транспортные сети, системы и оборудование» создана рабочая группа №1 (РГ 1/15) – «Сетевой доступ». В состав РГ 1/15 включены четыре вопроса: передача в СД, характеристики оптических систем переноса и распределения информации в СД, оборудование передачи данных для цифровых арендованных линий и оборудование передачи для абонентских систем доступа типа HDSL и ADSL (*Digital Subscriber Line* или цифровая абонентская линия). Различные аспекты СД изложены в рекомендациях МСЭ серий G, I, Q, и Y, разрабатываемых другими комиссиями МСЭ. По вопросам стандартизации абонентского доступа МСЭ тесно сотрудничает с Европейским институтом стандартов для электросвязи (*European Telecommunications Standards Institute, ETSI*) и американским национальным институтом стандартов (*American National Standards Institute, ANSI*) и с большим количеством специальных групп, например,

форумами ADSL и ATM. Взаимодействие организаций, занимающихся стандартизацией отдельных аспектов доступа, иллюстрирует рис. 1.

Идея построения СД заложена и в концепции – *Full Services Access Network (FSAN)* [1], подразумевающей построение сетей доступа комплексного обслуживания. Иногда термин *FSAN* переводят как сеть доступа с полным набором услуг. Создание СД заложено в программу развития телекоммуникационных сетей (ТС) всех регионов Украины [2]. Все это свидетельствует о необходимости тщательного анализа различных вариантов, касающихся организации СД.

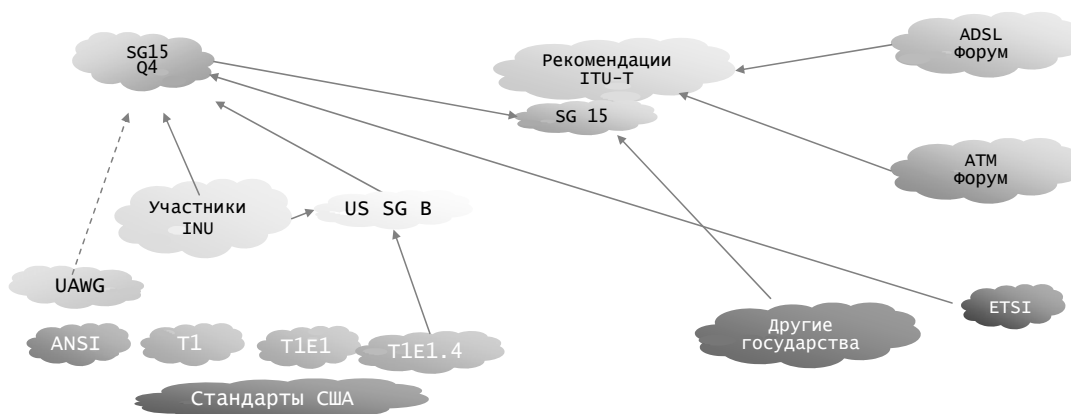


Рис. 1. Взаимодействие международных организаций по разработке стандартов доступа

Понятие абонентская линия (АЛ) уже не отражает сути элемента ТС между терминалом пользователя и узлом коммутации (УК), его заменяет термин линия доступа (ЛД). И если совокупность АЛ образует абонентскую сеть (АС), то сеть доступа состоит из совокупности ЛД и узлов доступа (УД). В этой работе понятие доступ трактуется как процесс обращения пользователя к сетевым ресурсам. Абонентская линия характеризуется тем, что она постоянно закреплена за своим источником (приёмником) информации и поэтому может использоваться только для установления соединения с соответствующим источником.

Сеть доступа создается обычно на базе существующих АС, топология и принципы построения, которых требуют существенных изменений. При преобразовании АС в СД меняются ее функции, топология, используемые технологии и расширяется территория, в границах которой она создается. Недостаточно модернизировать АС для обеспечения доступа только к одной сети, пусть и интегральной. Гораздо эффективнее создать новую СД единую для подключения ко всем базовым сетям, как существующим, так и тем, которые могут возникнуть в будущем. Такая сеть должна обеспечить пропускную способность достаточную для одновременного предоставления всех услуг, которые могут быть запрошены и оплачены пользователем, и обеспечить качество и надежность, соответствующее требованиям не только всех существующих услуг, но и тех которые еще могут появиться. Эта сеть требует достаточно больших инвестиций при создании, но в будущем значительно уменьшит затраты, как операторов связи, так и пользователей.

В последние годы большое внимание уделяется концепции *Universal Service* (всеобщее обслуживание), в которой важное место занимает реализация «всеобщего доступа». Всеобщий или равный доступ можно рассматривать как вклад операторов связи в решение глобальной проблемы по преодолению неравномерности распределения доходов, технологий и услуг. В масштабах страны или региона словосочетание всеобщий доступ чаще всего относится к сельской связи и к тем группам потенциальных

---

абонентов, которые не могут оплачивать услуги связи. К услугам всеобщего доступа относятся: услуги телефонной связи с использованием таксофонов, услуги по передаче данных и выхода в Интернет с использованием пунктов коллективного доступа. Время, в течение которого пользователь услугами связи может добраться до таксофона без использования транспортного средства, не должно превышать один час. В каждом населенном пункте устанавливается не менее одного таксофона с бесплатным доступом к экстренным службам, а там, где проживает более пятисот человек, создается как минимум один пункт коллективного доступа к Интернет. Равная доступность к информации и информационным технологиям для людей во всем мире провозглашена в качестве основополагающего принципа прав человека мирового сообщества в принятой «Хартии глобального информационного общества».

---

### **Анализ состояния вопроса**

---

Перспективы развития СД обговариваются на разнообразных конференциях и форумах в области телекоммуникаций. Различные аспекты построения и модернизации СД, применения проводных и беспроводных технологий, освещены в работах Соколова Н.А., Гольдштейна Б.С., Бакланова И.Г., Крендзеля А.В., Хиленко В.В., Михайлова В.Ф., Гайворонской Г.С., Денисьевой О.М., Балашова В.А., Зяблова С.В., Бирюкова Н.Л., Коваленко С.Ф., Пинчука А.В. и др.

Большое внимание проблемам модернизации СД уделил в своих работах проф. Соколов Н.А. В частности, в 1997 году Соколов Н.А. в работе [3] охарактеризовал перспективы развития СД в России, отметив, что одной из главных задач является определение совокупности требований, которым должна отвечать СД на каждом этапе ее развития. Что в свою очередь требует анализа характеристик существующих АС.

Этот же подход использован в работах авторов, при проведении подобного анализа АЛ телефонных сетей Украины. В работах [4-9] представлены результаты исследования параметров и структурных характеристик АЛ на сельских сетях Украины, в том числе и с использованием непараметрических методов обработки статистики. В [10] предложен подход к выбору вариантов построения СД основанный на рекомендациях МСЭ, относящихся к глобальной информационной инфраструктуре (ГИИ), идентификации ключевых интерфейсов, транспортных технологий сетей доступа и возможности предоставления ИКУ, в результате предложены сценарии построения СД. Выбор сценария модернизации СД важен и при переходе к сетям следующего поколения (*Next Generation Network, NGN*). В [11] выделены четыре различных направления перехода к *NGN*, для каждого из которых определены наборы технологий и оборудования по четырем направлениям: доступ, коммутация, услуги, эксплуатация. Выбор оптимального сценария перехода к *NGN* зависит и от типа сети, в работах [12, 13] представлена прагматическая стратегия перехода к *NGN*, с учетом особенностей модернизируемых ТС.

Много внимания построению СД уделено и в работах авторов, так в частности концепция пользовательского доступа и место СД в ГИИ проанализировано в работе [14]. В работе [15] обоснована необходимость модернизации доступа к базовым сетям и создания перспективных СД; представлены структура и функции этих сетей, сформулированы отличия от существующих АС, проанализированы требования различных групп пользователей к перспективным сетям и оборудованию доступа. Основываясь на этих требованиях, и возможных способах доступа пользователей к базовым сетям предложены варианты построения перспективных СД для различных условий. В [16] представлена

---

уровневая модель сети доступа, которая признана действенным инструментом анализа и синтеза, как сетевой архитектуры, так и взаимодействия отдельных групп функций и отдельных протоколов установления связи и обмена информацией. Автором представлены модификации уровневой модели СД для квартирных и деловых пользователей, приведены примеры взаимодействия уровней СД при предоставлении ИКУ. Проблема синтеза сетей доступа исследуется в работах [17, 20], где сформулированы основные задачи, решение которых необходимо при создании СД, и определены пути их решения. Методы, предложенные в этих работах, обеспечивают выбор оптимальной структуры сети с учетом ограничений по качеству обслуживания, параметрам оборудования, видам услуг, предоставляемых сетью, структуре информационных потоков, циркулирующих в синтезируемой сети и обслуживаемой нагрузке. Концепция доступа к базовым сетям, а также особенности реализации транспортного сегмента при модернизации СД рассмотрены авторами в работах [6, 19]. Результаты, полученные в работах, говорят о том, что средняя длина существующих АЛ в большинстве рассмотренных сетей позволяет применение технологий *xDSL*, допустимая длина линий для которых зависит от обеспечиваемой скорости передачи и используемого количества пар кабеля. Выбору технологии доступа на основании анализа структурных характеристик существующих АС посвящена работа авторов данной статьи [21], в которой приведены результаты исследований структурных характеристик АЛ для городских и сельских сетей Украины, и на основании полученных результатов сделан качественный анализ целесообразности применения различных технологий на транспортном сегменте СД.

---

### Структура сетей доступа

---

Перспективная сеть доступа должна удовлетворять потребности всех групп пользователей, предоставляя доступ к любой базовой сети в любой точке мира. Задача создания СД обуславливает конвергенцию технологий доступа. Чем к большему количеству базовых сетей организован доступ, тем ближе технологическое решение СД к концепции ГИИ. Таким образом, перспектива развития ТС в целом зависит от выбора оптимального решения организации СД.

На основании анализа основных рекомендаций МСЭ и документов *ETSI*, посвященных созданию перспективных СД, автором предложена структура СД [6] в виде, показанном на рис. 2., которая включает:

- сегмент локального доступа между оборудованием пользователя и УД;
- узел доступа, взаимодействующий с устройствами пользователя через интерфейс пользователь-сеть *UNI* и с узлом предоставления услуг (УПУ) через сетевой интерфейс *SNI*;
- сегмент транспортного доступа (*Transfer Network*).

Индивидуальные ЛД с пользовательским интерфейсом *UNI*, реализующие сегмент локального доступа предназначены для доведения потоков информации к оборудованию пользователя или от него. Эта часть СД характеризуется максимальной гарантированной пропускной способностью и минимальной длиной физической линии. При этом под оборудованием пользователя подразумевается совокупность терминального и иного оборудования, предназначенного для получения пользователем ИКУ. Кроме того, к оборудованию пользователя относятся корпоративные и частные сети, не входящие в состав сетей общего пользования.

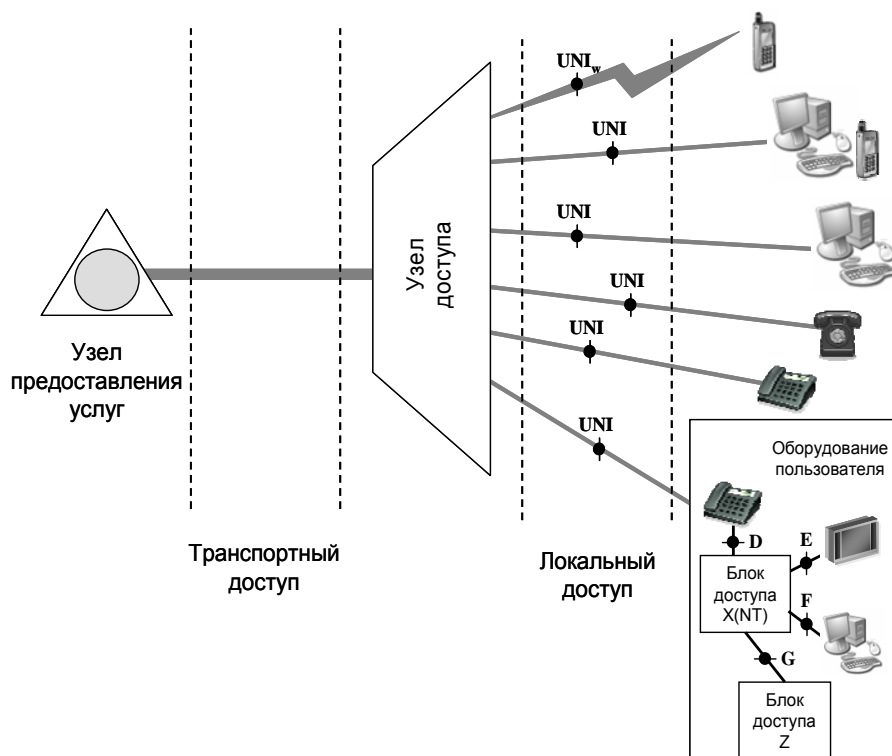


Рис. 2. Структура сети пользовательского доступа

Узел доступа реализуется на оборудовании, концентрирующем отдельные информационные потоки от индивидуальных ЛД к различным базовым сетям и выполняющем функции концентратора, мультиплексора или базовой станции беспроводной АЛ (*Wireless Local Loop, WLL*), имеющем на выходе цифровые групповые тракты. Узлы доступа осуществляют концентрацию информационных потоков от всех видов источников, находящихся на обслуживаемой территории. Применение УД обуславливается требованиями к эффективности использования ЛД. Прокладка индивидуальных высокоскоростных ЛД между УПУ и оборудованием пользователя, как правило, экономически невыгодна.

Сегмент транспортного доступа – это групповые тракты передачи информации между УД и УПУ базовых сетей, переносящие потоки информации между пользователями обслуживаемой зоны и базовыми сетями. Сегмент транспортного доступа функционально является частью национальной транспортной сети.

Узел предоставления услуг реализуют в виде универсального сетевого элемента, способного поддерживать все требования пользователей. Исходя из этого, УПУ - это устройство, обрабатывающее вызов, посредством которого пользователям предоставляется возможность установления соединений в пределах сети или нескольких сетей, для получения доступа к ИКУ с применением средств телекоммуникаций. Функции УПУ может выполнять УК телефонной сети общего пользования (ТфОП) или цифровой сети интегрально обслуживания (ЦСИО), узел доступа к Интернет, сервер, *Web*-сайт Интернет, центр телевизионного вещания, мультимедийные узлы предоставления игр и т.д. [3].

---

## Анализ задач, решение которых необходимо для реализации СД

---

Первой задачей, решение которой необходимо для реализации СД, является повышение экономической эффективности ЛД. Линии доступа являются наиболее протяженным сегментом ТС, т.к. их количество равно числу пользователей, и одновременно наименее прибыльным, т.к. пользователь оплачивает потребление ресурсов базовых сетей, а СД – это только «путь» к ним. На построение СД необходимы большие затраты, но даже если есть возможность выделения необходимых средств, объединив государственные и частные вложения, то остается задача разработки метода выбора оптимального построения сети доступа, отвечающей всем требованиям, сформулированным в рамках концепции ГИИ.

Метода оптимизации структуры СД пока нет, это связано с несколькими причинами:

- различие финансовых возможностей пользователей порождает различие в затратах на оборудование пользователя, а соответственно в типах этого оборудования;

- требования к ИКУ у разных групп пользователей различны, в банковской сфере необходимы высокоскоростные услуги и высокая степень защиты данных, а пользователи пенсионного возраста из всех ИКУ наиболее заинтересованы в телевизионных и телефонных, и главным критерием для них является не качество, а стоимость предоставляемой услуги;

- географическое расположение различных групп пользователей требует и разных подходов к организации СД, обуславливая выбор проводных или беспроводных технологий.

Таким образом, разработка метода оптимизации структуры сети является второй задачей создания перспективных СД. Выбор технологий для конкретных СД и для отдельных линий является третьей задачей, решение которой необходимо для реализации этой концепции. Все существующие на сегодняшний день технологии доступа могут быть использованы, однако, в каждом конкретном случае выбор технологии обусловлен, зачастую, финансовыми возможностями пользователя и/или оператора.

В данной работе остановимся, только на задачах определения структурных характеристик СД. К этим характеристикам, учитывая структуру СД, относятся: длина и пропускная способность линий доступа, количество, место размещения и пропускная способность узлов доступа.

Пропускная способность линии доступа, реализованной на симметричном кабеле определяет число пар проводников, а для других типов направляющих систем (коаксиальный или оптоволоконный кабель) – линейную скорость передачи информации. Линейная скорость передачи, в отличие от информационной скорости, учитывает передачу не только информации пользователя, но и разнообразной служебной информации. Таким образом, учитывается три типа скорости: пользовательская, информационная и линейная. Так, например, для базового доступа к ЦСИО пользовательская скорость составляет 128 кбит/с (два канала типа В), информационная 144 кбит/с (2В+D), а линейная 192 кбит/с.

Определение структурных характеристик СД включает:

1. Расчет экономически обоснованных размеров территории СД.
2. Расчет количества и пропускной способности УД.
3. Выбор места расположения УД на территории сети доступа.
4. Выбор трасс прокладки кабеля для ЛД, если предполагается создание СД с использованием проводных технологий.

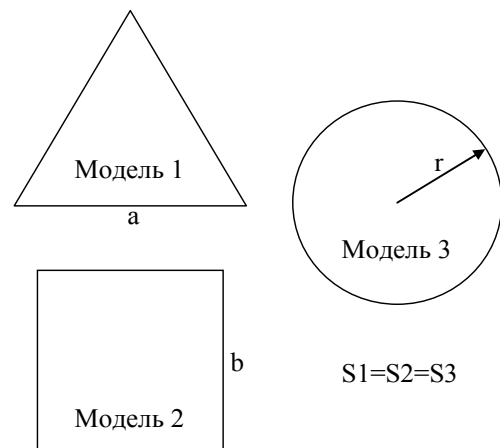
Последовательное решение этих задач позволило получить выражения, на основании которых можно выполнить оптимизацию структурных характеристик СД. Однако перечисленные задачи отнюдь не



исчерпывают всю проблему создания перспективных СД, в этой работе не затронуты такие важные задачи, как: анализ вероятностно-временной структуры потоков вызовов, поступающих на СД; оптимизация перечня предоставляемых услуг и определения требований, которые выдвигает эта совокупность услуг к оборудованию СД; оценка чувствительности характеристик проектируемой СД к изменению прогнозируемых входных параметров этой сети и ряд других задач, без решения которых проблема создания оптимальной СД не может быть решена. Подробный анализ этих задач выполнен в работах [14,17,18,20].

### Выбор и обоснование исследуемых моделей сети доступа

Для оценки влияния длины ЛД на стоимость сети рассмотрим упрощенные модели территории, на которой создается эта сеть. На рис. 3 показаны варианты конфигурации модели этой территории: равносторонний треугольник, квадрат и круг. Для упрощения будем считать, что УПУ находится в геометрическом центре рассматриваемых территорий. Площадь этих трех геометрических фигур одинакова  $S_1 = S_2 = S_3 = S$ , что позволяет легко найти длины стороны треугольника  $a$ , ребра квадрата  $b$  и радиус окружности  $r$  [1]



$$a = 2(S/3)^{0.5}, \quad b = S^{0.5}, \quad r = (S/\pi)^{0.5} \quad \text{Рис. 3. Модели территории СД}$$

Средняя длина ЛД для территории, имеющей форму треугольника  $L_1$ , квадрата  $L_2$  и круга  $L_3$ , определяется соотношениями

$$L_1 \approx 0,488(S)^{0.5}, \quad L_2 \approx 0,388(S)^{0.5}, \quad L_3 \approx 0,377(S)^{0.5}. \quad (2)$$

Следовательно, одним из факторов, существенно влияющим на длину ЛД является конфигурация обслуживаемой территории. Вторым фактором - градостроительные решения, в частности направление прокладки улиц. Исходя из этого, основные особенности СД могут быть описаны более детальными моделями, в которых используются следующие предпосылки и допущения:

1. Модель прямоугольной структуры СД, учитывающая способы застройки принятые в крупных городах, характеризуется ортогональной прокладкой линий, однородной плотностью размещения пользователей и прямоугольными территориями, обслуживаемыми одним УД (ТУД).
2. Модель секторной структуры СД, полученная при анализе АС в малых городах, характеризуется радиальной прокладкой линий, разнородной плотностью распределения пользователей и трапециевидными формами ТУД. В этом случае предполагается, что СД подключается к нескольким УПУ, которые находятся за пределами территории, обслуживаемой этой сетью.

Подробное описание этих моделей, расчет характеристик ЛД и оптимизация размещения УД, с учетом особенностей моделей СД, изложены авторами в работах [23-27]. В работе [23] предоставлены результаты исследования влияния вариации прогнозируемых параметров на характеристики проектируемых СД. Для получения этих результатов разработано программное обеспечение,

---

позволяющее определить варианты размещения УД и вычислить стоимость будущей сети. В работе [24] предложен метод определения длины ЛД, учитывающий конфигурацию и градостроительные решения на территории, обслуживаемой СД. Приведены расчеты для транспортного и локального сегментов СД. В [25] рассмотрены различные варианты подключения пользователей к УПУ и предложен метод определения местоположения УД для прямоугольной конфигурации модели СД. Анализ особенностей различных вариантов подключения пользователей к УПУ позволил предложить формулы расчета длины сегмента локального доступа для каждого варианта подключения. Представленный метод может быть использован при проектировании СД путем модернизации существующей абонентской телефонной сети.

Особенности определения местоположения УД для радиальной структуры подключения ЛД при использовании секторной модели СД и различных вариантах подключения пользователей к УПУ рассмотрены в работе [26]. Связь между прогнозируемыми входными параметрами и характеристиками СД рассмотрена в [27]. При внедрении научных методов в область проектирования в первую очередь возникает потребность в достоверных прогнозах. Правильный прогноз позволяет изначально выбрать соответствующую структуру сети, так как любые позднейшие изменения связаны с дополнительными расходами. Так как ошибка прогнозирования может привести к существенным незапланированным затратам, определение влияния таких ошибок на характеристики СД является важной задачей. Авторами предложен метод оценки чувствительности СД к вариациям прогнозируемых параметров, для чего разработаны алгоритм и программный продукт реализации метода.

Если организуется сеть доступа к *NGN*, естественно основная базовая сеть не выделяется, поскольку функции УД в этом случае выполняет *Softswitch*, либо другое оборудование, реализующее функции уровня управления и коммутации *NGN* для предоставления всей совокупности услуг, затребованных пользователями на обслуживаемой территории. Поскольку ЛД предназначены не только для телефонной связи, но и для передачи разнородной цифровой информации, необходимо учитывать допустимые значения затухания и сопротивления ЛД для качественной передачи информации любого вида (речь, данные, неподвижные и подвижные изображения, а также мультимедиа).

---

### Определение пропускной способности узлов и линий доступа

---

В сетях доступа может использоваться одноуровневая или двухуровневая структура подключения узлов доступа (рис.4). При использовании одноуровневой структуры пользователи включаются в УД, которые подключены непосредственно к УПУ. При использовании двухуровневой структуры УД могут быть первого (УД1) или второго (УД2) уровня, при этом УД2 подключаются к УД1 и не имеют непосредственной связи с УПУ. Выбор структуры подключения УД осуществляется следующим образом.

Количество конечных устройств, подключаемых к УД, можно определить из выражения:

$$N_p = (N_1 + N_2 + N_3 + N_4) \gamma_1 \quad (3)$$

где  $N_1$  – количество точек подключения терминального оборудования для пользователей делового и квартирного секторов;

$N_2$  – количество пунктов коллективного (всеобщего) доступа;

$N_3$  – количество арендуемых линий доступа (5-10% от  $N_1$ );

$N_4$  – количество соединительных линий для подключения узлов доступа, реализованных в виде концентраторов, абонентских мультиплексоров или базовых станций беспроводного доступа к фиксированной базовой сети;

$\gamma_1$  – эксплуатационный запас кабеля на сегменте локального доступа (15-20%).

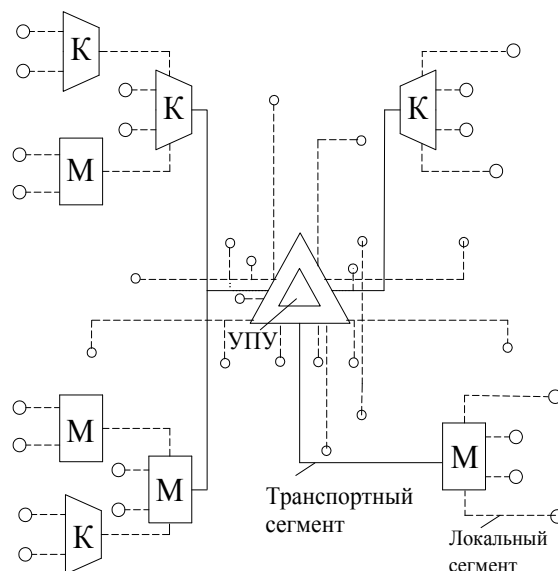


Рис.4 – Варианты организации линий доступа

Исходя из этого, пропускная способность УД определяется как:

$$\omega_{УД} = N_p + \omega_1 \gamma_2 + n_2 \omega_2 \quad (4)$$

где  $\omega_1$  – пропускная способность транспортного сегмента доступа, соединяющего УД с УПУ;

$\omega_2$  – пропускная способность канала связи между УД, если используется двухуровневая структура, при одноуровневой структуре подключения УД  $\omega_2 = 0$ ;

$\gamma_2$  – эксплуатационный запас кабеля сегмента транспортного доступа на участке УПУ – УД (2-3%);

$n_2$  – количество УД2.

Суммарная пропускная способность каналов сегмента транспортного доступа, которые необходимо подключить к УД при одноуровневой структуре, определяется по формуле:

$$\omega_1' = N_p + \varphi \sqrt{N_p} \quad (5)$$

где  $N_p$  – количество точек подключения терминального оборудования пользователей, подключаемых к УД в на территории, обслуживаемой этим узлом (ТУД);

$\varphi \sqrt{N_p}$  – слагаемое, учитывающее возможное отклонение числа точек подключения оборудования пользователя от расчетной величины.

При выборе структуры подключения УД необходимо проверить условие:

$$\sum_{i=1}^n I_{1i} \omega_1' = \sum_{i=1}^{n_1} I_{1i} \omega_1 + \sum_{i=1}^{n_2} I_{1-2i} \omega_2 \quad (6)$$

где  $I_{1i}$  – длина сегмента транспортного доступа, включенного в  $i$ -й УД1;

$I_{1-2i}$  – длина линии связи между УД1 и УД2;

$\omega_1'$  – пропускная способность транспортного сегмента при одноуровневой структуре;

$n$  – суммарное число УД первого и второго уровня;

$n_1$  – число УД1;

$n_2$  – число УД2.

Если правая сторона выражения равна или меньше левой, предпочтение отдается варианту с применением связи между УД.

На территории СД может располагаться несколько УД, чем меньше количество УД, тем больше должна быть их пропускная способность и длина локального сегмента доступа. А основным требованием к перспективным СД является минимизация длины локального сегмента при гарантированной пропускной способности. Поэтому, при оптимизации количества УД должно быть наложено дополнительное условие на минимизацию длины локального сегмента.

### Оптимизация числа узлов доступа и размеров территории обслуживания

Оптимальное количество УД определяется следующим образом.

Пусть на территории квадратной формы площадью  $S$  и длиной стороны  $a$  размещен один УПУ и  $n$  УД.

Так как  $a = \sqrt{S}$ , то средняя длина сегмента транспортного доступа:

$$I_T = \sqrt{S/2} \quad (7)$$

средняя длина сегмента локального доступа:

$$I_L = \frac{\sqrt{S/n}}{2} \quad (8)$$

Отношение удельной стоимости транспортного доступа  $c_T$  к стоимости локального доступа  $c_L$ :

$$c_1 = c_T/c_L \quad (9)$$

Тогда, суммарные затраты на построение сети доступа:

$$C = c_T \omega_1 \frac{\sqrt{S}}{2} n + \frac{c_T}{c_1} N_{Л1} \frac{\sqrt{S/n}}{2} nz \quad (10)$$

где  $z = N_0/nN_{Л1}$  – количество УД на рассматриваемой территории;

$N_{Л1}$  – количество точек подключения оборудования пользователей к одному УД;

$N_0$  – количество точек подключения оборудования пользователей, подключенных к УПУ.

После некоторых преобразований получаем:

$$C = \frac{c_T \omega_1 \sqrt{S} n}{2} + \frac{c_T N_0 \sqrt{S}}{2c_1 \sqrt{n}} \quad (11)$$

Дифференцируя это выражение по  $n$  и приравнявая к нулю, получим:

$$\frac{c_T \omega_1 \sqrt{S}}{2} - \frac{c_T N_0 \sqrt{S}}{4c_1 \sqrt{n^3}} = 0 \quad (12)$$

Отсюда, оптимальное количество УД на рассматриваемой территории равно

$$n = \sqrt[3]{N_0^2 / 4c_1^2 \omega_1^2} \quad (13)$$

При равномерном распределении оборудования пользователей на обслуживаемой территории для минимизации длины сегмента локального доступа УД следует размещать в центре ТУД. Но так как между УД и УПУ находится сегмент транспортного доступа, то место расположения УД переместится на некоторое расстояние в направлении к УПУ.

Для определения оптимальных размеров территории СД, будем исходить из общего уравнения затрат на линии доступа.

$$C = c_{TK} l_{TK} + c_{ЛК} l_{ЛК} + c_T L_T + \beta_T l_T \omega_T + c_{ЛЛ} L_{ЛЛ} + \beta_{ЛЛ} l_{ЛЛ} \omega_{ЛЛ} + c_{уд} + c'_{уд} N_{Л1} + c_n v_n, \quad (14)$$

где  $C$  – полные затраты на создание сети доступа;

$c_{TK}$  – стоимость единицы длины прокладки трассы кабеля транспортного сегмента ЛД;

$l_{TK}$  – длина прокладки трассы кабеля транспортного сегмента ЛД;

$c_{ЛК}$  – стоимость единицы длины прокладки трассы кабеля локального сегмента ЛД;

$l_{ЛК}$  – длина прокладки трассы кабеля локального сегмента ЛД;

$c_T$  – начальная стоимость единицы длины кабеля транспортного сегмента ЛД;

$L_T$  – суммарная длина кабеля транспортного сегмента ЛД;

$l_T$  – средняя длина транспортного сегмента одной ЛД;

$\beta_T$  – коэффициент, учитывающий зависимость стоимости кабеля транспортного сегмента ЛД от его пропускной способности;

$\omega_T$  – пропускная способность транспортного сегмента ЛД;

$c_{ЛЛ}$  – начальная стоимость единицы длины кабеля локального сегмента ЛД;

$L_{ЛЛ}$  – суммарная длина кабеля локального сегмента ЛД;

$l_{ЛЛ}$  – средняя длина локального сегмента одной ЛД;

$\beta_{ЛЛ}$  – коэффициент, учитывающий зависимость стоимости кабеля локального сегмента ЛД от его пропускной способности;

$\omega_{ЛЛ}$  – пропускная способность локального сегмента ЛД;

$c_{уд}$  – начальная стоимость УД;

$c'_{уд}$  – стоимость УД, зависящая от пропускной способности;

$c_{\Pi}$  – стоимость единичного порта УПУ;

$v_{\Pi}$  – количество портов УПУ

Для оптимизации количества УД по критерию минимальной стоимости минимизируем общие затраты

$$C \rightarrow \min .$$

Для оптимизации размеров ТУД, длина и ширина которой обозначены как  $l_1$  и  $l_2$ , необходимо знать поверхностную плотность пользователей, которая связана с ними следующим соотношением.

$$p = hl_1l_2 \quad (15)$$

При использовании модели прямоугольной структуры СД, предложены выражения для определения оптимальных размеров ТУД:

$$l_1^2 = \frac{c_{yД} + \frac{L_{\Gamma}}{4} - \omega_{\Gamma}\beta - (c_{\text{ТК}} + c_{\text{К}}d_0)\sqrt{\frac{\omega_{\Pi}}{h}}}{l_2h\left[\frac{\beta}{4}(1-\delta^2) + c_{\text{К}}d_1l_2\sqrt{\frac{h}{\omega_{\Pi}}}\right] - \frac{c_{\text{ТК}}}{L_1}(1+\delta)} \quad (16)$$

$$l_2^2 = \frac{c_{\text{ТК}}\left[1 - \frac{l_1}{L_1}(1+\delta)\right] + \frac{c_{yД}}{l_1} + \frac{L_{\Pi}}{4l_1}\omega_{\Gamma}\beta - \frac{1}{l_1}(c_{\text{ТК}} + c_{\text{К}}d_0)\sqrt{\frac{\omega_{\Pi}}{h}}}{h\left[\frac{\beta}{4}(1-\delta^2) + c_{\text{К}}d_1l_1\sqrt{\frac{h}{\omega_{\Pi}}}\right] - \frac{c_{\text{ТК}}}{L_1L_2}(1+\delta)} \quad (17)$$

где:  $d_0, d_1$  – коэффициенты, для определения длины кабеля на основе длины проложенной трассы;

$\delta$  – степень отклонения местоположения УД от центра ТУД;

$L_1, L_2$  – размеры территории, обслуживаемой СД;

Решение обоих уравнений возможно итерационным способом.

## Заключение

Предложен подход к определению структурных характеристик сетей доступа, учитывающий особенности обслуживаемой территории, градостроительные решения. Эти характеристики включают: длину и пропускную способности линий доступа, количество, место размещения и пропускную способность узлов доступа. Применение этого подхода обеспечивает экономию стоимости проектирования сети доступа на 8-10% в сравнении с существующими методами.

Предложенный подход позволяет планировать как полностью новые СД, так и отдельные ее части, определяя оптимальную территорию сети, количество, пропускную способность и места расположения узлов доступа.

## Литература

Соколов Н.А. Телекоммуникационные сети. – М.: Альварес Паблшинг, 2004. - 258 с.

Про телекомунікації: Закон України від 18.11.2003 №1280-IV.

Соколов Н.А. Сети абонентского доступа: перспективы развития / Н.А. Соколов. // Электросвязь. – 1997. – № 11.

- 
- Гайворонская Г.С., Котова А.И. Структурные характеристики абонентских линий // Холодильна техніка і технологія. – Одеса : ОДАХ, 2009. – №4 (120). – С. 78- 81.
- Гайворонская Г. С. Исследование параметров абонентских линий на сельских сетях Украины // Труды VIII Международной науч.-практ. конф. "Системы и средства передачи и обработки информации". – Одесса: УГАС, 2003. – С. 86.
- Гайворонская Г.С. Особенности реализации транспортного сегмента при модернизации сети абонентского доступа // Вісник УБЕНТЗ. – 2003. – №1. – С. 173-181.
- Гайворонская Г.С., Котова А.И. Оценка параметров абонентских линий // Материалы IV Международной НТК "Современные информационно-коммуникационные технологии": Збірник тез. К.: ДУІКТ, 2008. - С. 62.
- Гайворонская Г. С., Котова А. И. Исследование структурных характеристик абонентских линий. / COMINFO'2009 – Livadia // Збірник тез V МНТК «Сучасні інформаційно-комунікаційні технології». – К.: ДУІКТ, 2009. – С.78-80.
- Гайворонская Г. С., Котова А. И. Исследование структурных характеристик абонентских линий непараметрическими методами обработки статистики // Сборник тезисов IX Международной НТК «Математическое моделирование и информационные технологии».. – Одесса : ОГАХ, 2009. – С.102.
- Бирюков Н.Л., Коваленко С.Ф. Транспортные функции сети доступа в документах МСЭ // Вестник связи. – 2003. - № 4.
- Гольдштейн Б.С., Орлов О.П., Ошев А.Т., Соколов Н.А. Эволюция услуг в сетях следующего поколения // Вестник связи. – 2003. - № 7.
- Пинчук А.В., Соколов Н.А. Прагматическая стратегия перехода к NGN // Вестник связи. – 2006. - № 6.
- Лесин Л.М., Пинчук А.В., Соколов Н.А. Модернизация сетей телефонной связи: вектор эволюции // Connect! Мир связи. – 2007. - № 2.
- Гайворонская Г.С. Концепция пользовательского доступа: Учебник для ВУЗов. – Одесса: ОГАХ, 2008. – 408 с.
- Гайворонская Г.С. Структура и функции сетей доступа: Учеб. пособ. по дисциплине «Системы доступа пользователя» Ч. 1. – Одесса. – ОГАХ. – 2008. – 67 с.
- Гайворонская Г.С. Уровневая модель сети доступа/Г.С. Гайворонская. – Вісник УБЕНТЗ. – №1. – 2004. – Киев. – С. 100-108
- Гайворонская Г.С. Проблема синтеза сетей пользовательского доступа / Г.С. Гайворонская // Материалы IV Международной научно-технической конференции "Современные информационно-коммуникационные технологии": Збірник тез. К. – ДУІКТ. – 2008. - С. 33.
- Гайворонська Г.С. Проблема организации оптимального доступа пользователей к базовым сетям. / Г.С. Гайворонская // Материалы НТК «Проблеми телекомунікацій»: Збірник тез. К. – НТУУ КПІ. – 2009. – С.29.
- Гайворонская Г.С. Концепция доступа пользователей к базовым телекоммуникационным сетям/Г.С.Гайворонская// – Вісник УБЕНТЗ №2.– Київ.– 2009.–С. 40-46.
- Гайворонская Г.С. Основные задачи модернизации сетей пользовательского доступа / Г.С. Гайворонская, А.И. Котова // Зв'язок. – 2010. – №2 (90). –С.32-36.
- Гайворонская Г.С. Выбор технологии доступа на основании анализа структурных характеристик существующих абонентских сетей / Г.С. Гайворонская, А.И. Котова // Холодильна техніка і технологія. – Одеса. – ОДАХ, 2010. – №2 (124). – С. 83-88.
- Соколов Н.А. Сети абонентского доступа. Принципы построения. – Пермь: ИПК «Звезда», 1999. - 254 с.

---

Гайворонська Г.С. Дослідження впливу помилок прогнозу вихідних даних на процес планування мереж доступу / Г.С. Гайворонська, С.В. Сахарова // Збірник наукових праць ВІТІ НТУУ „КПІ”. – 2010. – № 2., с 23-29.

Гайворонська Г.С. Метод визначення довжини ліній доступу для різноманітних конфігурацій території обслуговування / Гайворонська Г.С., Котова О.І. , Сахарова С.В. // Вісник Нац. ун-ту «Львівська політехніка». – Львів, 2010. – № 688: Комп'ютерні системи та мережі. –С.65-69.

Гайворонська Г.С. Метод определения местоположения узлов при использовании прямоугольной модели сети доступа / Г. С. Гайворонская, С.В. Сахарова // Холодильна техніка і технологія. – Одеса : ОДАХ, 2011. – №1 (129). –с.73-76.

Гайворонська Г.С. Особенности определения местоположения узлов доступа при использовании радиальной модели обслуживаемой территории. / Г.С.Гайворонская, С.В. Сахарова //Наукові праці ДонНТУ. – Донецьк: ДонНТУ, 2011.– №21 (183). – с. 82-86.

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.

---

### Благодарности

Настоящая работа была выполнена при поддержке интернационального проекта ITHEA XXI Института информационных теорий и их приложений FOI ITHEA и Ассоциации ADUIS Украина (Ассоциация разработчиков и пользователей интеллектуальных систем).

The paper is partially financed by the project ITHEA XXI of the Institute of Information Theories and the Association of Developers and Users of Intelligent Systems ADUIS Ukraine ([www.aduis.com.ua](http://www.aduis.com.ua)). [www.ithea.org](http://www.ithea.org) , [www.aduis.com.ua](http://www.aduis.com.ua)

---

### 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](mailto:gayvoronska@osar.odessa.ua)

Главные области научных исследований: оптимизация переходных периодов при эволюции телекоммуникационных сетей. Поток вызовов, нагрузка и межузловое тяготение в сетях. Проблемы создания перспективных сетей доступа и построения полностью оптических систем коммутации

**Александр Котова** – Институт информационных технологий Одесской государственной Академии холода, к.т.н., ст. преподаватель кафедры информационно-коммуникационных технологий; ул. Дворянская, 1/3, Одесса-26, 65026, Украина; тел. (048)-720-91-48, e-mail: [kotisa@mail.ru](mailto:kotisa@mail.ru) Главные области научных исследований: Проблемы создания перспективных сетей доступа

**Светлана Сахарова** – Институт информационных технологий Одесской государственной Академии холода, аспирант кафедры информационно-коммуникационных технологий; ул. Дворянская, 1/3, Одесса-26, 65026, Украина; тел. (048)-7209148; моб. (38067)-483-39-47; E – m: [switchonline@rambler.ru](mailto:switchonline@rambler.ru)

Главные области научного исследования: Проблемы создания перспективных сетей доступа



---

---

## СУЖЕНИЕ МНОЖЕСТВА ПАРЕТО НА ОСНОВЕ НЕЧЁТКОЙ ИНФОРМАЦИИ

Владимир Ногин

**Аннотация:** Обсуждается аксиоматический подход к решению проблемы сужения множества Парето на основе нечёткой информации об отношении предпочтения ЛПР, который развивается автором на протяжении ряда лет. Применение этого подхода предполагает принятие определённых четырёх аксиом «разумного» поведения человека (ЛПР) в процессе принятия решений. Предполагается, что в дополнение к указанным аксиомам известны некоторые сведения о нечётком отношении предпочтения ЛПР. На основе этих сведений можно сократить множество Парето и, тем самым, облегчить последующий выбор наилучших решений. Рассматриваются достоинства и недостатки указанного подхода, приводится иллюстративный пример.

**Ключевые слова:** множество Парето, многокритериальный выбор, нечёткий выбор

**ACM Classification Keywords:** F.4.3 – Decision problems, I.2.3. – Uncertainty, “fuzzy”, and probabilistic reasoning

---

### Введение

При решении различных прикладных задач принятия решений информация, требуемая для построения математической модели и осуществления окончательного выбора, как правило, является довольно расплывчатой, нечёткой. Удобным математическим инструментарием, с помощью которого выражается и учитывается подобного рода информация, является теория нечётких множеств, предложенная в [Zadeh, 1965]. В частности, для описания отношения предпочтения, которым лицо, принимающее решение (ЛПР), руководствуется в процессе выбора, можно использовать понятие нечёткого бинарного отношения. Такого рода отношение больше соответствует тем реальным ситуациям принятия решений, с которыми приходится человеку сталкиваться на практике.

В работе автора [Ногин, 2003] была дана математическая формулировка и приведено аксиоматическое обоснование известного еще с XIX в. принципа Эджворта–Парето для случая нечёткого отношения предпочтения ЛПР. Этот принцип является основополагающим при выборе наилучших решений в экономике и технике в тех случаях, когда приходится учитывать сразу несколько числовых функций (критериев). Выяснилось, что он не является универсальным, а справедлив лишь при решении определенного (хотя и достаточно широкого) класса задач нечёткого многокритериального выбора. За пределами этого класса его применение рискованно или же вообще недопустимо.

Для обоснованного сужения множества Парето с целью выбора «наилучших» вариантов необходима дополнительная информация о решаемой многокритериальной задаче. В качестве такой информации здесь рассматриваются нечёткие сведения об отношении предпочтения ЛПР, которые можно выявить в результате прямого опроса ЛПР. Приводится определение так называемого «кванта нечёткой информации» об отношении предпочтения и показывается, каким образом его можно использовать для

сужения множества Парето. Указывается, что учёт того или иного кванта может характеризоваться различной степенью сужения множества Парето, причём чаще всего это сужение будет содержать более одного варианта. Для высокой степени сужения рекомендуется использовать сразу несколько подобных квантов. В этом случае встаёт вопрос о непротиворечивости конечного набора квантов указанной информации. В этой связи формулируется необходимое и достаточное условие непротиворечивости произвольного конечного набора квантов нечёткой информации об отношении предпочтения. Выясняется, что в общем случае сужение множества Парето на основе произвольного набора квантов представляет сложную математическую задачу. Далее рассматривается так называемый замкнутый набор квантов нечёткой информации, для которого также формулируется критерий непротиворечивости и указывается, каким образом его можно использовать в процессе принятия решений. Изложение иллюстрируется примером. Обсуждаемый здесь подход представляет собой распространение аксиоматического подхода автора [Ногин, 2005] к сужению множества Парето на случай нечёткого отношения предпочтения.

### Сведения из теории нечётких множеств

Напомним основные понятия, связанные с нечёткими множествами и нечёткими отношениями.

Пусть  $A$  – некоторое непустое (универсальное) множество. Нечёткое множество  $X$  задается своей функцией принадлежности  $\lambda_X : A \rightarrow [0, 1]$ . При каждом  $x \in A$  число  $\lambda_X(x) \in [0, 1]$  интерпретируется как степень принадлежности элемента  $x$  нечёткому множеству  $X$ . В частном случае, когда функция  $\lambda_X$  принимает на множестве  $A$  лишь два значения 0 или 1, она превращается в характеристическую функцию обычного (чёткого) множества  $X$ . Функция принадлежности пустого нечёткого множества тождественно равна нулю. Все элементы множества  $A$ , имеющие положительную степень принадлежности, образуют суппорт данного нечёткого множества.

Обычно включение, объединение и пересечение нечётких множеств  $X$  и  $Y$  (в терминах функций принадлежности) определяются следующим образом

$$Y \supset X \Leftrightarrow \lambda_Y(y) \geq \lambda_X(x), \quad \lambda_{X \cup Y}(x) = \max\{\lambda_X(x); \lambda_Y(x)\}, \quad \lambda_{X \cap Y}(x) = \min\{\lambda_X(x); \lambda_Y(x)\}$$

для всех  $x \in A$ .

Для нечёткого множества  $\eta(\cdot)$ , заданного на линейном пространстве  $L$ , используют такие термины:

- *нечёткий конус*, если равенство  $\eta(x) = \eta(\alpha \cdot x)$  выполняется для всех  $\alpha > 0$  и  $x \in L$ ;
- *нечёткий острый конус*, если суппорт этого конуса является острым, т.е. ни один ненулевой элемент суппорта не содержит противоположного ему элемента;
- *нечёткое выпуклое множество*, если неравенство  $\eta(\theta x + (1 - \theta)y) \geq \min\{\eta(x), \eta(y)\}$  выполняется для всех  $x, y \in L$  и всех  $\theta \in [0, 1]$ .

Нечёткое (бинарное) отношение задаётся на множестве  $A$  с помощью функции принадлежности  $\mu : A \times A \rightarrow [0, 1]$ ; при этом число  $\mu(x, y) \in [0, 1]$  интерпретируется как степень уверенности в том, что элемент  $x$  находится в данном отношении с элементом  $y$ . Нечёткое отношение с функцией принадлежности  $\mu(\cdot, \cdot)$  называют

- *иррефлексивным*, если  $\mu(x, x) = 0 \quad \forall x \in A$ ;
- *транзитивным*, если  $\mu(x, z) \geq \min\{\mu(x, y); \mu(y, z)\} \quad \forall x, y, z \in A$ ;
- *нечётким конусным отношением* на линейном пространстве  $L$ , если найдется такой нечёткий конус  $\eta: L \rightarrow [0, 1]$ , что  $\mu(x, y) = \eta(x - y) \quad \forall x, y \in L$ ;
- *инвариантным относительно линейного положительного преобразования*, если оно задано на линейном пространстве  $L$  и выполняются равенства  $\mu(\alpha x, \alpha y) = \mu(x, y)$ ,  $\mu(x + c, y + c) = \mu(x, y) \quad \forall x, y \in L, \forall \alpha > 0, \forall c \in L$ .

---

### Задача многокритериального нечёткого выбора

---

Через  $X$  обозначим (чёткое) множество возможных решений (вариантов), содержащее по крайней мере два элемента. Как известно, выбор решений состоит в указании среди всех возможных такого решения, которое объявляется выбранным (наилучшим, или оптимальным), хотя в некоторых случаях происходит выбор не одного, а целого набора решений, составляющих определённое подмножество множества возможных решений. Нередко при выборе относительно некоторых решений очень трудно однозначно сказать «хорошие» они или «плохие». С одной стороны, такие решения обладают целым рядом достоинств, которые дают основания причислять их к приемлемым; с другой – эти решения не лишены определённых недостатков, что не позволяет безоговорочно включить их в число выбираемых решений. В таких и подобных им случаях деление всех возможных решений лишь на два класса – выбранных и не выбранных («хороших» и «плохих») – решений является слишком «грубым»; удобнее оказывается более гибкий подход – с позиций теории нечётких множеств, состоящий в приписывании каждому возможному решению некоторого числа в пределах от 0 до 1, выражающего степень принадлежности множеству выбираемых решений. Это число можно также трактовать как степень (или долю) положительных качеств данного решения.

Введём нечёткое множество выбираемых решений  $C(X)$ , а его функцию принадлежности обозначим  $\lambda_X^C(\cdot)$  (при этом универсальным считается множество возможных решений  $X$ ). Множество  $C(X)$  представляет собой решение задачи нечёткого выбора, и им может оказаться любое нечёткое подмножество множества возможных решений. Иными словами, решить задачу нечёткого выбора означает найти множество  $C(X)$  (точнее говоря, указать его функцию принадлежности).

Обычно выбранными оказываются такие возможные решения, которые наиболее полно удовлетворяют стремлениям, интересам и целям ЛПР. Желание ЛПР достичь определенной цели нередко удаётся в математических терминах выразить в виде максимизации (или минимизации) определённой числовой функции, заданной на множестве  $X$ . Однако в более сложных ситуациях приходится иметь дело не с одной, а сразу с несколькими функциями подобного типа. В соответствии с этим, пусть имеется  $m$  ( $m \geq 2$ ) числовых функций  $f_1, \dots, f_m$ , заданных на множестве  $X$ . Они образуют векторный критерий  $f = (f_1, \dots, f_m)$ , который принимает значения в  $m$ -мерном арифметическом пространстве  $R^m$ . Это пространство называют критериальным пространством, или пространством оценок (векторов), а всякое значение  $f(x) = (f_1(x), \dots, f_m(x)) \in R^m$  векторного критерия  $f$  при определенном решении  $x \in X$

именуют векторной оценкой решения  $x$ . Все векторные оценки образуют множество возможных векторов (оценок)  $Y = f(X) = \{y \in R^m \mid y = f(x) \text{ при некотором } x \in X\}$ .

Для того чтобы осуществить обоснованный выбор, следует помимо векторного критерия располагать дополнительными сведениями о предпочтениях, вкусах ЛПР. С этой целью необходимо включить в многокритериальную задачу дополнительный элемент, который позволил бы выразить и описать эти предпочтения. Таким элементом здесь является нечёткое отношение предпочтения ЛПР.

Рассмотрим два возможных решения  $x'$  и  $x''$ . Предположим, что после предъявления ЛПР этой пары решений оно отдаёт предпочтение первому со степенью уверенности  $\mu_X(x', x'') \in (0, 1]$ . Это означает, что данные два решения находятся в определённом нечётком отношении. В соответствии с этим будем считать, что на множестве возможных решений  $X$  задано нечёткое отношение предпочтения ЛПР, функция принадлежности которого есть  $\mu_X(\cdot, \cdot)$ . В частном случае это отношение может быть чётким. Сложность состоит в том, что на практике это отношение, как правило, полностью неизвестно.

Теперь можно окончательно перечислить все элементы задачи нечёткого многокритериального выбора (в терминах решений): множество возможных решений  $X$ , векторный критерий  $f$ , определённый на множестве  $X$ , а также нечёткое отношение предпочтения с функцией принадлежности  $\mu_X(\cdot, \cdot)$ , заданной на декартовом произведении  $X \times X$  и принимающей значения в пределах числового отрезка  $[0, 1]$ . Эту задачу можно сформулировать и в терминах векторов. С этой целью через  $S(Y)$  обозначим нечёткое множество выбираемых векторов, функция принадлежности которого естественным образом определяется функцией принадлежности нечёткого множества выбираемых решений

$$\lambda^c(y) = \begin{cases} \lambda_X^c(x), & \text{если } y = f(x) \text{ при некотором } x \in X \\ 0, & \text{если } y \in \hat{Y}, y \notin Y \end{cases}$$

Функцией  $\mu_X(\cdot, \cdot)$  индуцируется функция принадлежности  $\mu_Y(\cdot, \cdot)$  нечёткого отношения предпочтения на множестве  $Y$  следующим образом:

$$\mu_Y(y', y'') = \mu_X(x', x'') \quad \text{при } y' = f(x'), \quad y'' = f(x''), \quad x', x'' \in X.$$

В свою очередь, функция принадлежности нечёткого отношения предпочтения, заданного на множестве векторов  $Y$ , индуцирует функцию принадлежности нечёткого отношения предпочтения на множестве решений  $X$ .

В итоге задача нечёткого многокритериального выбора (в терминах векторов) включает множество возможных векторов  $Y$  и нечёткое отношение предпочтения с функцией принадлежности  $\mu_Y(\cdot, \cdot)$ , заданной на декартовом произведении  $Y \times Y$ , а заключается она в нахождении нечёткого множества выбираемых векторов  $S(Y)$  с функцией принадлежности  $\lambda^c(\cdot)$ . Сформулированные две задачи (в терминах решений и в терминах векторов) в известном смысле эквивалентны. Поэтому все результаты, полученные для одной из этих задач, могут быть без труда переформулированы для другой.

## Аксиомы нечёткого выбора

Сформулируем ряд требований (аксиом), которые в дальнейшем будут предполагаться выполненными.

**Аксиома 1.** Для всякой пары решений  $x', x'' \in X$ , для которых выполнено соотношение  $\mu_X(x', x'') = \mu^* \in [0, 1]$ , справедливо неравенство  $\lambda_X^C(x'') \leq 1 - \mu^*$ , или ему равносильное  $\lambda^C(y'') \leq 1 - \mu^*$ , где  $y' = f(x')$ ,  $y'' = f(x'')$ .

В частном случае  $\mu^* = 1$  в соответствии с Аксиомой 1 получаем, что доминируемое решение, т.е. решение, для которого существует более предпочтительное, не может входить в множество выбираемых решений  $C(X)$ . По этой причине данную аксиому принято называть аксиомой исключения доминируемых вариантов.

**Аксиома Парето.** Для любой пары решений  $x', x'' \in X$ , такой что  $f(x') \geq f(x'')$ , имеет место равенство  $\mu_X(x', x'') = 1$ .

Заметим, что в последней аксиоме векторное неравенство  $f(x') \geq f(x'')$  означает выполнение  $f_i(x') \geq f_i(x'')$  для всех  $i = 1, 2, \dots, m$ , причём  $f(x') \neq f(x'')$ .

Напомним определение множеств парето-оптимальных решений и векторов

$$P_f(X) = \{x^* \in X \mid \text{не существует } x \in X, \text{ для которого } f(x) \geq f(x^*)\}$$

$$P(Y) = \{y^* \in Y \mid \text{не существует } y \in Y, \text{ для которого } y \geq y^*\}.$$

Непосредственно из приведённых аксиом вытекает

**Принцип Эджворта-Парето** [ ]. В условиях выполнения Аксиомы 1 и Аксиомы Парето справедливы включения

$$C(X) \subset P_f(X), \quad C(Y) \subset P(Y).$$

В соответствии с данным принципом для достаточно широкого класса задач многокритериального выбора решение этих задач, т.е. нахождение множеств  $C(X)$  и  $C(Y)$ , сводится к отысканию (нечётких) подмножеств множества Парето. По этой причине и возникает так называемая *проблема сужения множества Парето* [Ногин, 2008], обоснованное решение которой невозможно без привлечения дополнительной информации. В данной работе в качестве такой информации используются сведения о характере поведения ЛПР в процессе принятия решений, выраженные в виде четырёх «разумных» аксиом, а также фрагментарные сведения о его нечётком отношении предпочтения.

**Аксиома 2.** Существует нечёткое отношение с функцией принадлежности  $\mu(\cdot, \cdot)$ , определённое на всём пространстве  $R^m$ , которое является иррефлексивным и транзитивным, причём  $\mu(y', y'') = \mu_Y(y', y'')$  для всех  $y', y'' \in Y$ .

Иными словами, в соответствии с данной аксиомой исходное нечёткое отношение предпочтения с функцией принадлежности  $\mu_Y(\cdot, \cdot)$  может быть продолжено на всё критериальное пространство, причём это продолжение должно быть иррефлексивным и транзитивным.

**Аксиома 3.** Критерии  $f_1(x), \dots, f_m(x)$  согласованы с отношением предпочтения в том смысле, что для любых  $y', y'' \in R^m$  из выполнения соотношений

$$y' = (y'_1, \dots, y'_{i-1}, y'_i, y'_{i+1}, \dots, y'_m), \quad y'' = (y''_1, \dots, y''_{i-1}, y''_i, y''_{i+1}, \dots, y''_m), \quad y'_i > y''_i$$

следует равенство  $\mu(y', y'') = 1$ .

Согласованность означает, что при прочих равных условиях ЛПР заинтересовано в максимизации значений по каждому из имеющихся критериев.

**Аксиома 4.** Нечёткое отношение с функцией принадлежности  $\mu(\cdot, \cdot)$  является инвариантным относительно линейного положительного преобразования.

### Квант нечёткой информации об отношении предпочтения и его использование для сужения множества Парето

Далее будем предполагать выполненными Аксиомы 1 – 4. Введем множество номеров критериев  $I = \{1, 2, \dots, m\}$ .

В основе используемого автором аксиоматического подхода к решению проблемы сужения множества Парето лежит следующее

**Определение 1.** Пусть имеются две группы (номеров) критериев  $A$  и  $B$  ( $A, B \subset I$ ,  $A \neq \emptyset$ ,  $B \neq \emptyset$ ,  $A \cap B = \emptyset$ ). Будем говорить, что задан квант нечёткой информации об отношении предпочтения с двумя заданными наборами положительных параметров  $w_i$  (для всех  $i \in A$ ),  $w_j$  (для всех  $j \in B$ ) и степенью уверенности  $\mu^* \in (0, 1]$ , если для всех векторов  $y', y'' \in R^m$ , для которых

$$y'_i - y''_i = w_i \quad \forall i \in A, \quad y''_j - y'_j = w_j \quad \forall j \in B, \quad y'_s = y''_s \quad \forall s \in I \setminus (A \cup B)$$

имеет место равенство  $\mu(y', y'') = \mu^*$ .

Наличие указанного кванта означает, что ЛПР готово идти на определённый компромисс, который выражается в согласии потерять по критериям  $f_j$  группы  $B$  не более чем  $w_j$  единиц (для всех  $j \in B$ ) для того, чтобы получить прибавку в размере не менее  $w_i$  единиц по критериям  $f_i$  (для всех  $i \in A$ ) группы  $A$ . При этом степень уверенности в указанном компромиссе ЛПР оценивает величиной параметра  $\mu^* \in (0, 1]$ . Благодаря наличию кванта нечёткой информации вектор  $y'$  доминирует вектор  $y''$  со степенью уверенности, равной  $\mu^*$ , а значит, согласно Аксиоме 1, степень вхождения второго вектора в множество выбираемых векторов не должна превышать  $1 - \mu^*$ . Тем самым, происходит уменьшение степени принадлежности парето-оптимального вектора  $y''$ , что можно рассматривать как определённое сужение множества Парето. Ясно, что подобное сужение в общем случае не представляется существенным. Однако одно из замечательных свойств рассматриваемого аксиоматического подхода состоит в том, что на самом деле, благодаря принятым Аксиомам 1 – 4, как правило, будет происходить значительно большее сужение множества Парето. Об этом свидетельствует следующий результат.

**Теорема 1.** Пусть имеется квант нечёткой информации в смысле определения 1. Тогда выполняются неравенства

$$\lambda^C(y) \leq \lambda^M(y) \leq \lambda^P(y) \quad \forall y \in Y,$$

где  $\lambda^C(y)$  – функция принадлежности нечёткого множества выбираемых векторов,  $\lambda^P(y)$  – характеристическая функция множества Парето, а  $\lambda^M(y)$  – функция принадлежности, определяемая равенствами

$$\lambda^M(y) = 1 - \sup_{z \in Y} \zeta(z, y) \quad \forall y \in Y,$$

$$\zeta(z, y) = \begin{cases} 1, & \text{если } z - y \in R_+^m, \\ \mu^*, & \text{если } \hat{z} - \hat{y} \in R_+^p, \quad z - y \notin R_+^m, \\ 0, & \text{в остальных случаях,} \end{cases} \quad \forall y, z \in Y,$$

где  $R_+^m = \{y \in R^m \mid y \geq 0_m\}$ ,  $p = m - |B| + |A| \cdot |B|$  и вектор  $\hat{y}$  (а также  $\hat{z}$ ) составлен из компонент  $y_i, i \in I \setminus B$ , (соответственно,  $z_i, i \in I \setminus B$ ), а остальные его компоненты имеют вид  $w_j y_i + w_i y_j$  (соответственно,  $w_j z_i + w_i z_j$ ) при всех  $i \in A, j \in B$ .

Здесь через  $|A|, |B|$  обозначены кардинальные числа соответствующих множеств.

Анализ формулировки последней теоремы показывает, что для построения нечёткого множества с функцией принадлежности  $\lambda^M(y)$  следует решить две (чёткие) многокритериальные задачи (точнее говоря, найти множества Парето в двух многокритериальных задачах). Начать следует с многокритериальной задачи, содержащей исходную векторную функцию  $f$  и множество возможных решений  $X$ . После чего всем векторам найденного множества Парето нужно присвоить степень принадлежности, равную единице, а остальным векторам – нулевую степень принадлежности. Затем на том же самом множестве возможных решений  $X$  необходимо решить многокритериальную задачу с новой (“пересчитанной”)  $p$ -мерной векторной функцией, имеющей компоненты  $f_i$  для всех  $i \in I \setminus B$  и  $w_j f_i + w_i f_j$  для всех  $i \in A, j \in B$ , после чего всем векторам “старого” множества Парето, которые не попали в “новое” множество Парето, на этот раз присвоить степень принадлежности  $1 - \mu^*$ . Тем самым, искомое множество, представляющее собой более точную оценку сверху для неизвестного множества выбираемых векторов, чем исходное множество Парето, будет построено.

**Пример.** Пусть  $m = 2$ ,  $Y = \{y^1, y^2, y^3, y^4\} \subset R^2$ ,  $y^1 = (0, 3)$ ,  $y^2 = (1, 1)$ ,  $y^3 = (2, 1)$ ,  $y^4 = (4, 0)$ . В данном случае множество парето-оптимальных векторов состоит из трех элементов:  $\lambda_V^P(y^1) = \lambda_V^P(y^3) = \lambda_V^P(y^4) = 1$ ,  $\lambda_V^P(y^2) = 0$ , так как  $y^3 \geq y^2$ . Предположим, что от ЛПР получена информация в виде нечёткого кванта с параметрами  $w_1 = 3$ ,  $w_2 = 7$ ,  $A = \{1\}$ ,  $B = \{2\}$  и  $\mu^* = 0.6$ . В соответствии с теоремой 1, имеем

$$\hat{y}^1 = (0,0.9), \hat{y}^2 = (1,1), \hat{y}^3 = (2,1.7), \hat{y}^4 = (4,2.8)$$

$$\zeta(y^1, y^2) = \zeta(y^1, y^3) = \zeta(y^1, y^4) = \zeta(y^2, y^3) = \zeta(y^2, y^4) = \zeta(y^3, y^4) = 0$$

$$\zeta(y^2, y^1) = \zeta(y^3, y^1) = \zeta(y^4, y^1) = \zeta(y^4, y^2) = \zeta(y^4, y^3) = 0.6, \zeta(y^3, y^2) = 1$$

$$\lambda^M(y^1) = 1 - \max\{0.6, 0.6, 0.6\} = 0.4, \lambda^M(y^2) = 1 - \max\{0, 1, 0.6\} = 0,$$

$$\lambda^M(y^3) = 1 - \max\{0, 0, 0.6\} = 0.4, \lambda^M(y^4) = 1 - \max\{0, 0, 0\} = 1.$$

Нечёткое множество с функцией принадлежности  $\lambda^M(y^1) = 0.4$ ,  $\lambda^M(y^2) = 0$ ,  $\lambda^M(y^3) = 0.4$ ,  $\lambda^M(y^4) = 1$  даёт оценку сверху для неизвестного множества выбираемых векторов в том смысле, что множество выбираемых векторов содержится в указанном нечётком множестве.

К той же самой оценке сверху можно прийти более простым путем, действуя следующим образом. На первом шаге присвоим всем парето-оптимальным векторам исходной многокритериальной задачи степень принадлежности, равную 1, а остальным векторам (в данном случае одному второму вектору  $y^2$ ) степень принадлежности, равную 0. На втором шаге найдём парето-оптимальные векторы множества "пересчитанных" векторов  $\{\hat{y}^1, \hat{y}^3, \hat{y}^4\}$ . Таковым оказывается единственный вектор  $\{\hat{y}^4\}$ . Следовательно, первому и третьему векторам (т.е.  $y^1, y^3$ ) следует присвоить степень принадлежности, равную  $1 - 0.6 = 0.4$ . В итоге приходим к уже найденной выше оценке сверху.

**Замечание.** Из приведённого примера видно, что в общем случае сужение множества Парето за счёт использования кванта нечёткой информации не приводит к однозначному выбору. Более того, заранее нельзя определить насколько значительным окажется сужение при использовании того или иного кванта информации (в некоторых случаях сужения может и не произойти). Можно сказать, что при готовности ЛПР идти на существенный компромисс (это будет в случае  $w_j \gg w_i$ ) и параметре  $\mu^*$  равном или близком к 1, можно ожидать большего сокращения множества Парето, чем в противном случае. Однако следует заметить, что указанная степень сужения в значительной мере зависит не только от используемого кванта информации (т.е. от величин  $w_i$ ,  $w_j$  и  $\mu^*$ ), но и от структуры множества возможных решений  $X$ , а также от вида векторного критерия  $f$ . Данное положение хорошо согласуется с обыденными представлениями человека о «ценности» информации – одно и то же сообщение может нести разный смысл и иметь различную ценность для различных людей.

Для того чтобы получить большую степень сужения множества Парето, можно использовать не один, а сразу несколько квантов информации. Об этом пойдёт речь в следующем разделе.

### Непротиворечивый набор квантов нечёткой информации и их использование для сужения множества Парето

В задании кванта нечёткой информации (определение 1) участвуют два определённым образом связанных друг с другом вектора  $y', y'' \in R^m$ . Для этих векторов справедливо равенство  $\mu(y', y'') = \mu^*$ . Согласно Аксиоме 4, бинарное отношение  $\mu(\cdot, \cdot)$  является инвариантным, поэтому последнее равенство



можно переписать в виде  $\mu(y' - y'', 0_m) = \mu^*$ . Это означает, что квант нечёткой информации может быть задан с помощью указания вектора  $u = y' - y''$ , имеющего хотя бы одну положительную и хотя бы одну отрицательную компоненты, а также числа  $\mu^*$ , такого что  $\mu(u, 0_m) = \mu^*$ . Обозначим через  $N^m$  множество всех  $m$ -мерных векторов, имеющих по крайней мере одну положительную и одну отрицательную компоненты.

Рассмотрим общий случай, когда имеется не один, а сразу несколько квантов нечёткой информации. Тем самым, пусть задан набор векторов  $\{u^s\}_{s=1}^k \subset N^m$  и чисел  $\{\mu_s\}_{s=1}^k \subset (0, 1]$ . Обозначим через  $\mu_{11}, \dots, \mu_{1k_1}; \mu_{21}, \dots, \mu_{2k_2}; \dots; \mu_{l1}, \dots, \mu_{lk_l}$  такую перестановку чисел  $\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_k$ , что

$$1 \geq \mu_{11} = \dots = \mu_{1k_1} > \mu_{21} = \dots = \mu_{2k_2} > \dots > \mu_{l1} = \dots = \mu_{lk_l} > 0,$$

где  $k_1 + \dots + k_l = k$ ,  $1 \leq l \leq k$ . Тем самым, имеет место следующее взаимно однозначное соответствие: каждому вектору  $u^s$  соответствует определённое положительное число  $\mu_{rt}$  ( $r \in \{1, 2, \dots, l\}$ ,  $t \in \{1, 2, \dots, k_r\}$ ), такое, что  $\mu_s = \mu_{rt}$ . Обратно, каждому числу  $\mu_{rt}$ , ( $r \in \{1, 2, \dots, l\}$ ,  $t \in \{1, 2, \dots, k_r\}$ ) отвечает определённый вектор из набора  $u^s \in N^m$ ,  $s = 1, 2, \dots, k$ .

Пусть  $e^i$  – единичный орт векторного пространства  $R^m$ . Введем (чёткие) выпуклые конусы  $K_h$ ,  $h \in \{1, \dots, l\}$ , порождаемые единичными векторами  $e^1, \dots, e^m$  и всеми теми векторами, которым отвечают числа  $\mu_i$  ( $\mu_i = \mu_{rs}$  при некоторых  $r, s$ ), причем  $\mu_i \geq \mu_{h1}$ . Они представляют собой совокупность линейных неотрицательных комбинаций указанных векторов. Из приведённого определения немедленно вытекают включения  $K_1 \subset K_2 \subset \dots \subset K_l$ .

**Определение 2.** Векторы  $\{u^s\}_{s=1}^k \subset N^m$  вместе с числами  $\mu_1, \dots, \mu_k \in (0, 1]$ ,  $k \geq 1$ , задают *непротиворечивый (совместный) набор квантов нечёткой информации*, если существует хотя бы одно нечёткое отношение предпочтения с функцией принадлежности  $\mu(\cdot, \cdot)$ , удовлетворяющее аксиомам 2–4 и такое, что  $\mu(u^i, 0_m) = \mu_i$ ,  $i = 1, \dots, k$ .

**Теорема 2.** Для того чтобы векторы  $u^i \in N^m$ ,  $i = 1, 2, \dots, k$ , вместе с набором чисел  $\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_k \in (0, 1]$  задавали непротиворечивый набор квантов нечёткой информации, необходимо и достаточно, чтобы ни один конус  $K_h$ ,  $h \in \{2, \dots, l\}$ , не содержал вектора  $u^i$ ,  $i \in \{1, 2, \dots, k\}$ , которому соответствует число  $\mu_i$ , такое, что  $\mu_i < \mu_{h1}$ , и, кроме того, однородная система линейных уравнений

$$\lambda_1 e^1 + \dots + \lambda_m e^m + \xi_1 u^1 + \dots + \xi_k u^k = 0_n$$

не имела ни одного ненулевого неотрицательного решения относительно  $\lambda_1, \dots, \lambda_m, \xi_1, \dots, \xi_k$ .

В работе [Богданова, Ногин 2007] указывается, каким образом можно сузить множество Парето на основе двух квантов нечёткой информации специального вида. Этот учёт также сводится к решению нескольких (чётких) задач построения множества Парето.

Далее приведём некоторые результаты, которые были получены недавно Захаровым А.О. Заметим, что на данный момент задача сужения множества Парето на основе произвольного конечного набора квантов нечёткой информации полностью ещё не решена.

Напомним, что  $I$  есть множество всех номеров критериев  $\{1, \dots, m\}$ . Пусть  $I_k$  некоторое его подмножество, т.е.  $I_k \subseteq I$ ;  $I_k = \{i_1, \dots, i_k\}$ ,  $i_j \in \{1, \dots, m\}$ ,  $j = 1, \dots, k$ .

**Определение 3.** Будем говорить, что задан набор нечёткой замкнутой информации со степенями уверенности  $\mu_1, \dots, \mu_k \in (0, 1]$  и положительными параметрами  $w_{i_1}^{(1)}, w_{i_2}^{(1)}, w_{i_2}^{(2)}, w_{i_3}^{(2)}, \dots, w_{i_{k-1}}^{(k-1)}, w_{i_k}^{(k-1)}, w_{i_k}^{(k)}, w_{i_1}^{(k)}$ , если для векторов  $y^{(1)}, \dots, y^{(k)} \in R^m$  таких, что

$$\begin{aligned} y_{i_1}^{(1)} &= w_{i_1}^{(1)}, & y_{i_2}^{(1)} &= -w_{i_2}^{(1)}, & y_s^{(1)} &= 0, & \forall s \in I \setminus \{i_1, i_2\}; \\ y_{i_2}^{(2)} &= w_{i_2}^{(2)}, & y_{i_3}^{(2)} &= -w_{i_3}^{(2)}, & y_s^{(2)} &= 0, & \forall s \in I \setminus \{i_2, i_3\}; \\ & \dots & & & & & \\ y_{i_k}^{(k)} &= w_{i_k}^{(k)}, & y_{i_1}^{(k)} &= -w_{i_1}^{(k)}, & y_s^{(k)} &= 0, & \forall s \in I \setminus \{i_1, i_k\} \end{aligned}$$

справедливы равенства  $\mu(y^{(1)}, 0_m) = \mu_1, \dots, \mu(y^{(k)}, 0_m) = \mu_k$ .

Введём матрицу

$$W = \begin{pmatrix} w_{i_1}^{(1)} & 0 & \dots & 0 & -w_{i_1}^{(k)} \\ -w_{i_2}^{(1)} & w_{i_2}^{(2)} & \dots & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & w_{i_{k-1}}^{(k-1)} & 0 \\ 0 & 0 & \dots & -w_{i_k}^{(k-1)} & w_{i_k}^{(k)} \end{pmatrix}.$$

**Теорема 3.** Указанный набор квантов нечёткой замкнутой информации непротиворечив в том и только случае, когда определитель матрицы  $W$  строго положителен.

Перейдём к вопросу использования произвольного конечного набора квантов нечёткой информации для сужения множества Парето. К настоящему времени в этом направлении получены лишь отдельные результаты, которые показывают, каким образом следует использовать тот или иной набор квантов специального вида. Пусть задан набор квантов нечёткой замкнутой информации в случае трех критериев со степенями уверенности  $\mu_1, \mu_2, \mu_3 \in (0, 1]$ , что, согласно определению 3, означает, что векторы  $y^{(1)}, y^{(2)}, y^{(3)} \in R^m$  с компонентами

$$\begin{aligned} y_i^{(1)} &= w_i^{(1)}, & y_j^{(1)} &= -w_j^{(1)}, & y_s^{(1)} &= 0 & \forall s \in I \setminus \{i, j\}, \\ y_j^{(2)} &= w_j^{(2)}, & y_l^{(2)} &= -w_l^{(2)}, & y_s^{(2)} &= 0 & \forall s \in I \setminus \{j, l\}, \\ y_i^{(3)} &= w_i^{(3)}, & y_i^{(3)} &= -w_i^{(3)}, & y_s^{(3)} &= 0 & \forall s \in I \setminus \{l, i\} \end{aligned}$$

удовлетворяют равенствам  $\mu(y^{(1)}, 0_m) = \mu_1, \mu(y^{(2)}, 0_m) = \mu_2, \mu(y^{(3)}, 0_m) = \mu_3$ . При этом будем считать, что данная информация непротиворечива.

Упорядочим числа  $\mu_1, \mu_2, \mu_3$  так, чтобы  $\tilde{\mu}_1 \geq \tilde{\mu}_2 \geq \tilde{\mu}_3$ , где  $\tilde{\mu}_1, \tilde{\mu}_2, \tilde{\mu}_3$  есть некоторая перестановка чисел  $\mu_1, \mu_2, \mu_3$ . Рассмотрим случай  $\mu_1 \geq \mu_2 \geq \mu_3$ . Пусть этим числам  $\mu_1, \mu_2, \mu_3$  соответствует упорядоченный набор векторов  $y^{(1)}, y^{(2)}, y^{(3)}$ . Следует заметить, что под данный случай подпадают и ситуации, когда  $\mu_3 \geq \mu_1 \geq \mu_2$  и  $\mu_2 \geq \mu_3 \geq \mu_1$ .

Введём функцию принадлежности

$$\lambda_Y^M(y) = 1 - \sup_{z \in Y} \zeta(z, y) \quad \forall y \in Y,$$

где

$$\zeta(z, y) = \begin{cases} 1, & \text{если } z - y \in R_+^m, \\ \mu_1, & \text{если } \bar{z} - \bar{y} \in R_+^m, z - y \notin R_+^m, \\ \mu_2, & \text{если } \tilde{z} - \tilde{y} \in R_+^m, \bar{z} - \bar{y} \notin R_+^m, \\ \mu_3, & \text{если } \hat{z} - \hat{y} \in R_+^m, \tilde{z} - \tilde{y} \notin R_+^m, \\ 0, & \text{в остальных случаях,} \end{cases} \quad \forall y, z \in Y, y \neq z,$$

а векторы  $\bar{a}, \tilde{a}, \hat{a}$ , где  $a = (a_1, \dots, a_m) \in \{y, z\}$ , определяются следующим образом

$$\begin{aligned} \bar{a} &= a + (w_j^{(1)} a_i + (w_i^{(1)} - 1) a_j) e^j, \\ \tilde{a} &= a + (w_j^{(1)} a_i + (w_i^{(1)} - 1) a_j) e^j + (w_i^{(2)} w_j^{(1)} a_i + w_i^{(2)} w_i^{(1)} a_j + (w_j^{(2)} w_i^{(1)} - 1) a_i) e^l, \\ \hat{a} &= a + ((w_i^{(2)} w_i^{(3)} - 1) a_i + w_i^{(2)} w_i^{(3)} a_j + w_j^{(2)} w_i^{(3)} a_i) e^i + (w_j^{(1)} w_i^{(3)} a_i + (w_i^{(1)} w_i^{(3)} - 1) a_j + w_j^{(1)} w_i^{(3)} a_i) e^j + \\ &\quad + (w_i^{(2)} w_j^{(1)} a_i + w_i^{(2)} w_i^{(1)} a_j + (w_j^{(2)} w_i^{(1)} - 1) a_i) e^l. \end{aligned}$$

**Теорема 4.** Пусть имеется указанный выше набор квантов непротиворечивой нечёткой замкнутой информации. Тогда для любой функции принадлежности  $\lambda^C(\cdot)$  нечёткого множества выбираемых векторов  $S(Y)$  справедливо неравенство

$$\lambda^C(y) \leq \lambda_Y^M(y) \leq \lambda_Y^P(y) \quad \text{для всех } y \in Y,$$

где функция  $\lambda_Y^M(\cdot)$  определена выше.

## Заключение

Рассмотрена задача многокритериального выбора, включающая множество возможных решений, векторный критерий и нечёткое отношение предпочтения ЛПП, относительно которого имеются лишь некоторые фрагментарные сведения в виде так называемых квантов нечёткой информации. Предполагается, что ЛПП в процессе принятия решений ведёт себя «разумно», т.е. в соответствии с Аксиомами 1- 4. В этом случае имеющаяся в наличии нечёткая информация может быть использована для сужения множества Парето и облегчения последующего выбора наилучших решений. Получен ряд результатов, которые можно рассматривать как определённые правила учёта квантов нечёткой

---

информации в процессе принятия решений, однако в общем случае задача сужения множества Парето на основе произвольного конечного набора квантов нечёткой информации ещё не получила своего окончательного решения.

---

### Благодарность

---

Автор выражает признательность ITHEA International Scientific Society за финансовую поддержку .

---

### Литература

---

[Zadeh, 1965] Zadeh L.A. Fuzzy sets //Information and Control. 1965. Vol. 8. P. 338–353.

[Ногин, 2003] Ногин В.Д. Принцип Эджворта – Парето и относительная важность критериев в случае нечёткого отношения предпочтения//Журнал вычислительной математики и математической физики. 2003. Т. 43. № 11. С. 1676–1686.

[Ногин, 2005] Ногин В.Д. Принятие решений в многокритериальной среде: количественный подход (изд. 2, испр. и доп.). М.: Физматлит. 2005. 176 с.

[Ногин, 2008] Ногин В.Д. Проблема сужения множества Парето: подходы к решению//Искусственный интеллект и принятие решений. 2008. № 1, С. 98-112.

[Богданова, Ногин 2007] Богданова А.В., Ногин В.Д. Сужение множества Парето на основе простейших наборов нечёткой информации об относительной важности критериев//Вестник С.-Петербур. ун-та. Сер. 10: «Прикладная математика. Информатика. Процессы управления». 2007. Вып. 2. С. 3–17.

---

### Информация об авторе

---



**Владимир Ногин** – профессор Санкт-Петербургского государственного университета, Санкт-Петербург, 198504, Петродворец, Университетский пр. 35, Россия; e-mail: [noghin@gmail.com](mailto:noghin@gmail.com), web-page: <http://www.apmath.spbu.ru/ru/staff/nogin/>

**Основная область научных интересов:** принятие решений при многих критериях, многокритериальная оптимизация

---

---

## ПОДХОД К РАЗРАБОТКЕ ОБОБЩЕННОЙ МОДЕЛИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ВНЕШНЕЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ МЕТАСТРУКТУРЫ И КОНВЕРГЕНТНОЙ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ

Максим Соломицкий

5

**Аннотация:** Предложены подходы к формальному описанию взаимодействия конвергентной телекоммуникационной сети с окружающей ее внешней информационной инфраструктурой.

**Ключевые слова:** Конвергентная телекоммуникационная сеть, среда взаимодействия, среда генерации.

**Ключевые слова классификации ACM:** H. Information Systems - H.1 MODELS AND PRINCIPLES.

*«...нет ничего, что меньше поддавалось бы слову и одновременно больше нуждалось бы в том чтобы людям открывали на это глаза, чем кое-какие вещи существование которых нельзя ни доказать, ни считать вероятным, но которые именно благодаря тому, что благочестивые и добросовестные люди относятся к ним как к чему-то действительно существующему, чуть-чуть приближаются к возможности существовать и рождаться...»*

Г. Гессе

---

### Введение

Под конвергентной телекоммуникационной сетью (КТС) понимается совокупность аппаратно-программных средств и архитектурно-технологических методов доставки информации территориально удаленным пользователям, позволяющая на единой цифровой основе обеспечить различные виды услуг по обработке и доставке разнородной информации, при обеспечении требований пользователей к своевременности и качеству доставки циркулирующей в сети интегральной информации.

Конвергентную телекоммуникационную сеть нельзя непосредственно отнести ни к одному из таких известных классов сетей, как информационно-вычислительные, передачи данных, телефонные, которые призваны реализовать обслуживание пользователей только в определенной четко ограниченной области. Поэтому существующие модели функционирования сетей и основанные на них методы расчета, например, сетевого оборудования в исходном виде непригодны для решения задач анализа и проектирования КТС.

---

### Основная часть

В постановочной статье [1], исходя из целевого назначения КТС, в качестве базового процесса, составляющего суть функционирования системы, выделен процесс преобразования информации, т. е.

---

информационная технология. Такой подход позволяет с единой системной позиции рассмотреть все составляющие технологического процесса преобразования информации в КТС на различных уровнях абстракции и дать общую характеристику процесса на уровне системы в целом.

Исходя из динамики процесса преобразования информации в КТС, выделены две его составляющие: вычислительный процесс, отражающий преобразование информации в основном во времени, состоящий из подпроцессов таких как: ввод, вывод, хранение, обработка данных и т. п. и информационный процесс, связанный с преобразованием информации в основном в пространстве, включающий сбор, распределение, передачу, коммутацию информационных потоков и т. п. Остальные подпроцессы в сети учтены как внешние воздействия.

Формальное описание архитектуры КТС проведено посредством рассмотрения взаимодействия внешней среды – информационной метаструктуры и элементов КТС, а также обработки цифровой информации каждым из элементов этой сети в соответствии с принципами модели взаимодействия открытых систем (ВОС).

Таким образом, формально КТС представляется в виде внешней среды и сетевой среды. Каждая из этих сред представляется в свою очередь в виде двух сред: внешняя среда – средами генерации и распространения, сетевая среда – средами взаимодействия и обработки (рис. 1).

Выделение среды генерации позволяет описать воздействие пользователей на сеть, т. е. потоков их запросов на ресурсы сети; среда распространения позволяет отразить воздействие внешних мешающих факторов (помех, сбоев и т. п.) на распространение физических сигналов в сети (электрических, оптических и т. д.); среда взаимодействия дает возможность описать сеть в целом; среда обработки – возможность описать основные структурные элементы сети, обрабатывающие цифровую информацию.

Уровень сред распространения и обработки – это взаимодействие КТС с внешней средой на реализационном аппаратно-программном уровне. С точки зрения объекта исследования – КТС, а именно ее взаимодействия с внешней информационной метаструктурой, интерес представляют среды генерации и взаимодействия, позволяющие представить КТС как единую систему, взаимодействующую с внешней средой – информационной метаструктурой на системном уровне.

Особо важен учет взаимодействия сети с пользователями. Пользователями КТС являются информационные процессы. Отражает и позволяет описать воздействие пользователей на сеть входящий в нее информационный поток.

В качестве основной исследуемой единицы информации пользователя будем понимать сообщение пользователя (СП), т. е. информационное сообщение, поступающее из внешней информационной метаструктуры в транспортную систему КТС. По терминологии информационно-вычислительных сетей СП представляет собой «конечную последовательность данных, формируемую для передачи и имеющую законченное смысловое значение». В сети СП передаются в виде коммутируемых информационных единиц (КЕ), например, сообщений, пакетов, дейтаграмм и т. д., длина которых может отличаться или не отличаться от длины СП.

Рассмотрение передачи различных видов информационных СП в виде потоков информационных КЕ дает возможность перейти к формальному описанию среды генерации, сводимому к описанию воздействия входящих потоков (вызовов) на сеть.



Рис. 1 – Формальное представление архитектуры КТС

Модель потока вызовов и способы его задания изучаются достаточно давно. В [2] установлена невозможность использования в исходном виде существующего математического аппарата для определения вероятностно-временных характеристик КТС, а также определено, что для описания поступающего и циркулирующего в КТС потоков целесообразно использовать суперпозицию моделей потоков [3] наиболее адекватных сформулированным представлениям о КТС, с учетом того, что формируемый этими потоками трафик является самоподобным.

Согласно первичным результатам решения задачи выбора на множестве математических моделей телекоммуникационных сетей [4] можно сделать вывод о том, что необходимо разработать модель взаимодействия КТС с внешней средой, основу которой составит математический аппарат моделирования СП и КЕ с учетом самоподобного характера трафика КТС. При этом информационные СП и КЕ помимо распределения во времени должны характеризоваться длиной отдельных сообщений.

Вопрос моделирования взаимодействия КТС с внешней средой с учетом фактора самоподобия остается открытым.

Согласно [5] среду взаимодействия представим как некоторую однородную информационно-вычислительную среду, состоящую из узлов коммутации (УК). Рассматриваемые узлы представляется целесообразным формализовать в виде совокупности открытых систем – многополюсников  $\mu_i^n$  с тремя типами входов и выходов  $\mu_{ki}^n$ ,  $\mu_{ii}^n$ ,  $\mu_{ij}^n$ , у которых число входов соответствует числу выходов, т. е. согласно модели ВОС все соединения между открытыми системами являются дуплексными. Среда

взаимодействия имеет сложную структуру, позволяющую изображать иерархию в КТС, т. е. выделять особенности взаимодействия УК внутри данного уровня иерархии и между соседними уровнями. При этом

$$\mu_i^n = \{ \mu_{1i}^n, \mu_{2i}^n, \dots, \mu_{(i-1)i}^n, \mu_{ii}^n, \mu_{i(i+1)}^n, \dots, \mu_{il_n}^n \},$$

где  $i$  – номер уровня данного многополюсника;

$n$  – номер УК в множестве узлов  $i$ -го уровня  $M_i$ ,  $i = \overline{1, I_n}$ ,  $n = \overline{1, N_i}$ ;

$I_n$  – число уровней иерархии;

$N_i$  – число узлов  $i$ -го уровня иерархии.

Для описания и анализа особенностей среды взаимодействия воспользуемся аппаратом иерархических матриц связности (МС). Конфигурацию узлов зададим в матричной форме с использованием квадратных МС узлов данного уровня размерностью  $N_i \times N_i$ , где  $N_i$  – число узлов соответствующего  $i$ -го уровня, и прямоугольных МС узлов смежных уровней размерностью  $N_i \times N_{i-1}$ , где  $N_{i-1}$  – число узлов нижнего уровня.

Матрицы имеют следующий вид

$$\|M_{ii}\| = \begin{bmatrix} m_{ii}^{11} & m_{ii}^{12} & \dots & m_{ii}^{1N_i} \\ m_{ii}^{21} & m_{ii}^{22} & \dots & m_{ii}^{2N_i} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ m_{ii}^{N_i 1} & m_{ii}^{N_i 2} & \dots & m_{ii}^{N_i N_i} \end{bmatrix},$$

где элемент МС имеет вид:

$$m_{ii}^{ki} = \begin{cases} 0, & \text{если нет связи между узлами } k \text{ и } i; \\ 1, & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

Вместо 1 в МС могут стоять обозначения численного значения некоторых параметров, характеризующих соответствующие связи.

Матрица  $\|M_{ii}\|$  симметрична относительно главной диагонали и ее элементами могут быть числа, которые обозначают число каналов в магистрали, прямо соединяющей узлы  $k$  и  $i$ . Если матрица относится к организации вторичных сетей, то ее можно представить в виде суммы матриц вторичных сетей, т. е.

$$\|M_{ii}\| = \|M_{ii}^I\| + \|M_{ii}^{II}\| + \dots + \|M_{ii}^{\bar{B}}\|,$$

где I, II, ...,  $\bar{B}$  – индексы, обозначающие принадлежность к соответствующей вторичной сети.  $\|M_{ii}^I\|$ , ...,

$\|M_{ii}^{\bar{B}}\|$  – вторичные матрицы.

Для отображения связей между узлами соседних уровней составляются прямоугольные МС вида

$$\|M_{i,j+1}\| = \begin{bmatrix} m_{i,j+1}^{11} & m_{i,j+1}^{21} & \dots & m_{i,j+1}^{N_i 1} \\ m_{i,j+1}^{12} & m_{i,j+1}^{22} & \dots & m_{i,j+1}^{N_i 2} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ m_{i,j+1}^{1N_{i+1}} & m_{i,j+1}^{2N_{i+1}} & \dots & m_{i,j+1}^{N_i N_{i+1}} \end{bmatrix}.$$

Такие межуровневые МС могут быть первичными, отображающими физические соединения между узлами, и вторичными.

Если рассматривать МС как булевы матрицы, то к ним можно применить аппарат булевой алгебры, аппарат преобразований булевых матриц и булевых определителей.



Покажем, как МС формируется с помощью образующих векторов, содержащих упорядоченные символьные обозначения узлов, находящихся на одном и том же уровне.

Например,  $J = (n_1, n_2, \dots, n_{N_i})$ , т. е. на уровне  $i$  имеется  $N_i$  узлов. Определим вектор связности узла  $n_k$ :

$$J_{n_k} = \underbrace{m_{i,j+1}^{k1}, m_{i,j+1}^{k2}, \dots, m_{i,j+1}^{kN_{i+1}}}_{\text{столбец } \|M_{i,j+1}\|}, \underbrace{m_{ii}^{k1}, \dots, m_{ii}^{kN_i}}_{\text{строка } \|M_i\|}, \underbrace{m_{i-1,j}^{1k}, m_{i-1,j}^{2k}, \dots, m_{i-1,j}^{N_{i-1}k}}_{\text{столбец } \|M_{i-1,j}\|},$$

где  $i-1$ ,  $i$  и  $i+1$  – соседние уровни иерархии сети.

## Выводы

На определенных предложенных в работе образом МС, пользуясь некоторыми дополнительными средствами и понятиями, например, понятиями ранга узла, ранга пути, сечением сети и рангом сечения сети, представляется возможным организовать поиск оптимального пути соединения двух абонентов, а также проводить оптимизацию структуры сети.

## Благодарности

Настоящая работа была выполнена при поддержке интернационального проекта *ITHEA XXI* Института информационных теорий и их приложений *FOI ITHEA* и Ассоциации *ADUIS* Украина (Ассоциация разработчиков и пользователей интеллектуальных систем).

*The paper is published with financial support by the project ITHEA XXI of the Institute of Information Theories and Applications FOI ITHEA ([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)).*

## Литература

1. Соломицкий М.Ю. Возможный подход к разработке модели трафика конвергентной телекоммуникационной сети / М.Ю. Соломицкий // *Applicable Information Models*. – Sofia: ITHEA, 2011. – № 22. – Р. 189-198.
2. 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
3. Гайворонская Г.С. Исследование параметров объединенного потока вызовов / Г.С. Гайворонская // *Труды УГАС "Информатика и связь"*. – 1997. – С. 222-226.
4. Соломицкий М.Ю. Решение задачи выбора на множестве математических моделей потоков телекоммуникационных сетей / М.Ю. Соломицкий // *Науково-технічна конференція «Сучасні інформаційно-комунікаційні технології»*. Збірник тез. – Київ: ДУІКТ, 2011. – С. 95.
5. Советов Б.Я. Построение сетей интегрального обслуживания / Советов Б.Я., Яковлев С.А.– Л.: Машиностроение, 1990. – 332 с.

## 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: потоки вызовов, нагрузка в современных телекоммуникационных сетях; проблемы создания конвергентных телекоммуникационных сетей.

## МЕТОД ОЦЕНКИ ДОСТОВЕРНОСТИ КЛАССИФИКАЦИИ ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫХ УСЛУГ

Павлов Семен

**Аннотация:** В работе определена область исследования, а именно – инфокоммуникационные услуги, которые предоставляет телекоммуникационная сеть. Проанализирована необходимость классификации услуг, которая проводилась с применением методов прикладной статистики. В качестве исходных данных для классификации взяты параметры предоставления услуг. Выделенные классы услуг формируют требования к сети и позволяют определить, какие характеристики сети, и какое оборудование необходимо для предоставления тех или иных услуг. Рассмотрен метод оценки достоверности результата классификации инфокоммуникационных услуг методами прикладной статистики.

**Ключевые слова:** инфокоммуникационные услуги – достоверность классификации – факторный анализ – кластерный анализ.

**Ключевые слова классификации АСМ:** C.2.0 General: Data communications.

---

### Введение

Стремительное развитие научно-технического прогресса в области телекоммуникаций и информатики обеспечивает в настоящее время возможность предоставления обширного спектра инфокоммуникационных услуг широкому кругу пользователей. Номенклатура услуг постоянно расширяется, что затрудняет планирование развития телекоммуникационной сети для предоставления этих услуг, так как сеть должна выполнять требования каждой из предоставляемых услуг, а учесть совокупность всех этих требований – сложная задача, требующая применения средств вычислительной техники. Поэтому появилась необходимость выполнить классификацию инфокоммуникационных услуг. Для классификации выбраны следующие методы прикладной статистики: факторный и кластерный анализ.

Выделение классов услуг требуется для формирования требований к телекоммуникационной сети и сетевому оборудованию и для упорядочивания услуг. Каждая инфокоммуникационная услуга характеризуется параметрами, необходимыми для ее предоставления (например, информационная скорость доступа, коэффициент ошибок и другие), которые должны выполняться сетью. С помощью классов услуг можно определить требования к сетям для группы предоставляемых услуг, что снижает трудозатраты и повышает точность планирования и модернизации телекоммуникационной сети.

В процессе классификации возникают различного рода допущения и неточности вычислений и измерений, которые влияют на конечный результат. Поэтому возникла необходимость оценки достоверности процесса и результата классификации.

---

## Основная часть

---

Под достоверностью процесса классификации будем понимать ту вычислительную погрешность, которая возникает в результате применения вычислительных методов, в частности, при применении факторного анализа. Вычислительная погрешность учтена в инструментарии, который применяется для проведения факторного и кластерного анализа [StatSoft, 2011]. Под достоверностью результата классификации будем понимать степень достоверности результата примененных статистических методов.

В результате классификации формируются неформализованные модели, дающие интегральное представление о классах подобных объектов. Неформализованные модели не идентичны рассматриваемым объектам, т.к. несут информацию о множестве подобных объектов, входящих в классы, и являются их осредненными образами. Поэтому формируемые классы услуг не будут с точностью характеризовать каждую инфокоммуникационную услугу. Каждую новую услугу можно отнести к такой неформализованной модели [Горбань, 2007].

Однако набор и характеристики инфокоммуникационных услуг постоянно меняются, меняются и их модели. Изменение моделей обусловлено не только изменением самих услуг, но и изменением критериев классификации. Существенную роль при выборе критерия играют приобретенный ранее опыт, окружающая среда и многие другие факторы (например, демографические, технические, социальные и другие).

Телекоммуникационные сети различаются между собой, различен и подход к классификации услуг (можно учесть ряд факторов, либо отсечь их), поэтому для одних и тех же услуг разными оказываются неформализованные модели.

Каждую из инфокоммуникационных услуг можно оценить с помощью показателей их предоставления, которые тоже можно рассматривать как объекты. Отличие оценки от реальных условий предоставления вызвано, во-первых, несовершенством технических средств (оборудования, среды передачи и прочих), а во-вторых, наличием общих решений в формировании требований к предоставлению услуг.

Подход, предложенный в работе автора [Павлов, 2009], позволяет не только выполнить классификацию уже существующих услуг, но и включать в сформированные классы любую новую услугу, которая может появиться в будущем. Конечно, нельзя исключить возможности добавления новых классов в будущем, однако в силу полноты выполненного исследования с достаточно большой долей достоверности можно утверждать, что такая необходимость может возникнуть очень нескоро, если не произойдет скачкообразного (революционного) изменения существующих информационных технологий.

При анализе результатов экспериментов, основными являются два понятия: характер распределения и объем выборки. Точность полученного результата характеризуется размером исходной выборки. При малых выборках (рисунок 1, а) невозможно гарантировать точность полученных результатов, так как невозможно предугадать большинство оценок любого из параметров инфокоммуникационных услуг. При больших размерах выборки (рисунок 1, б) увеличивается точность вычисления и достоверность результата. Физическая модель, построенная на основании оценок большой выборки, более точной; а построенная на ее основании математическая модель более близка к теоретическим результатам.

Учитывая, что объем выборки, достаточный для обоснованности выводов, сделанных на основании ее анализа, определяется в 300 объектов [Коваленко, 1982], можно сделать вывод, что результаты исследований являются достоверными. Если заранее неизвестен характер распределения первичных признаков объектов в этой выборке, то нельзя применять классические методы математической статистики [Коваленко, 1982], поэтому в данном случае необходимо выполнить нормализацию первичных признаков, что в результате допускает применение кластерного и факторного анализа.

Кластерный анализ, как вычислительный метод, не имеет собственной вычислительной погрешности, так как он не использует ни итеративную процедуру вычислений, ни какой-либо приближительной процедуры вычислений, а использует только пересчеты матрицы расстояний, которые представляют собой конечные формулы. Поэтому проверкой численной точности этого метода и достоверности результатов, полученных по этому методу, является то, что результаты получены с помощью подсчета трех различных формул расстояний (евклидова расстояния, расстояния Чебышева и манхэттенского расстояния). Совпадения результатов при подсчете тремя разными способами матрицы расстояний говорят о достоверности результата кластерного анализа.

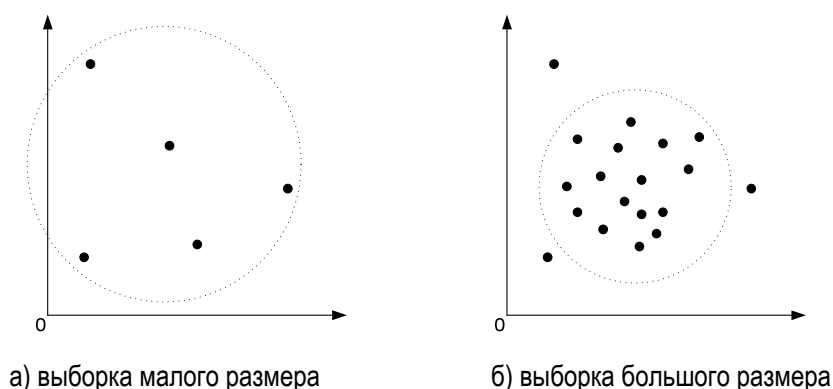


Рисунок 1 – Примеры выборки различного размера

В факторном анализе используются вычислительные процедуры (например, обращение матрицы), и поэтому численная погрешность процедуры факторного анализа определяется численной погрешностью методов вычислительной алгебры. Поскольку факторный анализ использует процедуры обращений матрицы, вся погрешность будет обосновываться числом обусловленности матрицы. Если число обусловленности матрицы существенно отличается от нуля, то результаты достоверны.

---

## Заключение

Таким образом, выполняя классификацию инфокоммуникационных услуг методами непараметрической статистики, необходимо проанализировать погрешность процесса и результата классификации. Иначе, полученные классы услуг могут быть недостоверными, и требования к сетям и сетевому оборудованию, выдвигаемые этими классами, могут быть неверными, что может отразиться на функционировании телекоммуникационной сети в целом при предоставлении услуг.

---

## Благодарности

Настоящая работа была выполнена при поддержке интернационального проекта ITHEA XXI Института информационных теорий и их приложений FOI ITHEA и Ассоциации ADUIS Украина (Ассоциация разработчиков и пользователей интеллектуальных систем).

The paper is published with financial support by the project ITHEA XXI of the Institute of Information Theories and Applications FOI ITHEA ([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)).

---

---

## Библиография

---

- [StatSoft, 2011] "Официальный сайт StatSoft", электронный учебник по статистике и пакет программ для работы со статистикой, Internet-ресурс: <http://www.statsoft.ru/>.
- [Горбань, 2007] Горбань И. И. Теория гиперслучайных явлений – К.: Национальная академия наук, 2007. – 184с.
- [Павлов, 2009] Павлов С.В. Пошаговое выделение классов и классификационных формул инфокоммуникационных услуг / С.В. Павлов // Науковий збірник ДонНТУ. – 2009. – №147.– С. 68-71.
- [Коваленко, 1982] Коваленко И.Н., Филипова А.А. Теория вероятностей и математическая статистика. – М.: Высшая школа, 1982. – 260 с.

---

## Информация об авторах

---



**Павлов Семен** – ассистент кафедры информационно-коммуникационных технологий Одесской государственной академии холода; почта: 65082, Дворянская 1/3, Одесса, Украина; e-mail: [semyen@rambler.ru](mailto:semyen@rambler.ru)

Главные области научного исследования: информационно-коммуникационные технологии, ВЭБ-технологии.

## РАЗРАБОТКА ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ПОЛНОСТЬЮ ОПТИЧЕСКИХ СЕТЕЙ

Юрий Гриньков

**Аннотация:** В работе предложен возможный подход к созданию имитационной модели сети с оптической коммутацией блоков информации, служащей для оптимизации функционирования оптических фрагментов телекоммуникационной сети. В предложенной модели критерием оптимизации является условный экстремум, заключающийся в минимизации вероятности потерь блоков информации на сетевых узлах при максимизации общей пропускной способности фрагмента сети.

**Ключевые слова:** коммутация оптических сигналов, коммутация блоков информации, имитационная модель

**Ключевые слова классификации ACM:** I.6 SIMULATION AND MODELING - I.6.5 Model Development, C.2 COMPUTER-COMMUNICATION NETWORKS - C.2.1 Network Architecture and Design

---

### Введение

Непрерывный процесс внедрения новых инфокоммуникационных услуг (ИКУ) и мультимедийных приложений привел к тому, что на протяжении длительного периода времени наблюдается тенденция постоянного увеличения требований к пропускной способности телекоммуникационной сети (ТС).

Значительное повышение пропускной способности ТС возможно путем использования полностью оптических технологий обработки информационного сигнала. В настоящий момент эволюционное развитие волоконно-оптических систем передачи позволяет достигать больших скоростей передачи (несколько терабит в секунду). Однако необходимость преобразования оптического сигнала в электрическую форму в коммутационном оборудовании является серьезным препятствием на пути перехода к терабитным сетям [1]. В связи с этим все большую популярность приобретает концепция полностью оптических сетей – All- Optical Networks (AON), в которых при коммутации, мультиплексировании и ретрансляции главную роль играют оптические компоненты.

Следовательно, ключевой проблемой, решение которой позволит достичь стремительного увеличения пропускной способности сети, является внедрение технологий коммутации оптических сигналов, которые не требуют предварительного оптоэлектрического преобразования информационного сигнала, а значит – минимизируют не только задержку информационного сигнала на узле коммутации (УК), но и значительно уменьшают стоимость эксплуатации УК за счет снижения затрат на электропитание, которое необходимо для функционирования оптоэлектрических преобразователей [2,3].

---

Существующие системы пространственной коммутации оптических сигналов (СПКОС), которые построены на базе микроэлектромеханических систем (МЭМС), реализуют технологии позиционного мультиплексирования и способны коммутировать лишь групповые тракты потоков транспортной сети. Однако, учитывая то обстоятельство, что сетью следующего поколения (NGN) является сеть, построенная на базе технологий коммутации пакетов, кадров и ячеек, на сегодняшний день особенно актуальным заданием является построение систем коммутации оптических сигналов (СКОС), которые реализуют технологии меточного мультиплексирования.

---

### **Постановка задачи**

Характерной особенностью систем коммутации, выполняющих коммутацию пакетов, кадров или ячеек, является наличие буферной памяти для временного хранения блоков информации. Однако, на сегодняшний день, по причине сложности технической реализации стоимость оптических оперативных запоминающих устройств (ООЗУ) является достаточно высокой, что порождает необходимость исследования экономической целесообразности использования ООЗУ на узлах коммутации в оптической сети [4].

Вместе с тем применение концепции коммутации блоков информации (ККБИ), которая основывается на установлении выделенного канала через всю сеть на время, достаточное для передачи блока информации (несколько миллисекунд), позволяет не только избежать оптоэлектрического преобразования на УК, но и избавиться от необходимости наличия оптического буфера. Несомненно, несмотря на внешнюю привлекательность этого подхода, существует необходимость проведения детальных исследований, которые, во-первых, позволят оценить эффективность применения концепции коммутации блоков информации при построении оптических сетей, а, во-вторых, произвести сравнительный анализ ККБИ с альтернативными методами коммутации, реализующими технологии меточного мультиплексирования с использованием запоминающих устройств на УК.

Настоящая работа посвящена разработке имитационной модели оптической сети, которая в дальнейшем позволит провести исследования, направленные на решение задачи оценки целесообразности применения ККБИ при построении оптических сетей.

---

### **Архитектура сети с оптической коммутацией блоков информации**

В архитектуре сети с оптической коммутацией блоков информации (рис.1) в качестве линий связи предполагается использовать каналы, построенные на базе технологии плотного волнового мультиплексирования (*HDWDM*).

Поскольку терабитные объемы информации невозможно обработать в электронном виде, на узлах коммутации предлагается использовать системы пространственной коммутации оптических сигналов высокой емкости, осуществляющие коммутацию оптического сигнала без его преобразования в электрическую форму.[5]

В архитектуре сети с оптической коммутацией блоков информации выделяют три класса узлов: граничный входящий узел (ГВУ), граничный исходящий узел (ГИУ) и основной сетевой узел (ОСУ). При этом принципиальной особенностью рассматриваемой архитектуры сети является отсутствие оптических буферов на основных сетевых узлах.

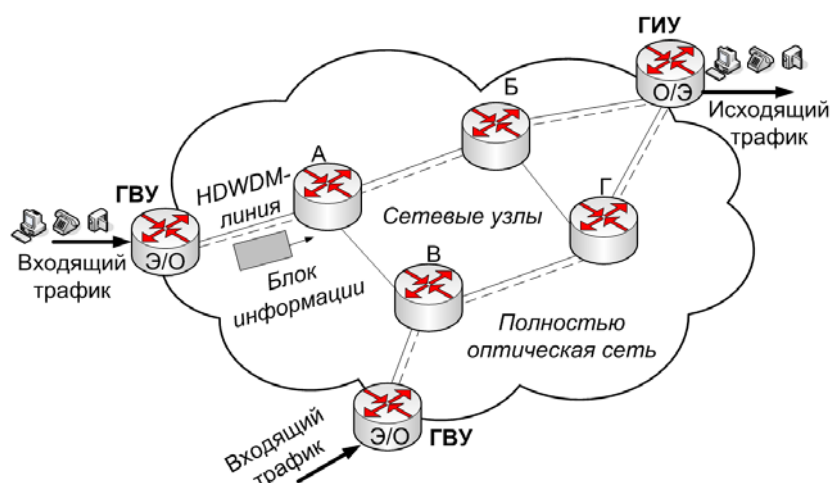


Рисунок 1 – Архитектура сети с оптической коммутацией блоков информации

Граничный входящий узел отвечает за сборку блоков информации, маршрутизацию, пересылку сообщений сигнализации, назначение длины волны для передачи и планирование очередей на границе оптической сети. Основным сетевым узлом выполняется функции обработки сообщений сигнализации, планирования и реализации коммутации оптических сигналов. Наконец, граничный исходящий узел (ГИУ) реализует сегментацию блоков информации и их продвижение на более высокий уровень сетевой модели взаимодействия открытых систем.

Каждый блок информации (БИ) пользователя предваряется собственным управляющим сообщением. Управляющее сообщение передается по сети непосредственно перед передачей БИ с целью резервирования пути или оптических длин волн, подвергаясь оптоэлектронному преобразованию в каждом узле сети. В то же время сам блок информации передается через временное смещение  $T$  в оптическом виде без преобразований информационного сигнала [6,7].

Выражение 1 описывает общую задержку передачи блока информации по оптической сети:

$$T = t_{cb} + n\delta + t_k + t_b + \sum_{ij \in R}^n t_p^{ij} \quad (1)$$

где  $t_{cb}$  – время передачи блока информации,  
 $n$  – количество сетевых узлов, принимающих участие в установлении соединения,  
 $\delta$  – время, затраченное на обработку управляющего сообщения,  
 $t_k$  – время переключения оптического коммутационного элемента,  
 $t_b$  – время передачи блока информации,  
 $t_p^{ij}$  – время распространения оптического сигнала между сетевыми узлами.

### Имитационная модель сети с оптической коммутацией блоков информации

При имитационном моделировании логико-математическая модель исследуемого объекта (ИО) представляет собой алгоритм функционирования исследуемого объекта, реализованный в виде



программного комплекса на электронно-вычислительной машине [8]. Следовательно, начальным этапом разработки любой имитационной модели является создание аналитической модели, описывающей состояния и поведение исследуемого объекта с помощью математического аппарата.

С этой целью введем обозначения, необходимые для математического описания исследуемого объекта (в данном случае – оптической сети). Пусть  $v=1,2,\dots,V$  – узлы сети;  $e=1,2,\dots,E$  – однонаправленные каналы связи (дуги орграфа);  $d=1,2,\dots,D$  – нагрузки между источниками и получателями блоков информации.

Под нагрузкой в этой модели будем понимать интенсивность потока, выраженную количеством блоков информации, переданных за единицу времени. Тогда  $a_{ev}=1$ , если канал  $e$  исходит из узла  $v$ , и  $a_{ev}=0$ , если нет. Соответственно  $b_{ev}=1$ , если канал  $e$  входит в узел  $v$ , и  $b_{ev}=0$ , если не входит. Обозначим узел-источник нагрузки  $s_d$ , узел-получатель нагрузки  $t_d$ , а величину нагрузки  $d$  –  $y_d$ . Следовательно,  $x_{ed}$  – поток, реализующий нагрузку  $d$  в канале  $e$ ;  $y_e$  – нагрузка в канале  $e$ .

Входные параметры разрабатываемой модели можно разделить на два класса: заданные и прогнозируемые. К заданным параметрам относятся топология, количество узлов сети, размер блока информации, протокол маршрутизации, пропускная способность управляющего канала, пропускная способность информационных каналов, тип протокола установления соединения, время переключения СКОС и время обработки управляющего сообщения на узле коммутации. Прогнозируемыми входными параметрами в предлагаемой модели выступают величины нагрузки между узлами-источниками и узлами-адресатами [9].

Предположим, что сумма долей входящего и исходящего трафика ограничивается единицей (2,3).

$$\sum_e a_{ev} x_{ed} \leq 1, \text{ где } v = 1,2,\dots,V \quad (2)$$

$$\sum_e b_{ev} x_{ed} \leq 1, \text{ где } v = 1,2,\dots,V \quad (3)$$

Также допустим, что вероятность потерь блоков информации в каждой дуге ничтожно мала, поэтому соблюдается условие сохранения потока (4).

$$\sum_e a_{ev} x_{ed} - \sum_e b_{ev} x_{ed} = 1, \text{ если } v = s_d \quad (4)$$

$$\sum_e a_{ev} x_{ed} - \sum_e b_{ev} x_{ed} = 0, \text{ если } v \neq s_d, t_d$$

$$\sum_e a_{ev} x_{ed} - \sum_e b_{ev} x_{ed} = -1, \text{ если } v = t_d$$

При этом критерий оптимизации сформулируем как условный экстремум, заключающийся в минимизации вероятности потерь блоков информации при максимизации пропускной способности моделируемой сети (5).

$$\min F = \sum_{e \in E} (y_e \times P_e(y_e)) \quad (5)$$

В качестве выходной характеристики в предлагаемой модели выступает количество потерь блоков информации. На рисунке 2 представлена обобщенная иллюстрация модели сети с оптической коммутацией блоков информации [10].

Наконец, завершающим этапом разработки имитационной модели является программная реализация алгоритма, описывающего поведение исследуемого объекта. Для упрощения решения этой задачи выполнена декомпозиция ИО на следующие составляющие: модель линии HDWDM, модель СКОС и алгоритм коммутации, модель протокола установления соединения, модель очереди управляющих сообщений и модель источника блоков информации. Для каждой из этих составляющих на языках программирования C++ и Tool Command Language (TCL) на базе сетевого симулятора NS-2 реализованы программные модули, имитирующие поведение сети с оптической коммутацией блоков информации [11,12].

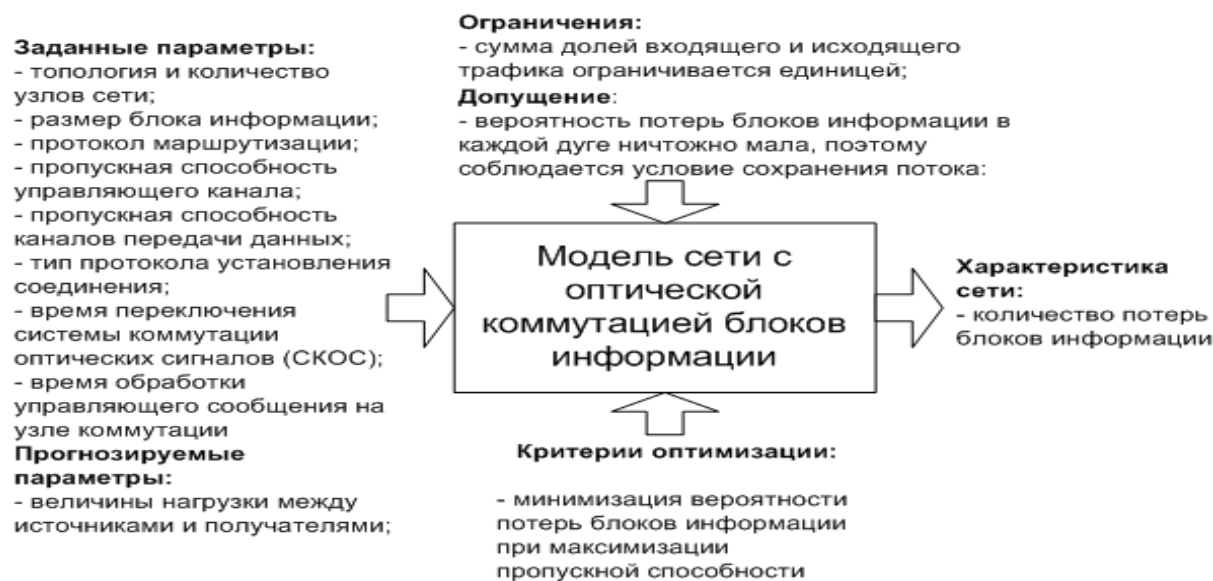


Рисунок 2 – Модель сети с коммутацией блоков информации

## Заключение

Предложенный в работе подход к созданию имитационной модели сети с оптической коммутацией блоков информации позволит оптимизировать функционирование исследуемой сети за счет оценки влияния различных входных параметров (таких как топология, количество сетевых узлов, размер блока информации, алгоритм установления соединения и т.д.) на вероятность потерь блоков информации в сети. Более того, разработанная модель пригодна для исследования эффективности использования существующих протоколов маршрутизации в сетях, использующих коммутацию блоков информации, что в настоящий момент является достаточно актуальной и нетривиальной задачей и станет следующим этапом проведения исследований оптических сетей.

## Благодарности

Настоящая работа была выполнена при поддержке интернационального проекта *ITHEA XXI* Института информационных теорий и их приложений *FOI ITHEA* и Ассоциации *ADUIS* Украина (Ассоциация разработчиков и пользователей интеллектуальных систем).

*The paper is published with financial support by the project ITHEA XXI of the Institute of Information Theories and Applications FOI ITHEA ([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)).*

---

**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. Гайворонская Г.С. Разработка имитационной модели для оптимизации планирования телекоммуникационной сети / Г.С. Гайворонская // *Тр. УНИИРТ*. – 2006. – №4. – С. 23-27.
9. Гриньков Ю.М. Особенности применения концепции коммутации блоков информации при построении полностью оптических сетей / Ю.М. Гриньков // *Збірник тез COMINFO'11*. – Київ: ДУИКТ, 2011. – С. 184-185
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. Материалы Интернет-сайта NS-2. – Режим доступа: <http://www.isi.edu/nsnam/ns> (дата обращения 23.03.2012)
12. Кучерявый Е.А. NS-2 как универсальное средство имитационного моделирования сетей связи. – Режим доступа: <http://masters.donntu.edu.ua/2007/fvti/erygina/library/lib4.htm> (дата обращения 27.03.2012)

---

**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

## ТЕХНОЛОГИЯ СОЗДАНИЯ ДОКУМЕНТ-ОРИЕНТИРОВАННЫХ СИСТЕМ, ОСНОВАННЫХ НА МЕТАМОДЕЛИРОВАНИИ

Вячеслав Ланин, Людмила Лядова, Антон Цыбин

**Abstract:** Описывается подход к созданию динамически адаптируемых информационных систем (ИС), основанный на использовании моделей на всех этапах жизненного цикла. В основе подхода – средства управления документами, позволяющие решать различные задачи, связанные поиском документов, относящихся к предметной области системы, их анализом, классификацией и каталогизацией, созданием на их основе моделей, управляющих функционированием системы, а также подготовкой документации на всех этапах жизненного цикла ИС. Особенность подхода – его ориентация на разработку систем, допускающих динамическую адаптацию к потребностям бизнес-процессов и отдельных пользователей, к меняющимся условиям эксплуатации. Представленные средства основаны на использовании многоуровневых моделей, управляющих созданием и функционированием ИС. Модели разбиваются на несколько уровней, представляющих систему с различных точек зрения и с разной степенью детализации. Базовые модели являются основой для реализации моделей более высоких уровней. Пользователи системы – эксперты в соответствующих предметных областях – участвуют как в процессе создания системы, так и в её настройке в ходе эксплуатации с использованием специальных инструментальных предметно-ориентированных средств. Основа реализации предметно-ориентированных средств разработки адаптируемых ИС – метамоделирование. Мета модель при реализации данного подхода – это язык, с помощью которого описываются модели, лежащие в основе информационной системы. Язык должен отражать специфику предметной области, быть доступным для работы экспертов. Создание системы начинается именно с разработки предметно-ориентированного языка (DSL) с помощью языкового инструментария на основе выполненного анализа документов, описывающих предметную область, регламентирующих работу системы. Предлагается подход к автоматизации анализа документов на основе онтологий, описывающих как сами документы, так и предметную область. При этом извлечённая из документов информация является основой для уточнения построенных моделей и разработки предметно-ориентированных языков. Процесс создания DSL является итерационным. Построенные модели управляют функционированием системы, генерацией отчётов и пр. Кроме того, созданные модели – основа средств автоматизации документирования системы.

**Keywords:** анализ документов, семантическая разметка, генерация документов, CASE-средства, онтологии, метамоделирование.

**ACM Classification Keywords:** I.7 DOCUMENT AND TEXT PROCESSING: I.7.2 Document Preparation – Index generation; I.7.1 Document and Text Editing – Document management. D.2 SOFTWARE ENGINEERING: D.2.2 Design Tools and Techniques – Computer-aided software engineering (CASE).

---

## Введение

---

Задача создания адаптируемых информационных систем (ИС), позволяющих осуществлять гибкую настройку на потребности бизнес-процессов и отдельных пользователей, меняющиеся условия эксплуатации, – одна из критичных задач программной инженерии, так как возможности адаптации определяют «живучесть» системы, эффективность вложений в её создание и стоимость её эксплуатации, сопровождения. Свойство адаптируемости гарантирует возможность развития ИС, её эволюции [Лядова, 2007]. Оно объединяет многие нефункциональные характеристики, обеспечить которые можно только при использовании для создания ИС инструментария, обладающего соответствующими возможностями.

Можно отметить следующие требования к информационным системам, обладающим высокой степенью *адаптируемости*: наличие средств динамической (в ходе эксплуатации системы) настройки, максимально снижающих трудоёмкость и позволяющих выполнять эту работу пользователям системы, для которых должна быть обеспечена возможность работы в привычных терминах предметной области ИС, в которой они работают и являются экспертами.

Все современные технологии и инструментальные средства создания ИС основаны на использовании моделей. Однако максимальная степень адаптируемости ИС достигается, если она основана на *метамоделировании* [Лядова, 2008] и функционирует в *режиме интерпретации моделей*, которые могут изменяться в ходе эксплуатации системы, описывающих предметную область ИС и условия её работы.

На сегодняшний день одним из базовых понятий методологии проектирования ИС является понятие жизненного цикла. *Жизненный цикл* – это непрерывный процесс, который начинается с момента принятия решения о необходимости создания информационной системы и заканчивается завершением её эксплуатации. Структура жизненного цикла включает *три группы процессов*: основные, вспомогательные и организационные. Основные процессы включают этапы создания, внедрения и эксплуатации, сопровождения. Этап создания также является сложным и включает оценку жизненного цикла системы, анализ требований, проектирование структуры компонентов, реализацию проекта. Все этапы создания ИС сопровождаются вспомогательным процессом – *документированием*. В рамках данного процесса производятся работы по созданию различных инструкций и руководств, документации пользователя и программиста.

Из всех описанных этапов жизненного цикла наиболее формализованными и обеспеченными средствами автоматизации являются этапы анализа требований и моделирования предметной области. Меньше внимания в жизненном цикле уделяют этапам тестирования и создания документации. Такая закономерность наблюдается, прежде всего, в небольших компаниях по разработке программного обеспечения (ПО). Причина состоит в сложности автоматизации этих процессов. На выполнение данных этапов вручную требуется большой объём времени и средств, зачастую эти затраты не окупаются для небольших компаний. При этом тестирование – важный этап жизненного цикла, так как недостаточное внимание к нему не позволяет получить качественный, надёжно функционирующий программный продукт. Документирование – также очень важный процесс, т.к. отсутствие документации или её плохое качество затрудняют эксплуатацию и сопровождение системы, возможность её переноса на другие платформы.

Как при создании системы, так и в ходе её эксплуатации решаются задачи работы с документами. Анализ требований к системе связан с необходимостью анализа большого объёма документов, в частности, нормативных, распорядительных и пр., регламентирующих бизнес-процессы и деятельность различных

---

категорий пользователей создаваемой системы. Анализ документов – основа моделирования предметной области ИС, проектирования её компонентов. Автоматизация этой трудоёмкой задачи – тема исследований многих авторов [Заболеева-Зотова, 2008; Заболеева-Зотова, 2009; Fulford, 2001; Kuo, 2004; Sierra, 2004; Song, 2007 и др.]. В ходе эксплуатации системы требования к ней могут меняться, что отражается либо в изменениях, внесённых в соответствующие нормативные документы, использованные при анализе требований при создании ИС, либо в новых документах, регламентирующих её работу. Таким образом, необходимо автоматизировать отслеживание этих изменений, появление новых документов, которые могут повлиять на разработанную при создании системы модель. Решение этой задачи может быть основано на использовании онтологий, описывающих предметную область и анализируемые документы [Ланин, 2009; Ланин, Лядова, 2010; Лядова, 2010].

При создании системы строится множество моделей различных уровней, которые управляют процессами разработки и функционирования адаптируемой системы, описывая её с различных точек зрения и на разных уровнях детализации [Лядова, 2007; Лядова, 2008]. Причём специфика проектов создания адаптируемых систем, разработки моделей обуславливает необходимость привлечения экспертов – специалистов в соответствующих предметных областях – на всех этапах жизненного цикла ИС. Это требует использования специальных инструментальных средств, языков предметных областей (DSL – Domain Specific Languages), которые обеспечивают экспертам возможность работы в привычных для них терминах при создании или модификации моделей [Лядова, 2010; Лядова, Сухов, 2010]. Основа разработки DSL – анализ предметной области, документов описывающих её. Таким образом, модели, применяемые при анализе документов, и создаваемые модели, управляющие функционированием ИС, объединяются в единую систему. Переходы от одной модели к другой основаны на трансформации моделей, которые описываются также с помощью специальных языков трансформаций предметно-ориентированных языков, представляющих собой метамодели.

Важность задачи документирования и управления документооборотом при создании программных систем показывает и количество работ, направленных на её решение в различных областях, появившихся в последнее время [Арушанян, 2010; Климов, 2010; Мамаев, 2008; Смирнов, 2012; Сонис, 2006; Суясов, 2007; Тарасенко, 2009 и др.]. Особое значение задача автоматизации документирования ИС, управления документооборотом при реализации программных проектов приобретает при создании систем, допускающих динамическую (в ходе эксплуатации) настройку, т.к. любые изменения системы должны соответствующим образом документироваться [Цыбин, 2007; Tsybin, 2008]. Процесс документирования также базируется на использовании различных моделей.

При документировании системы, разработке руководств и инструкций необходимо сохранить связь с исходными документами, регламентирующими функционирование системы. Эту задачу можно решить, сохранив при создании модели предметной области не только исходные документы, но и внесённую в них специальную разметку, построенную в результате семантического анализа текстов.

---

### **Структура системы, ориентированной на документы**

---

Как при создании системы, так и в ходе её эксплуатации решаются задачи управления документами, их поиска, анализа и классификации, каталогизации и эффективного хранения, генерации отчётов и документации, поддержания всего жизненного цикла документов в системе.

Практически все задачи, решаемые при создании и эксплуатации системы, связаны с необходимостью работы с документами в различных форматах:

- На этапе анализа предметной области происходит поиск и изучение документов, описывающих состояние предметной области, свойства различных её объектов, регламентирующих бизнес-процессы, которые должны быть автоматизированы, задающих условия функционирования создаваемой системы, предъявляемые к ней требования. Результаты анализа формализуются в построенных моделях.
- При создании системы каждый процесс должен быть документирован, должна быть подготовлена программная документация, инструкции и руководства по эксплуатации ИС. При этом необходимо сохранить связь с исходными документами, описывающими бизнес-систему, регламентирующую все процессы в ней.
- В ходе эксплуатации системы пользователи получают отчёты, генерируют документы на основе информации, хранящейся в ИС и получаемой извне.

Необходимо максимально автоматизировать решение этих задач, снизить трудоёмкость работы с документами на всех этапах жизненного цикла ИС. Структура динамически адаптируемой документ-ориентированной системы, управляемой моделями, показана на рис. 1.

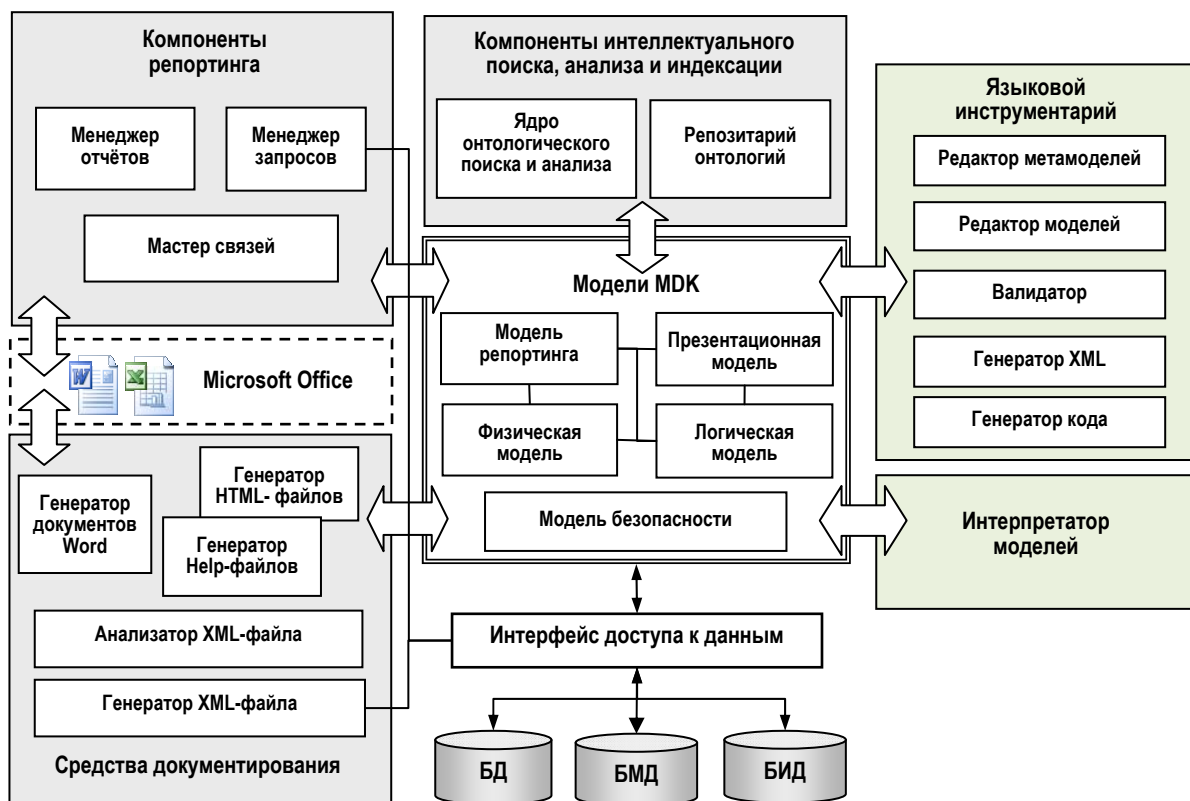


Рис. 1. Упрощённая структура динамически адаптируемой системы, ориентированной на документы, управляемой моделями

Включение средств BI (Business Intelligence), в частности, средств подготовки отчётов (подсистем репортинга) в состав ИС – требование к любой современной системе. Именно эти средства позволяют представить информацию, получаемую пользователями системы, в удобном для них виде,

---

визуализировать данные, результаты их обработки. Однако адаптируемая система должна обеспечить возможность настройки средств репортинга на любые изменения, которые могут произойти в ходе эксплуатации системы (дать возможность пользователям получать новые отчёты, менять формы документов и пр.). Желательно при этом снизить трудоёмкость этой работы, минимизировать необходимость вмешательства разработчиков – позволить пользователям самим адаптировать ИС к своим потребностям. Современные предметно-ориентированные средства создания ИС позволяют решить эти задачи, дать возможность принимать участие в создании системы и её настройке в процессе эксплуатации пользователям-непрограммистам, являющимся специалистами в тех предметных областях, для которых разрабатываются ИС. Для настройки средств репортинга используются высокоуровневые средства, предметно-ориентированные модели [Lanin, 2008].

В отличие от «традиционных систем», условия и правила функционирования которых не меняются в процессе эксплуатации, для систем, допускающих динамическую настройку, задачи анализа предметной области и разработки документации необходимо выполнять не только при создании системы, но и в ходе её функционирования – каждый раз, как только возникает необходимость внесения изменений в «поведение» системы, адаптации её к новым условиям и требованиям. Таким образом, анализ документов и подготовка документации – задачи, которые выполняются в течение всего жизненного цикла ИС. Решение этих задач требует автоматизации, использования средств, которые позволили бы снизить трудоёмкость настройки системы, анализа изменений условий функционирования и потребностей пользователей и внесения изменений в правила функционирования ИС и их документирования.

Все перечисленные средства управления документами используют для настройки и выполнения своих операций модели различных уровней. Модели создаются при разработке системы с помощью специального инструментария. Обычно строится несколько моделей, описывающих систему с различных точек зрения, на разных уровнях абстракции. Базовые уровни моделей, реализованные в CASE-системе METAS, – это логический (представляет объекты предметной области и связи между ними), физический (описывает представление данных об объектах в базе данных (БД) системы в терминах таблиц и связей) и презентационный (описание пользовательского интерфейса) [Лядова, 2007; Лядова, 2008]. Для их хранения используется база метаданных (БМД). Однако возможность использования предметно-ориентированных средств (языков) требует интеграции в систему языкового инструментария [Лядова, Сухов, 2010]. Работа по созданию метамodelей (предметно-ориентированных языков) основана на использовании средств анализа предметной области, описывающих её документов. Результаты анализа формализуются и сохраняются в системе. Основа средств автоматизации анализа документов – онтологии предметной области и онтологии документов.

---

### **Информационный поиск, анализ, индексация и каталогизация документов**

---

Основная часть документов, с которыми работает современное предприятие, – это неструктурированные документы. Документами такого типа являются документы, представляющие нормативную и справочную информацию, распорядительные документы. Таким образом, основные знания о деятельности бизнес-системы содержатся именно в неструктурированных документах. Если принять во внимание экспоненциальный рост количества документов, проблема обработки неструктурированных документов, их семантического индексирования становится чрезвычайно актуальной.



---

---

Задачи обработки текстовой информации могут получить более эффективное решение за счёт применения подходов, основанных на явном представлении знаний.

Задача информационного поиска решается на основе онтологического подхода [Ланин, 2008; Ланин, 2009]. Онтологии являются не только средством интеллектуального поиска и анализа документов, но и основой организации их эффективного хранения, создания системы взаимосвязанных документов и средств навигации по ним. Предусматривается описание с помощью онтологий как структуры документа, так и его содержания, оформления. Вся эта информация используется для поиска и анализа документов, их аннотирования, классификации и каталогизации в системе в форме, удобной для решения различных задач, связанных с управлением документами. Извлекаемая из документов информация служит основой для анализа изменений предметной области ИС, потребностей её пользователей и условий функционирования, внесения соответствующих изменений в модели, снижая трудоёмкость работы системного аналитика при создании и адаптации ИС.

Предлагаемый подход предполагает расширение понятия традиционного документа: с *документом необходимо связать метаданные*, позволяющие интерпретировать и обрабатывать хранящуюся в этом документе информацию, т.е. включить в документ информацию, описывающую его структуру и семантику его содержания с помощью онтологии.

Согласно общепринятому определению под *онтологией* (в широком смысле) понимается база знаний специального типа, которая может «читаться» и пониматься, отчуждаться от разработчика и/или физически разделяться её пользователями. Учитывая специфику решаемых в данной работе задач и предлагаемый для их решения подход, можно конкретизировать понятие онтологии и рассмотреть различные типы используемых онтологий:

- онтология предметной области конкретной информационной системы;
- онтология как база знаний (БЗ) интеллектуального агента;
- онтология как описание документа.

*Онтологии предметной области* имеют наиболее типичное применение, они используются для описания понятий предметной области ИС (например, образование, государственные услуги или инновационное развитие регионов). В этой онтологии описывается связь понятий, языковые единицы для их выражения, аксиомы предметной области. Онтология предметной области используется для семантического индексирования и анализа всех документов системы.

Для анализа документов (реализации ядра онтологического поиска и анализа, рис. 1) предлагается использовать *мультиагентный подход*. Интеллектуальные агенты, руководствуясь *онтологией как базой знаний* (второй тип онтологий), производят поиск и анализ конкретных понятий документа. Каждая из вершин такой онтологии имеет определённый прототип, интерпретация которого известна агенту. Таким образом, агент использует онтологию как определённую программу своих действий. Вершинами онтологии данного типа могут являться понятия из онтологии предметной области.

Третий тип онтологий используется для *описания структуры и содержания документов*. Этот тип онтологий включает в себя два класса (две «плоскости») вершин. К первому классу относятся вершины, описывающие *структуру документа*, его реквизитный состав (например: таблица, дата, должность и т.д.); они представляют собой общие понятия, не зависящие от конкретной предметной области. К другому типу относятся вершины, содержащие *понятия документа*, эти вершины отражают специфику

---

предметной области, к которой относится документ, его семантику. Первый тип вершин в рамках предложенного подхода будем называть *структурными вершинами*, а второй тип – *семантическими вершинами*. Благодаря такому подходу из документа можно получить требуемую информацию, т.к. известно, где искать данные и как они могут быть интерпретированы.

Если представлять документ с использованием онтологий, то задача сопоставления онтологии и анализируемого документа сводится к задаче поиска понятий онтологии в документе. Как следствие, системе необходимо ответить на вопрос: описывает ли данная онтология документ или нет. На последний вопрос можно ответить утвердительно, если в процессе сопоставления в документе были найдены все понятия, включённые в онтологию. Таким образом, исходная задача сводится к задаче поиска в тексте документа общих понятий на основе формальных описаний. На основе онтологии может быть получен фрейм, слоты которого заполняются в процессе анализа документа. В качестве слотов фрейма выступают понятия онтологии, а значения этих фреймов заполняются данными анализируемого документа. Таким образом из неструктурированного документа может быть получен структурированный документ-фрейм.

Онтологии располагаются на трёх уровнях *репозитария (библиотеки) онтологий* (рис. 1). На первом уровне расположены онтологии, описывающие объекты, используемые в конкретной системе и учитывающие её особенности. На втором уровне описываются объекты, инвариантные к предметной области. Объекты третьего уровня описывают наиболее общие понятия и аксиомы, с помощью которых описываются объекты нижележащих уровней.

Одна из задач, решаемых подсистемой интеллектуального поиска и анализа документов, – поиск зависимостей и установление связей между документами, регламентирующими деятельность бизнес-системы. В результате анализа должна быть построена *система взаимосвязанных документов*:

- относящихся к определённым направлениям деятельности бизнес-системы (к определённым понятиям, объектам предметной области ИС);
- отражающих связи между этими понятиями (с каждым понятием может быть связан документ или совокупность документов, связи между документами отражают связи между понятиями);
- содержащих нормативную информацию, которая также может быть выделена на основе анализа содержания документов.

На основе построенной системы взаимосвязанных документов можно частично автоматизировать процесс анализа изменений предметной области и внесения изменений в модель предметной области ИС (т.е. реализовать поддержку процесса разработки и адаптации ИС). Таким образом, система управления документами становится не только «надстройкой» над ИС, позволяющей получать результаты обработки данных, хранящихся в базе данных (БД) ИС, в удобной для пользователей форме (подсистема репортинга), но и становится основой средств разработки ИС.

Результатом анализа документов должно стать автоматическое построение онтологии, вершинами которой будут сами анализируемые документы и их понятия. Схематически процесс создания онтологии показан на рис. 2. Процесс анализа текста и извлечения из него информации включает шаги, показанные на рис. 3. Документы с включённой в них семантической разметкой могут быть сохранены в базе индексированных документов (БИД, рис. 1).

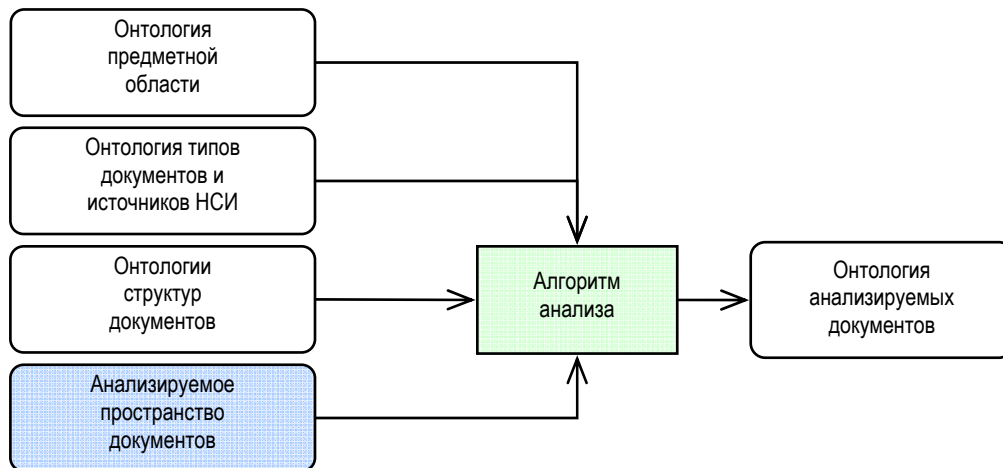


Рис. 2. Схема построения системы взаимосвязанных документов

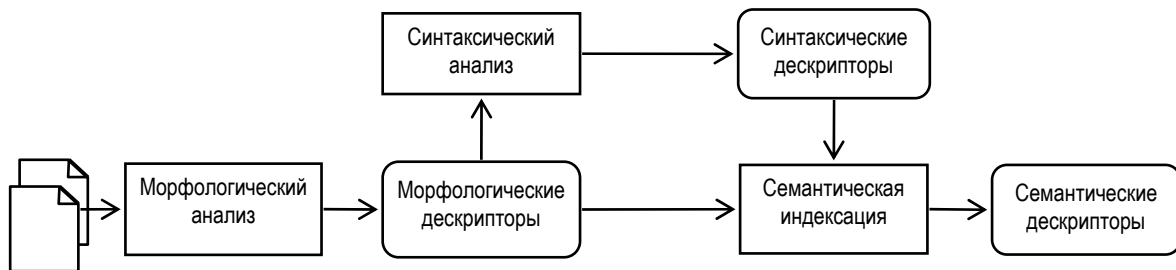


Рис. 3. Последовательность шагов анализа документа

Дескрипторы (морфологические, синтаксические и семантические) – это множества тегов. Морфологические и синтаксические дескрипторы могут быть помещены в реляционные таблицы. Результат семантического анализа (семантического индексирования) – семантические дескрипторы документов. Специальная разметка (метаданные) могут быть включены в текст электронных документов в различных форматах. Разметка позволяет связать документы и конкретные их фрагменты с онтологиями предметных областей, что в дальнейшем может быть использовано для поиска нужной информации, для генерации документов (например, пользовательской документации) с учётом установленных связей. Для семантического индексирования предлагается реализовать *агентный подход* (упрощённая структура агентной платформы показана на рис. 4), [Ланин, 2008; Ланин, 2009].

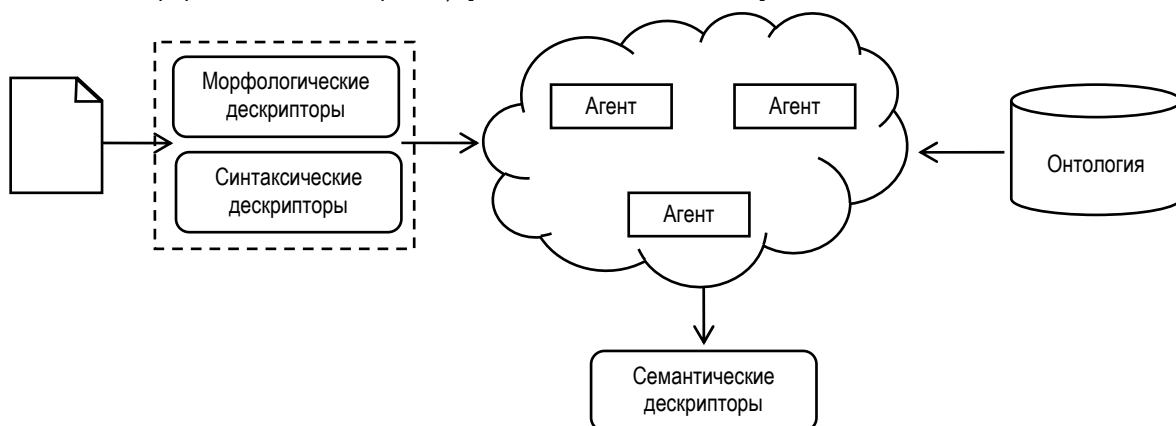


Рис. 4. Компоненты агентной платформы для решения задачи семантического индексирования документов

---

Каждый агент имеет доступ к общей онтологии, синтаксическим и морфологическим дескрипторам и к индексируемым документам. Агенты играют различные роли в процессе анализа и индексации документов (рабочие агенты, агенты-лидеры), формируя команды в начале анализа документа. Число агентов в команде зависит от структуры и содержания документа. Агенты взаимодействуют друг с другом в процессе анализа.

Преставление *знаний агента* с помощью онтологии – наиболее выразительный способ, использующий все преимущества явного представления знаний. Достоинством данного способа является то, что для «доказательства» вершины онтологии мы можем применить различные средства. Например, это может быть простое совпадение ключевой фразы или обращение к базе данных ИС. Онтологии позволяют описать различные ситуации в случае, если не удаётся найти точное соответствие: мы можем найти обобщающее или конкретизирующее понятие и т.п.

Кроме автоматического построения системы взаимосвязанных документов, возможно «ручное» создание схемы документов пользователем. В офисные приложения встраиваются специальные модули расширения, которые позволяют связать фрагменты документа с понятиями и отслеживать связи между ними.

Для работы с документами используется *формальная модель документа*, являющаяся обобщением нескольких различных моделей документов [Ланин, 2010; Ланин, 2011]. Модель создаёт основу для описания документа, позволяющую подойти к решению задачи семантической индексации неструктурированных документов, являющейся ключевой в интеллектуальном управлении документами.

Электронный документ представляет собой набор структурных элементов, называемых в данной работе *фрагментами*. Примерами фрагментов могут служить таблица, заголовок, реквизиты углового бланка и т.д. Таким образом, документ может быть представлен тройкой вида:

$$d = (S(F, R), C),$$

где  $S(F, R)$  – ориентированный гиперграф, вершинам которого сопоставлены элементы множества  $F$  (множество фрагментов документа), а  $R$  – это множество рёбер графа, соответствующее связям между фрагментами; элементы множества  $C$  представляют информационное содержание документа (его контент). Гиперграф  $S(F, R)$  задаёт отношение между фрагментами документа. Ориентированность графа необходима, например, для отслеживания связей «часть-целое» между фрагментами. Вершины, входящие в ребро, пронумерованы, что позволяет установить порядок следования фрагментов в тексте документа. Очевидно, что ребро, включающее все вершины, соответствует документу в целом. Фрагменты могут быть двух видов: элементарные фрагменты представляют простейшие неделимые элементы (например, реквизиты документа (дата составления и пр.) или такие элементы оформления, структурирования как заголовки и т.п.), а составные фрагменты содержат в себе другие фрагменты.

На данной модели определены операции, которые могут быть выполнены над документами в ИС. Представленная модель позволяет формализовать алгоритмы интеллектуальной обработки электронных документов в информационных системах. Модель предоставляет широкие возможности для интеграции документов с онтологическими ресурсами. Практическая значимость модели находит подтверждение при работе с документами в современных форматах, таких как OpenXML и OpenDocument Format (ODF).

---

## Генерация документации

---

Этап создания документации является необходимым при разработке любой информационной системы. Руководство программиста необходимо для обеспечения сопровождения системы. Пользовательская документация необходима для эффективного обучения пользователей работе с новой ИС. Однако очень часто разработчики программных систем и комплексов игнорируют данный процесс в связи с большим количеством времени, необходимого для создания качественной документации. Причём чем больше сложность системы, тем сложнее создание документации, поэтому возникают проблемы при эксплуатации ИС, её сопровождении. Особенно эти проблемы обостряются для систем, допускающих динамическую адаптацию, т.к. при настройке системы появляются расхождения её «поведения» с описаниями, данными в документации. Однако при этом, если система работает в режиме интерпретации, программный код интерпретатора не изменяется, следовательно, модифицировать при настройке системы в ходе её эксплуатации необходимо только пользовательскую документацию.

При создании компонента генерации документации пользователя решаются следующие задачи [Цыбин, 2007; Tsybin, 2008]:

- вывод в документ информации об объектах ИС и связях между ними;
- вывод в документ информации о нормативной основе автоматизации бизнес-процессов в системе, выполнения отдельных операций, полученной из документов, регламентирующих работу системы;
- вывод изображений экранных форм, с которыми работает пользователь ИС, с необходимыми пояснениями (описание пользовательского интерфейса системы);
- возможность управлять структурой и содержанием документации;
- возможность представления документа в различном формате;
- автоматическая генерация содержания и расстановка ссылок внутри документа.

На сегодняшний день на рынке программного обеспечения (ПО) наибольшее распространение получили программы автоматического документирования исходного кода проектов. В частности, это программы, работающие на основе фиксированных грамматик (программа NDoc для документирования исходного кода проектов на платформе dotNET; система JavaDoc для построения программной документации проектов на языке Java; система LPdoc создаёт документацию для языков Lisp и Prolog). Использование изменяемых грамматик – ещё один подход к реализации системы документирования программных проектов. В частности, существуют системы, полностью построенные на основе конечных автоматов.

В данном проекте создание документации реализовано на основе *шаблонов*, заранее заданных пользователем. Шаблоны содержат информацию о том, какую структуру должен иметь полученный документ. В данном случае грамматика – это набор правил извлечения информации из файла, структурированного определённым образом. Отличие от подхода, основанного на фиксированных грамматиках, состоит в том, что наборы правил по выделению информации из различных файлов вынесены в XML-файл и хранятся вне системы документирования.

Для решения задачи подготовки пользовательской документации использованы метаданные логической и презентационной моделей MDK (рис. 1). Логическая модель позволяет получить информацию о свойствах и связях сущностей. Эта информация используется при выводе в документ описаний объектов предметной области ИС и связей между ними. Презентационная модель хранит информацию обо всех

---

визуальных элементах интерфейса. ИС имеет настраиваемые формы ввода-редактирования данных для каждой сущности. Информация не только о свойствах и связях сущности, но и о внешнем виде форм также хранится в базе метаданных. Более того, презентационная модель связана с логической, что позволяет связывать описания элементов пользовательского интерфейса с соответствующими объектами, их описанием. Результаты семантического индексирования документов, полученные системой анализа документов, могут также использоваться при генерации пользовательской документации: в документы внесена семантическая разметка, которая позволяет установить связь нормативных и справочных документов и их фрагментов с соответствующими объектами предметной области.

Генерация документации разбита на несколько этапов. В процессе исследовательской работы была разработана и реализована двухслойная структура компонента документирования. Разработанные средства документирования работают в соответствии со схемой, показанной на рис. 5. На основе метаданных сначала генерируется *XML-документ* в соответствии с заданным пользователем шаблоном, а затем создаются конечные документы нужных форматов.

Для создания схемы шаблона XML-файла создан *интерфейс разработчика документации*, обеспечивающий удобный инструментарий для разметки документа. Путём сочетания вложенности различных элементов разработчик с помощью этого инструментария может задать *структуру документации* – создать *дерево содержания* документа. Определить структуру можно как визуально, так и с помощью текстового описания. Текстовое описание синхронизируется с построенным деревом. Кроме того, в интерфейсе реализована функция проверки синтаксических и семантических ошибок описания структуры документа. Интерфейс передаёт информацию о структуре документа в виде XML-файла структуры генератору XML-файла.

Генератор обходит *списки метаданных* в базе метаданных системы (БМД) в порядке, заданном структурой документа. Каждая вершина XML-файла описывает определённый объект системы, информация о котором выбирается из БМД. В генераторе XML-файла реализован также алгоритм поиска путей к сущности в *рекурсивном дереве объектов*. Задача разработки этого алгоритма возникла в связи с тем, что CASE-система METAS, в рамках которой был реализован исследовательский прототип средств документирования, позволяет на главной форме настроить дерево объектов (сущностей) ИС для удобного доступа пользователей к сущностям (для навигации по объектам системы). При этом может потребоваться описать путь к вершине, представляющей сущность в дереве, показать, как пользователь может до неё «добраться», используя связи, имеющиеся между объектами системы. Текущая настройка средств навигации, таким образом, отображается в генерируемом XML-файле. Для описания *экранных форм* ввода/редактирования данных в генератор добавлена функция «фотографирования» форм. Полученное изображение сохраняется в отдельном файле, а затем в XML-файл добавляется ссылка на данное изображение.

*Нормативные и справочные документы* с соответствующей семантической разметкой, позволяющей связать документы с описанием в БД объектов, работу с которыми они регламентируют, находятся в базе документов (БЖД). В создаваемый XML-файл заносится ссылка на соответствующий документ (его фрагмент).

Построенный XML-файл служит основой для генерации документации в различных форматах (документы MS Word, файлы HTML, Help-файлы). Анализатор выполняет разбор созданных ранее XML-файлов

описаний ИС и передаёт эти описания в специализированные генераторы конечных документов, поддерживающие определённый интерфейс. Анализатор использует технологию событийного разбора документов SAX.

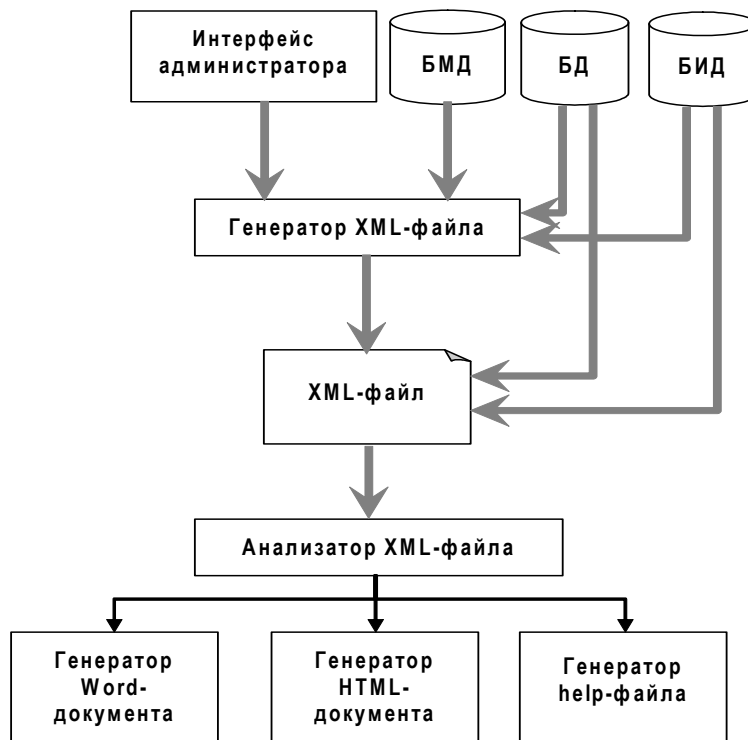


Рис. 5. Общая схема работы компонента документирования

Использование XML-файла документации позволяет хранить данные об информационной системе, её описание, независимо от представления документа, осуществлять настройку описания на нужный формат. Список генераторов конечных документов (т.е. форматов, в которых генерируется документация) может быть расширен.

Перспективной является возможность применения в генераторе шаблонов *изменяемой грамматики*. Алгоритм обработки элементов метаданных при построении документа меняется в зависимости от смысла отношений элементов метаданных. Была поставлена задача представления на декларативном уровне правил обработки сочетаний элементов метаданных, причём необходимо предоставить разработчику возможность изменять эти правила. При этом информация о связях элементов метаданных представляет собой метаметаданные, или метаданные второго уровня. Такой подход позволяет реализовать компонент документирования в виде отдельного модуля с возможностью подключения к любой информационной системе, основанной на списках. Данный подход предоставляет также более широкие возможности для приведения структуры документации к требуемому виду.

В ходе исследования разработана математическая модель, являющаяся основой применения изменяемых грамматик в алгоритме документирования, формально доказана обоснованность принятых проектных решений.

---

### Подсистема генерации отчётов

---

Средства репортинга, реализованные в проекте создания CASE-технологии METAS, предназначенной для поддержания жизненного цикла динамически адаптируемых систем, включают два основных компонента: «Менеджер запросов» и «Менеджер отчётов» [Lanin, 2008].

Одно из основных требований к подсистемам создания запросов и отчётов – это возможность их разработки пользователями-непрограммистами. Такое требование может быть выполнено только за счёт введения дополнительного семантического слоя, основой которого могут быть метаданные, уже присутствующие в системе. Это даёт пользователю возможность работы с данными в соответствии с терминологией, принятой в конкретной предметной области ИС, позволяет абстрагироваться от физической структуры данных в БД.

Семантика предметной области учитывается при создании специальных предметно-ориентированных языков (DSL), для разработки которых в CASE-систему интегрируются языковой инструментарий [Лядова, Сухов, 2010].

Согласно предложенной концепции при создании запросов к БД пользователь выбирает сущности (объекты предметной области), участвующие в запросе, и связи между ними, которые должны быть учтены. Выбирает интересующие его атрибуты сущностей и другие параметры, влияющие на сортировку и группировку данных. Для разработки правил, задания условий в запросах применяются визуальные и текстовые DSL. В результате учёта требований пользователя и интерпретации метаданных построитель запросов автоматически генерирует SQL-запрос к базе данных информационной системы.

В качестве шаблонов (форм) отчётов могут быть использованы документы MS Word и рабочие книги MS Excel. Для обеспечения обмена с другими подсистемами распределённой ИС построитель имеет функции экспорта и импорта шаблонов отчётов.

В соответствии с предлагаемым подходом последовательность действий пользователя для создания нового отчёта выглядит следующим образом:

- 1) подготовка необходимых запросов с помощью «Менеджера запросов»;
- 2) подготовка и разметка шаблона офисного документа (включение в шаблон информации о диапазонах, куда будут помещаться данные при генерации документа на базе данного шаблона, элементов оформления и пр.), добавление формул для вычислений, диаграмм;
- 3) связывание запросов и соответствующих диапазонов документа, в которые должны быть помещены их результаты;
- 4) сохранение полученного шаблона в базе метаданных системы (БМД, рис. 1).

Предложенный подход обладает рядом преимуществ. Во-первых, для создания нового отчёта не требуется программирование и написание запросов на языке SQL. При необходимости аналитическая обработка информации может быть произведена в Microsoft Excel с помощью всех доступных средств пакета. Во-вторых, хранение шаблона отчёта в БМД делает этот отчёт частью метаданных, что позволяет тиражировать шаблоны отчётов вместе с запросами, на базе которых строятся отчёты между узлами распределённой информационной системы, обеспечивая единство системы документации.



---

Процедура генерации отчётов включает следующие шаги:

- 1) из базы метаданных извлекаются шаблоны отчёта, на их базе создаются документы;
- 2) выполняются запросы к БД ИС, связанные с каждым из шаблонов;
- 3) происходит вставка результатов выполнения запросов в размеченные диапазоны отчёта, при этом в нем могут производиться дополнительные вычисления, если в шаблон были включены соответствующие средства (формулы Excel, поля Word);
- 4) созданный отчёт может быть сохранён в БД как документ, он может быть также распечатан или передан по сети.

Благодаря реализованной возможности хранения электронных документов в БД (создан специальный тип данных), сгенерированные отчёты становятся частью данных ИС, над ними можно выполнять разрешённые в системе операции.

---

### **Заключение**

Описанные выше средства реализованы в рамках создания CASE-технологии METAS, они прошли апробацию при реализации нескольких проектов. Возможности технологии значительно расширяются при интеграции в CASE-систему языкового инструментария MetaLanguage, предназначенного для разработки предметно-ориентированных языков, играющих роль метамodelей при создании ИС.

Структура компонента документирования обеспечивает дальнейшее расширение возможностей. В ходе исследований появились также новые идеи построения логики работы компонента документирования, основанные на использовании семантической разметки.

Средства анализа документов могут быть использованы как для снижения трудоёмкости работы пользователей с документами, так и для поддержки решения задачи анализа предметной области разработчиками, задачи документирования проекта на всех этапах.

В данном случае предлагается глубокая интеграция функциональных подсистем ИС, включающих как средства разработки, так и средства, с которыми работают «конечные пользователи». Это даёт возможность создания интеллектуальной CASE-технологии, предназначенной для создания динамически настраиваемых ИС, обладающих уникальными возможностями адаптации к меняющимся условиям эксплуатации на основе средств поддержки «обратной связи».

---

### **Благодарности**

The paper is published with financial support by the project ITHEA XXI of the Institute of Information Theories and Applications FOI ITHEA ([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)).

---

### **Библиографический список**

- [Арушанян, 2010] Арушанян О.Б., Богомолов Н.А., Волченскова Н.И., Ковалев А.Д. Средства автоматизации документирования больших комплексов программ // Вычислительные методы и программирование. 2010. Т.11. С.26-30.

- 
- [Заболеева-Зотова, 2008] Заболеева-Зотова А.В., Орлова Ю.А. Автоматизация семантического анализа документации технического задания // Вестник компьютерных и информационных технологий. 2008. №9. С.26-34.
- [Заболеева-Зотова, 2009] Заболеева-Зотова А.В., Орлова Ю.А. Computer Support of Semantic Text Analysis of a Technical Specification on Designing Software // Intelligent Processing: suppl. to Int. Journal "Information Technologies and Knowledge" Vol. 3. - 2009. - Int. Book Series "Information Science & Computing", № 9. С. 29-35.
- [Климов, 2010] Климов Б.А., Романов Д.Ю. Анализ систем документооборота в проектах по разработке программного обеспечения // Бизнес-информатика, №2(12), 2010. С. 15-23.
- [Ланин, 2008] Ланин В. Использование многоуровневого репозитория онтологий для анализа электронных документов // Труды международных научно-технических конференций «Интеллектуальные системы» (AIS'08) и «Интеллектуальные САПР» (CAD-2008). Научное издание в 4-х томах. Т. 1. – М.: Физматлит, 2008. С. 202-206
- [Ланин, 2009] Ланин В. Онтологии как основа функционирования систем обработки электронных документов // Материалы Всероссийской конференции с международным участием «Знания-Онтологии-Теории». Новосибирск, 2009, Т. 2. С. 173-177.
- [Ланин, 2010] Ланин В.В. Модель документов, основанная на гиперграфах, в системах интеллектуального управления документами // Современные проблемы математики и её прикладные аспекты: сб. ст. / Пермский университет: Пермь. 2010. С. 81-86.
- [Ланин, Лядова, 2010] Ланин В.В., Лядова Л.Н. Управление документами в динамически адаптируемых системах, основанных на метамоделировании // Труды Конгресса по интеллектуальным системам и информационным технологиям «AIS-IT'10» Научное издание в 4-х томах. Т. 1. – М.: Физматлит, 2010. С. 510-518.
- [Ланин, 2011] Ланин В.В. Модель документа в адаптируемых информационных системах // Информатизация и связь. № 3, 2011. С. 29-31.
- [Лядова, 2007] Лядова Л.Н. Технология создания динамически адаптируемых информационных систем // Труды междунар. науч.-техн. конф. «Интеллектуальные системы» (AIS'07). Т. 2. – М.: Физматлит, 2007. С. 350-357.
- [Лядова, 2008] Лядова Л.Н. Метамоделирование и многоуровневые метаданные как основа технологии создания адаптируемых информационных систем // Advanced Studies in Software and Knowledge Engineering / International Book Series "Information Science & Computing", Number 4. Supplement to the International Journal "Information Technologies & Knowledge. Volume 2, 2008. Institute of Information Theories and Applications FOI ITHEA, Sofia, 2008. P. 125-132.
- [Лядова, 2010] Лядова Л.Н. О создании DSM-платформы на основе метамоделирования и онтологий // Сборник трудов Четвертой международной научно-технической конференции «Инфокоммуникационные технологии в науке, производстве и образовании» (Инфоком-4): Часть I / Ставрополь, 28-30 июня 2010 г. / Северо-Кавказский государственный технический университет. С. 222-227.
- [Лядова, Сухов, 2010] Лядова Л.Н., Сухов А.О. Визуальные языки и языковые инструментари: методы и средства реализации // Труды Конгресса по интеллектуальным системам и информационным технологиям «AIS-IT'10» Научное издание в 4-х томах. Т. 1. – М.: Физматлит, 2010. С. 374-382.
- [Мамаев, 2008] Мамаев А.С., Прошин А.А., Флитман Е.В. Создание системы документирования и контроля распределённых информационных систем // Современные проблемы дистанционного зондирования земли из космоса: Сб. научн. статей. Вып. 5, 2008. М.: ООО «Азбука-2000». С. 557-560.
- [Смирнов, 2012] Смирнов М.Н., Соколов Н.Е., Романовский К.Ю. DocLineFM: среда разработки повторно-используемой документации семейств программных продуктов на базе пакета Adobe FrameMaker // Системное программирование. Вып. 6. 2012. С. 80-98.
- [Сонис, 2006] Сонис Р.Г. Совершенствование элементов системы управления электронным документооборотом на основе методов функциональной стандартизации и технологии открытых систем: Автореферат диссертации на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.13.05 и 05.13.15. Москва, 2006.

- [Суясов, 2007] Суясов Д.И., Шалыто А.А. Автоматическое документирование программных проектов на основе автоматного подхода: [Электронный документ] (<http://is.ifmo.ru>).
- [Тарасенко, 2009] Тарасенко А.В. Разработка и исследование методов и моделей автоматической проверки текстов на соответствие требованиям технической документации: Автореферат диссертации на соискание учёной степени доктора технических наук по специальности 05.13.17. Таганрог, 2009.
- [Цыбин, 2007] Цыбин А.В. Автоматическая генерация документации пользователя в информационных системах, управляемых метаданными // Сб. тезисов конференции-конкурса «Технологии Microsoft в теории и практике программирования» / Новосибирск: НГУ, 2007. С. 78-80.
- [Черников, 2010] Черников Б.В. Методология формирования документационного обеспечения деятельности организации на основе лексикологического синтеза: Автореферат диссертации на соискание учёной степени доктора технических наук по специальности 05.25.05. Москва, 2010.
- [Fulford, 2001] Fulford H. Developing Document Analysis and Data Extraction Tools for Entity Modelling // NLDB 2000, LNCS 1959, 2001. P. 265-275.
- [Kuo, 2004] Kuo J.-Y. A document-driven agent-based approach for business processes management // Information and Software Technology, 46 (2004). P. 373-382.
- [Lanin, 2008] Lanin V. Architecture and Implementation of Reporting Means in Adaptive Dynamically Extended Information Systems // International Journal "Information Technologies & Knowledge" / Sofia (Bulgaria) – Vol. 2/2008, Number 3, P. 273-277.
- [Sierra, 2004] Sierra J.L., Fernández-Manjón B., Fernández-Valmayor A., Navarro A. A Document-Oriented Approach to the Development of Knowledge Based Systems // LNAI 3040, 2004. P. 16-25.
- [Song, 2007] Song D., Lau R.Y.K., Bruza P.D., Wong K.-F., Chen D.-Y. An intelligent information agent for document title classification and filtering in document-intensive domains // Decision Support Systems, 44 (2007). P. 251-265.
- [Tsybin, 2008] Tsybin A., Lyadova L. Software Testing and Documenting Automation // International Journal "Information Technologies and Knowledge" / Sofia (Bulgaria) – Vol. 2/2008, Number 3. P. 267-272.

---

### Информация об авторах

---



**Вячеслав Ланин** – старший преподаватель кафедры математического обеспечения вычислительных систем ПГНИУ; Россия, 614990, г. Пермь, ул. Букирева, 15; [Lanin@Perm.ru](mailto:Lanin@Perm.ru).

Область научных исследований: интеллектуальный поиск и анализ документов; средства разработки программного обеспечения, онтологическое моделирование.



**Людмила Лядова** – доцент кафедры информационных технологий в бизнесе НИУ ВШЭ – Пермь; Россия, г. Пермь, 614070, ул. Студенческая, 38; [LNLyadova@gmail.com](mailto:LNLyadova@gmail.com).

Область научных исследований: инструментальные средства разработки программного обеспечения; метамоделирование.



**Антон Цыбин** – ведущий программист ООО «Парагон», соискатель ПГНИУ; Россия, 614990, г. Пермь, ул. Букирева, 15; [magicdr@mail.ru](mailto:magicdr@mail.ru).

Область научных исследований: проектирование информационных систем; инструментальные средства разработки программного обеспечения.

---

---

## TABLE OF CONTENT

Комплексный анализ риска банкротства корпораций в условиях неопределенности	
Михаил Згуровский, Юрий Зайченко.....	103
Анализ возможности использования модели балансных сетей при проектировании сетей доступа	
Антон Бондаренко, Виталий Величко .....	126
Синтез и анализ диофантовых регуляторов систем управления программным движением	
Адиль Тимофеев .....	131
Ресурсный подход к моделированию человеко-компьютерного взаимодействия с интеллектуальной информационной средой	
Баканов А. С. ....	139
Выбор сценария создания сети доступа	
Галина Гайворонская, Светлана Сахарова, Александра Котова .....	143
Сужение множества парето на основе нечёткой информации	
Владимир Ногин .....	157
Подход к разработке обобщенной модели взаимодействия внешней информационной метаструктуры и конвергентной телекоммуникационной сети	
Максим Соломицкий.....	169
Метод оценки достоверности классификации инфокоммуникационных услуг	
Павлов Семен.....	174
Разработка имитационной модели для оптимизации функционирования полностью оптических сетей	
Юрий Гриньков .....	178
Технология Создания документ-ориентированных систем, основанных на метамоделировании	
Вячеслав Ланин, Людмила Лядова, Антон Цыбин.....	184
Table of content.....	200