

№ 4 (90) июль-август 2015

Издается с 2002 года. Выходит 6 раз в год

Учредитель – федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Государственный университет —  
учебно-научно-производственный комплекс» (Госуниверситет – УНПК)

### Редакционный совет

Голенков В.А., председатель  
Радченко С.Ю., заместитель председателя  
Борзенков М.И., секретарь

Астафичев П.А., Иванова Т.Н., Киричек А.В.,  
Колчунов В.И., Константинов И.С.,  
Новиков А.Н., Попова Л.В., Степанов Ю.С.

### Главный редактор

Константинов И.С.

### Редколлегия

Архипов О.П. (Орел, Россия)  
Аверченков В.И. (Брянск, Россия)  
Еременко В.Т. (Орел, Россия)  
Иванников А.Д. (Москва, Россия)  
Коськин А.В. (Орел, Россия)  
Подмастерьев К.В. (Орел, Россия)  
Поляков А.А. (Москва, Россия)  
Савина О.А. (Орел, Россия)  
Раков В.И. (Орел, Россия)

Сдано в набор 15.06.2015 г.

Подписано в печать 26.06.2015 г.

Формат 60x88 1/8.

Усл. печ. л. 7,5. Тираж 300 экз.

Заказ № 130/15П2

Отпечатано с готового оригинал-макета  
на полиграфической ба  
ФГБОУ ВПО «Госуниверситет - УНПК»  
302030, г. Орел, ул. Московская, 65

Подписной индекс 15998

по объединенному каталогу

«Пресса России»

Материалы статей печатаются в авторской редакции.

Право использования произведений предоставлено  
авторам на основании п. 2 ст. 1286 Четвертой части  
ГК РФ.

Журнал входит в Перечень ведущих рецензируемых  
научных журналов и изданий, определенных ВАК для  
публикации трудов на соискание ученых степеней  
кандидатов и докторов наук.

### Рубрики номера

1. Математическое и компьютерное  
моделирование.....5-51
2. Информационные технологии  
в социально-экономических  
и организационно-технических  
системах .....52-75
3. Автоматизация и управление  
технологическими процессами и  
производствами.....76-89
4. Математическое и программное обеспечение  
вычислительной техники и  
автоматизированных систем.....90-105
5. Телекоммуникационные системы  
и компьютерные сети.....106-110
6. Информационная безопасность и защита  
информации.....111-126

### Редакция

О.И. Константинова  
А.А. Митин

### Адрес учредителя журнала

302020, г. Орел, Наугорское шоссе, 29  
(4862) 42-00-24; www.gu-unpk.ru;  
E-mail: unpk@ostu.ru

### Адрес редакции

302020, г. Орел, Наугорское шоссе, 40  
(4862) 43-40-39; www.gu-unpk.ru;  
E-mail: konstaoksana@yandex.ru; isit@ostu.ru

Зарег. в Федеральной службе по надзору в сфере  
связи, информационных технологий  
и массовых коммуникаций.  
Св-во о регистрации средства массовой  
информации ПИ № ФС77-47350 от 03.11.2011 г.

№ 4 (90) July-August 2015

The journal is published since 2002, leaves six times a year  
The founder – State University – Education-Science-Production Complex

*Editorial council*

Golenkov V.A., president  
Radchenko S.Y., vice-president  
Borzenkov M.I., secretary

Astafichev P.A., Ivanova T.N., Kirichek A.V.,  
Kolchunov V.I., Konstantinov I.S.,  
Novikov A.N., Popova L.V., Stepanov Y.S.

*Editor-in-chief*

Konstantinov I.S.

*Editorial board*

Arhipov O.P. (Orel, Russia)  
Averchenkov V.I. (Bryansk, Russia)  
Eremenko V.T. (Orel, Russia)  
Ivannikov A.D. (Moscow, Russia)  
Koskin A.V. (Orel, Russia)  
Podmasteriev K.V. (Orel, Russia)  
Polyakov A.A. (Moscow, Russia)  
Savina O.A. (Orel, Russia)  
Rakov V.I. (Orel, Russia)

*It is sent to the printer's on 15.06.2015,  
26.06.2015 is put to bed  
Format 60x88 1/8.  
Convent. printer's sheets 7,5. Circulation 300 copies  
The order №  
It is printed from a ready dummy layout  
on polygraphic base of State University – ESPC  
302030, Orel, Moskovskaya street, 65*

*Index on the catalogue  
«Pressa Rossii» 15998*

Journal is included into the list of the Higher Attestation Commission for publishing the results of theses for competition the academic degrees.

In this number

1. Mathematical and computer simulation....5-51
2. Information technologies in social and economic and organizational-technical systems.....52-75
3. Automation and control of technological processes and manufactures.....76-89
4. Software of the computer facilities and the automated systems.....90-105
5. Telecommunication systems and computer networks.....106-110
6. Information and data security.....111-126

*The editors*

Konstantinova O.I.  
Mitin A.A.

*The address of the founder of journal*

302020, Orel, Highway Naugorskoe, 29  
(4862) 42-00-24; www.gu-unpk.ru;  
E-mail: unpk@ostu.ru

*The address of the editorial office*

302020, Orel, Highway Naugorskoe, 40  
(4862) 43-40-39; www.gu-unpk.ru;  
E-mail: konstaoksana@yandex.ru; isit@ostu.ru

*Journal is registered in Federal Service for Supervision in the Sphere of Telecom, Information Technologies and Mass Communications.  
The certificate of registration  
ПИ № ФС77-47350 from 03.11.2011.*

© State University – ESPC, 2015

## **СОДЕРЖАНИЕ**

### **МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ**

*А.В. ГРЕЧЕНЕВА, О.Р. КУЗИЧКИН, Н.В. ДОРОФЕЕВ, И.С. КОНСТАНТИНОВ*

Применение акселерометрических датчиков в измерительных гониометрических системах.....5-10

*С.В. ЕРЕМЕНКО, М.Н. ОРЕШИНА*

Метод оценки параметров процессов сбора и обработки вертикально интегрированных данных реального времени в коммуникационной среде корпоративного портала газотранспортного предприятия.....11-18

*С.А. ЛУПИН, САЙ ВИН МО, АЙ МИН ТАЙК*

Применимость алгоритма полного перебора вариантов при распределении работы в иерархических системах.....19-27

*А.В. САВЧЕНКО*

Об одном способе повышения вычислительной эффективности вероятностной нейронной сети в задаче распознавания образов на основе проекционных оценок.....28-38

*М.В. САГАЦИЯН, Г.С. ТУПИЦИН, С.А. КРАВЦОВ, А.Л. ПРИОРОВ*

Повышение эффективности коллективного нейросетевого алгоритма в задаче дикторнезависимого распознавания речевых команд в условиях шумов.....39-46

*В.А. ЯГУПОВ*

Методика оценки эффективности размещения файлов распределенных баз данных АСУ городских сетей газоснабжения на основе обобщенного критерия.....47-51

### **ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ И ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ**

*О.Ф. КОЗЫРЬ*

Повышение эффективности управления информационными ресурсами предприятий на основе автономных сценариев.....52-57

*Т.П. КОСТЮКОВА, И.А. ЛЫСЕНКО, В.С. САУБАНОВ*

Математическая модель оценки риска потери контингента в учреждениях высшего профессионального образования.....58-68

*А.В. КОСЬКИН, А.Ю. УЖАРИНСКИЙ*

Модель оценки качества принятия управленческих решений в ВУЗе.....69-75

### **АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ И ПРОИЗВОДСТВАМИ**

*С.И. ПОПЛАВНЫЙ, А.И. СУЗДАЛЬЦЕВ*

Автоматизация контроля влажности изделия и температуры в печи в процессе управления выпечкой изделий пищевого назначения.....76-81

*Б.С. ЧЕТВЕРИКОВ, М.С. ЧЕПЧУРОВ*

Автоматизация процесса оценки точности канавки катания при изготовлении лапы бурового долота.....82-89

### **МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ И АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ**

*О.В. КОНЮХОВА, А.А. МИТИН*

Программная реализация алгоритмов проверки декомпозиции на соединение без потерь и на сохранение зависимостей на языке функционального программирования Haskell.....90-97

*Н.А. ОРЕШИН, В.С. ШУМИЛИН, Е.Г. ЗАВОДАЕВ, О.Э. ЕГИН*

Математические аспекты идентификации кадра-вставки в мультимедийном потоке.....98-105

### **ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И КОМПЬЮТЕРНЫЕ СЕТИ**

*Г.Х. ИРЗАЕВ, Н.М. ГАДЖИЕВА*

Функциональная модель мониторинга и анализа состояния информационно-коммуникационных систем современных предприятий.....106-110

### **ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ И ЗАЩИТА ИНФОРМАЦИИ**

*И.В. АНИКИН*

Метод нечеткой оценки критичности активов корпоративной информационной сети.....111-120

*К.А. БАТЕНКОВ*

Линейные модуляция и демодуляция для беспроводного канала связи с замираниями накагами.....121-126

## CONTENT

### MATHEMATICAL AND COMPUTER SIMULATION

- GREChENEVA A.V., KUZICHKIN O.R., DOROFEEV N.V. I.S. KONSTANTINOV*  
Use of the accelerometer in measurement goniometric systems.....5-10
- EREMENKO S.V., OREShINA M.N.*  
Method of estimating parameters of the collection and treatment of vertical integrated data real-time communication environment of a corporate portal transporter.....11-18
- LUPIN S.A., SAJ VIN MO, AJ MIN TAJK*  
The applicability of an exhaustive search of variants in the distribution of work in a hierarchical system.....19-27
- SAVChENKO A.V.*  
On improvement of computing efficiency of the probabilistic neural network in pattern recognition problem based on the orthogonal series estimates of class densities.....28-38
- SAGACIYaN M.V., TUPICY'N G.S., KRAVCOV S.A., PRIOROV A.L.*  
Improving the efficiency of collective neural network algorithm in the problem of speaker-independent voice recognition in the condition of noises.....39-46
- YaGUPOV V.Ya.*  
Method of assessment of efficiency file allocation of distributed databases ACS urban gas supply networks based on generalized criteria.....47-51

### INFORMATION TECHNOLOGIES IN SOCIAL AND ECONOMIC AND ORGANIZATIONAL-TECHNICAL SYSTEMS

- KOZY'R' O.F.*  
Improving the effectiveness of information resources control of enterprises on the basis of autonomous scripts.....52-57
- KOSTYuKOVA T.P., LY'SENKO I.A., SAUBANOV V.S.*  
Mathematical model of risk assessment of the contingent of students loss in institutions of higher vocational education.....58-68
- KOS'KIN A.V., UZhARINSKIY A.Yu.*  
A model of assessing the quality of management decision making in the university.....69-75

### AUTOMATION AND CONTROL OF TECHNOLOGICAL PROCESSES AND MANUFACTURES

- POPLAVNY'J S.I., SUZDAL'CEV A.I.*  
Automation of control of humidity products and temperature in oven during management baking edible products..76-81
- ChETVERIKOV B.S., ChEPChUROV M.S.*  
Process automation of accuracy appraisal of filling riffle for manufacturing drilling bit leg.....82-89

### SOFTWARE OF THE COMPUTER FACILITIES AND THE AUTOMATED SYSTEMS

- KONYuXOVA O.V., MITIN A.A.*  
Implementation of the lossless-join decomposition validation algorithm and dependency-preservation decomposition validation algorithm in Haskell.....90-97
- OREShIN N.A., ShUMILIN V.S., ZAVODAEV E.G., EGIN O.E'.*  
Mathematical aspects identification frame-insertion into the media stream.....98-105

### TELECOMMUNICATION SYSTEMS AND COMPUTER NETWORKS

- IRZAEV G.X., GADZhiEVA N.M.*  
Functional model of monitoring and analysis of communication and information systems of modern enterprises..106-110

### INFORMATION AND DATA SECURITY

- ANIKIN I.V.*  
Fuzzy assessment of assets in telecommunication networks.....111-120
- BATENKOV K.A.*  
Linear modulation and demodulation for wireless channel with Nacagami fading.....121-126

УДК 617-7

А.В. ГРЕЧЕНЕВА, О.Р. КУЗИЧКИН, Н.В. ДОРОФЕЕВ, И.С. КОНСТАНТИНОВ

## ПРИМЕНЕНИЕ АКСЕЛЕРОМЕТРИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ В ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ГОНИОМЕТРИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

*В статье рассматриваются вопросы, связанные с разработкой и практическим применением акселерометрических датчиков в различных электронно-механических системах диагностики и реабилитации опорно-двигательного аппарата. Определены основные проблемы применения акселерометрических методов при регистрации полного вектора ускорения с помощью двухкомпонентных акселерометров дифференциального типа. Выявлена основная причина возникновения погрешности измерения при применении данного подхода. Рассмотрены основные положения фазометрического метода формирования сигнала дифференциальных измерительных преобразователей для акселерометрического датчика угла поворота. Рассмотрена реализация электронного датчика угла поворота биокинематических пар на основе фазометрического метода формирования сигнала. Обоснован принцип применения фазометрического способа акселерометрического измерения угла поворота кинематической пары, позволяющего устранить мультипликативную погрешность на предварительной стадии измерения угла поворота кинематических пар.*

**Ключевые слова:** гониометрия; акселерометрический датчик; фазометрический метод; угол поворота; система диагностики; опорно-двигательный аппарат; суставные перемещения.

### ВВЕДЕНИЕ

Диагностика опорно-двигательного аппарата человека является первостепенной задачей на этапе определения курса реабилитации и восстановительной методики.

Повысить точность, эффективность и надежность средств гониометрических измерений позволяет замена традиционных механических гониометров и угломеров электронными системами с микропроцессорным управлением. Перспективным подходом в создании гониометрического оборудования является применение инерционных систем контроля на базе акселерометрических преобразователей.

Основной проблемой традиционных измерительных систем на базе дифференциальных измерительных преобразователей, является наличие мультипликативной нестабильности ветвей преобразователя. Для устранения данной погрешности в устройствах формирования выходного сигнала измерительного преобразователя применяются компенсационные методы.

Целью работы является создание нового подхода к достижению высокоточных гониометрических измерений, изучение возможности применения акселерометрических датчиков для измерения суставных перемещений и обоснование применения фазометрического метода в рамках разработки акселерометрического гониометра.

### АКСЕЛЕРОМЕТРИЧЕСКИЙ МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ СУСТАВНЫХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ

Принцип применения акселерометров для измерения угла поворота  $\varphi$  основан на измерении вектора полного ускорения  $\vec{a}$  общей точки O кинематической пары в двух системах отсчета [1]. При этом вектор полного ускорения  $\vec{a}$  определяется измерением четырех значений ускорений в двух системах координат  $ax_1, ay_1, ax_2, ay_2$ , полученных при

помощи двухкомпонентных акселерометров дифференциального типа, закрепленных на соседних звеньях диагностируемого сустава (рис. 1).

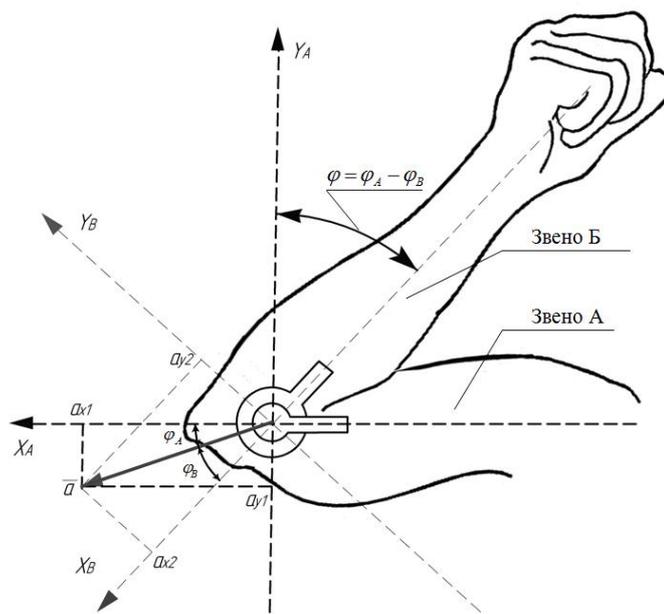


Рисунок 1 – Акселерометрический метод измерения угла поворота

Ускорение общей точки О биокинематической пары не связано с углом поворота  $\varphi$ , а определяется только параметрами общего движения объекта и самой точки О. В результате измерений значений ускорения для каждого акселерометра в двух системах координат на выходе получаются четыре сигнала, пропорциональные ускорению общей точки кинематической пары  $\vec{a}$ :

$$\left. \begin{aligned} a_{x1} &= K_{x1} a \cos(\varphi_A) \\ a_{y1} &= K_{y1} a \sin(\varphi_A) \\ a_{x2} &= K_{x2} a \cos(\varphi_B) \\ a_{y2} &= K_{y2} a \sin(\varphi_B) \end{aligned} \right\}, \quad (1)$$

где  $\varphi_A$  и  $\varphi_B$  – углы между направлением вектора ускорения общей точки О кинематической пары  $\vec{a}$  и измерительными акселерометрическими системами  $(\vec{x}_A, \vec{y}_A)$  и  $(\vec{x}_B, \vec{y}_B)$  соответственно;

$K_{x1}, K_{y1}, K_{x2}, K_{y2}$  – коэффициенты преобразования соответствующих акселерометров.

Исходя из соотношений (1) и на основании связей между компонентами вектора линейного ускорения, при движении объекта и смещении акселерометров на угол  $\varphi = \varphi_A - \varphi_B$ , последний можно определить по формулам [2]:

$$\begin{aligned} \sin \varphi &= \frac{a_{x2} a_{y1} / K_{x2} K_{y1} - a_{y2} a_{x1} / K_{y2} K_{x1}}{(a_{x1} / K_{x1})^2 + (a_{y1} / K_{y1})^2}, \\ \cos \varphi &= \frac{a_{x2} a_{x1} / K_{x2} K_{x1} + a_{y2} a_{y1} / K_{y2} K_{y1}}{(a_{x1} / K_{x1})^2 + (a_{y1} / K_{y1})^2}. \end{aligned} \quad (2)$$

При технической реализации данного подхода возникают трудности его практического применения, обусловленные громоздкими вычислениями и нестабильностью системы к влиянию мультипликативных помех. Решением данной проблемы является применение фазометрического метода [3].

### ФАЗОМЕТРИЧЕСКИЙ МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ УГЛА ПОВОРОТА

Принцип действия данного метода основан на непосредственном преобразовании сигналов с двухкомпонентных акселерометров в фазу синусоидального колебания. Это достигается путем питания акселерометров источником переменного напряжения, при этом фаза одного напряжения сдвинута относительно фазы другого на  $\pi/2$ .

По данной методике, направление мгновенного ускорения по отклонению к базису объекта А будет иметь угол  $\varphi_A$ , а к базису объекта В – угол  $\varphi_B$ . Тогда сигналы с выходов акселерометров будут иметь следующий вид:

$$\begin{aligned} a_{x1} &= U \sin(\omega t) K_{x1} a \cos(\varphi_A), \\ a_{y1} &= U \cos(\omega t) K_{y1} a \sin(\varphi_A), \\ a_{x2} &= U \sin(\omega t) K_{x2} a \cos(\varphi_B), \\ a_{x2} &= U \cos(\omega t) K_{y2} a \sin(\varphi_B), \end{aligned} \quad (3)$$

где  $U, \omega$  – амплитуда и частота сигнала квадратурного генератора.

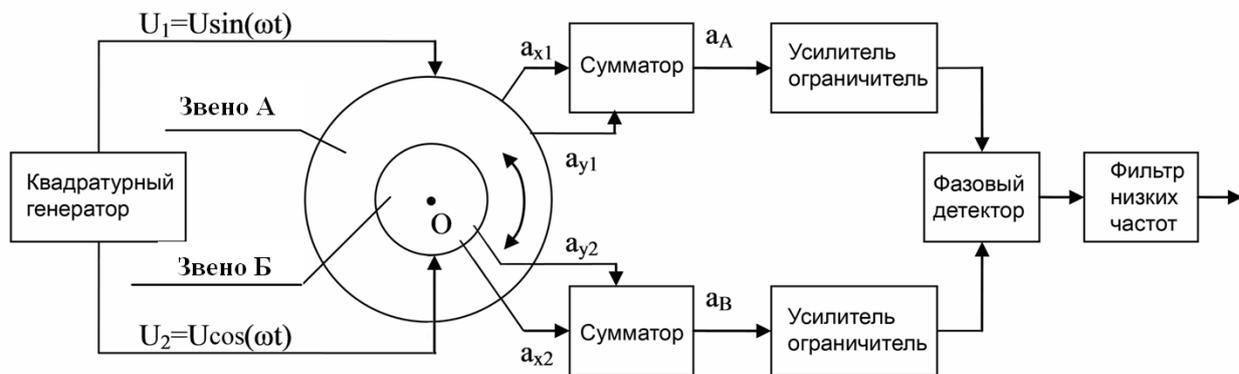


Рисунок 2 – Фазометрический метод измерения угла поворота

При сложении сигналов в сумматорах для объекта А и объекта В соответственно получим:

$$a_A = UK_{x1} a \cos(\omega t + \varphi_A + \varphi_{K1}), \quad a_B = UK_{x2} a \cos(\omega t + \varphi_B + \varphi_{K2}), \quad (4)$$

где  $\varphi_{K1}$  и  $\varphi_{K2}$  – фазы рассогласования измерительных ветвей.

В результате с выхода фазового детектора после низкочастотной фильтрации мы будем иметь сигнал пропорциональный углу поворота объекта А относительно объекта В.

Мультипликативная погрешность устраняется за счет ограничения уровня сигналов в ограничителе с последующим фазовым детектированием сигнала и определяется технической реализацией фазометрического метода. [4]

### АКСЕЛЕРОМЕТРИЧЕСКИЙ ГОНИОМЕТР

Реализация данного датчика позволяет решить задачу повышения точности измерений суставных перемещений. Это достигается путем применения двухкоординатных акселерометров, питаемых переменным током и соединенных последовательно на объекте А и объекте В.

Данное подключение способствует образованию пространственно ориентированного измерительного моста, выходами которого являются точки соединения акселерометров на

каждом из объектов. Применение этого подхода в рамках реализации акселерометрического гониометра позволяет устранить влияние мультипликативной нестабильности [5].

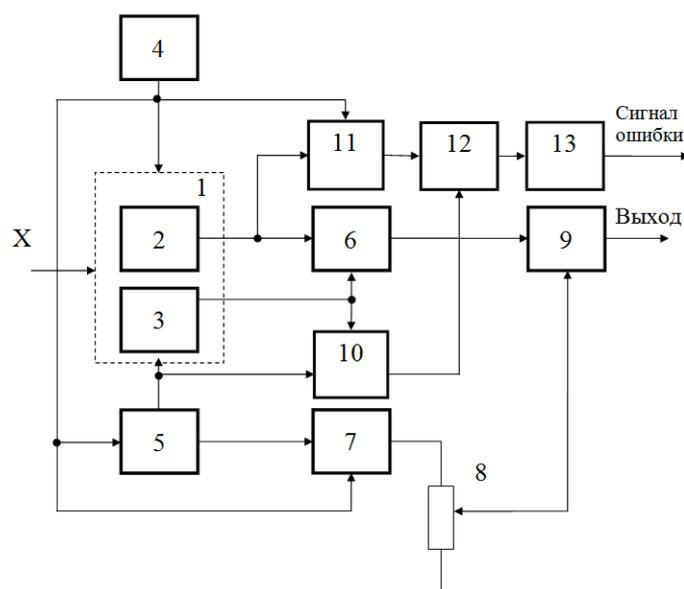


Рисунок 3 – Блок-схема устройства формирования сигнала гониометра

Отличительная особенность разрабатываемого гониометра заключается в применении схемы устройства формирования сигнала, содержащей дополнительный фазовращатель 5. Это обусловлено необходимостью генерации квадратурной составляющей сигнала, поступающего с источника переменного тока 4. Фазовый сдвиг, формируемый фазовращателем, должен находиться в пределах от  $\pi/6$  до  $5\pi/6$ , но оптимальным является значение  $\pi/2$ , которое обеспечивает питание измерительного преобразователя квадратурными составляющими. Измеряемые напряжения с выходов ветвей 2 и 3 акселерометра 1 поступают на входы фазового детектора 6, выход которого подключен к входу дифференциального усилителя 9, формирующего выходное постоянное напряжение. Переменный резистор 8 присоединен к выходу второго фазового детектора 7, ко входам которого подключен источник питающего тока 4 и выход фазовращателя 5. Движок переменного резистора 8 соединен со вторым входом дифференциального усилителя 9. Контроль за работоспособностью дифференциального измерительного преобразователя осуществляется с помощью двух дополнительных фазовых детекторов 10 и 11, подключенных к выходам источника переменного тока 4 и фазовращателя 5, а также к выходам дифференциального измерительного преобразователя 1. Выходы фазовых детекторов подключены к входам дифференциального усилителя 12, выход которого подключен к устройству фиксации ошибки 13, которое в случае рассогласования измерительных ветвей, возникающее вследствие износа или неисправности дифференциального измерительного преобразователя, вырабатывает сигнал ошибки. [6]

Исходя из соотношений (3) и (4), сигнал на входе основного фазового детектора будет иметь следующий вид:

$$\begin{aligned} U_A &= UK_{x1}(1 + \Delta K_1)a \cos(\omega t + \varphi_A + \varphi_{K1}), \\ U_B &= UK_{x2}(1 + \Delta K_2)a \cos(\omega t + \varphi_B + \varphi_{K2}) \end{aligned} \quad (5)$$

Так как выбрана схема последовательного включения акселерометров, то коэффициенты преобразования соответственно равны  $K_{x1} = K_{y1}$  и  $K_{x2} = K_{y2}$ , следовательно,

фазы рассогласования измерительных ветвей  $\varphi_{K1} = \varphi_{K2} = 0$ . В результате на выходе основного фазового детектора  $\delta$  формируется сигнал пропорциональный углу поворота  $\varphi$  биокинематической пары без влияния коэффициентов неустойчивости ветвей измерительного преобразователя.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, практическая реализация акселерометрических гониометров по приведенной методике позволит:

- повысить устойчивость системы к влиянию мультипликативных помех на качество измерений за счет входящего в состав системы фазового детектора;
- повысить устойчивость к неустойчивости питающего напряжения за счет включения в состав системы амплитудного ограничителя и фильтра низких частот;
- повысить точность и чувствительность измерений;
- повысить устойчивость к условиям эксплуатации;
- упростить вычисления измеряемых параметров для удобства их практического использования как для аналоговой, так и для микропроцессорной техник;
- исключить возможность свободного хода биокинематической пары, так как по принципу действия гониометра угол поворота объектов определяется путем преобразования направления мгновенного вектора ускорения в фазу синусоидального колебания;
- получить возможность простой реализации телеметрических измерений;
- минимизировать габариты и стоимость датчиков за счет применения двухкоординатных акселерометров.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Патент №93026518 (РФ) G01P15/00. Устройство для измерения параметров углового движения / В.П. Демиденко, Г.М. Попов, А.В. Пупенин и др. Заявл. 19.05.1993; опубл. 20.12.1996.
2. Бронштейн И.Н., Семендяев К.А. Справочник по математике для инженеров. – М.: Наука, 1986.
3. Дорофеев Н.В., Кузичкин О.Р. Проблемы мультипликативной неустойчивости дифференциальных измерительных преобразователей электромагнитного поля // Вопросы радиоэлектроники, 2010. – Т. 1. – № 1. – С. 117-122.
4. Кузичкин О.Р., Дорофеев Н.В. Устранение мультипликативной неустойчивости параметров дифференциальных измерительных преобразователей // Методы и устройства передачи и обработки информации. – Вып. 10. – М.: Радиотехника, 2008. – С. 79-82.
5. Цаплев А.В., Дорофеев Н.В., Кузичкин О.Р. Радиотехнические и телекоммуникационные системы // ISSN 2221-2574. – № 4(16), 2014. – С. 13-18.
6. Патент 151194 (РФ) G01V7/14. Устройство формирования выходного сигнала дифференциального измерительного преобразователя / О.Р. Кузичкин, Гладышев М.А. Заявл. 08.08.14; опубл. 27.03.2015.

#### Греченева Анастасия Владимировна

Муромский институт (филиала) ФГБОУ ВПО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых», г. Муром  
Студентка факультета «Радиоэлектроника и компьютерные системы»  
E-mail: nastena07\_93@mail.ru

#### Кузичкин Олег Рудольфович

Муромский институт (филиала) ФГБОУ ВПО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых», г. Муром  
Доктор технических наук, профессор кафедры «Управление и контроль в технических системах»

E-mail: electron@mivlgu.ru

**Дорофеев Николай Викторович**

Муромский институт (филиала) ФГБОУ ВПО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых», г. Муром  
Кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Управление и контроль в технических системах»  
E-mail: itpu@mivlgu.ru

**Константинов Игорь Сергеевич**

Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород  
Доктор технических наук, профессор, проректор по научной и инновационной деятельности, директор института инженерных технологий и естественных наук  
E-mail: ViceRectorScience@bsu.edu.ru

---

A.V. GREChENEVA (*Student of the Department «Electronics and Computer Systems»*)

O.R. KUZICHKIN (*Doctor of Engineering Sciences,  
Professor of the Department «Control and Monitoring in Technical Systems»*)

N.V. DOROFEEV (*Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor,  
Head of the Department «Control and Monitoring in Technical Systems»  
Murom Institute (Branch) State Institution of Higher Professional Education «Vladimir State University named  
after Alexander and Nicholas Stoletovs», Murom*)

I.S. KONSTANTINOV (*Doctor of Engineering Sciences, Professor,  
Vice-Rector for Science and Innovation, Director of the Institute of Engineering Technologies and Natural Sciences)  
Belgorod National Research University, Belgorod*)

**USE OF THE ACCELEROMETER  
IN MEASUREMENT GONIOMETRIC SYSTEMS**

*This article discusses issues related to the development and practical application of the accelerometer in various electro-mechanical systems, diagnostics and rehabilitation of the musculoskeletal system. The main problems of application for registration methods accelerometer complete acceleration vector using two-component accelerometers differential type. The basic cause of the measurement error in the application of this approach. The main provisions of, phase-measuring method of the signal differential transducers for accelerometer steering angle. Realization of electronic angle sensor kinematic pair, phase-measuring method based on the signal. It justified the application of the principle of the method, phase-measuring accelerometric method the angle of rotation kinematic pair that bridge the multiplicative error in the preliminary stage of measurement of the angle of rotation kinematic pair.*

**Keywords:** *goniometry accelerometer; phase-measuring method rotation angle; diagnostic system; musculoskeletal system; joint movement.*

**BIBLIOGRAPHY (TRANSLITERATED)**

1. Patent №93026518 (RF) G01P15/00. Ustrojstvo dlya izmereniya parametrov uglovogo dvizheniya / V.P. Demidenko, G.M. Popov, A.V. Popenin i dr. Zayavl. 19.05.1993; opubl. 20.12.1996.
2. Bronshtejn I.N., Semendyaev K.A. Spravochnik po matematike dlya inzhenerov. – M.: Nauka, 1986.
3. Dorofeev N.V., Kuzichkin O.R. Problemy' mul'tiplikativnoj nestabil'nosti differencial'ny'x izmeritel'ny'x preobrazovatelej e'lektromagnitnogo polya // Voprosy' radioe'lektroniki, 2010. – T. 1. – № 1. – S. 117-122.
4. Kuzichkin O.R., Dorofeev N.V. Ustranenie mul'tiplikativnoj nestabil'nosti parametrov differencial'ny'x izmeritel'ny'x preobrazovatelej // Metody' i ustrojstva peredachi i obrabotki informacii. – Vy'p. 10. – M.: Radiotekhnika, 2008. – S. 79-82.
5. Caplev A.V., Dorofeev N.V., Kuzichkin O.R. Radiotekhnicheskie i telekommunikacionny'e sistemy' // ISSN 2221-2574. – № 4(16), 2014. – S. 13-18.
6. Patent 151194 (RF) G01V7/14. Ustrojstvo formirovaniya vy'xodnogo signala differencial'nogo izmeritel'nogo preobrazovatelya / O.R. Kuzichkin, Gladyshev M.A. Zayavl. 08.08.14; opubl. 27.03.2015.

УДК 004.451.7.031.43

С.В. ЕРЕМЕНКО, М.Н. ОРЕШИНА

## МЕТОД ОЦЕНКИ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССОВ СБОРА И ОБРАБОТКИ ВЕРТИКАЛЬНО ИНТЕГРИРОВАННЫХ ДАННЫХ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ В КОММУНИКАЦИОННОЙ СРЕДЕ КОРПОРАТИВНОГО ПОРТАЛА ГАЗОТРАНСПОРТНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

*Метод оценки параметров процессов сбора и обработки вертикально интегрированных данных реального времени базируется на процессе рождения-гибели с дискретным целочисленным временем и отличается учетом суммарного числа потоков от модульных структур, находящихся в очередях компонентов среды портала. Работа выполнена в рамках Государственного контракта №16.740.11.0041 «Разработка распределенных автоматически профилируемых средств обработки, архивирования и защиты диагностической информации» (заказчик – Министерство образования и науки РФ), выполняемого по Федеральной целевой программе «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 гг.*

**Ключевые слова:** сбор и обработка данных; корпоративный портал; распределенное предприятие с непрерывным технологическим циклом.

### ВВЕДЕНИЕ

Сложность решения задачи вертикальной интеграции по данным реального времени в корпоративном портале газотранспортного предприятия обусловлено следующими факторами [1-5]:

- значительным объемом первичных данных с уровня технологических процессов и возникновение проблем производительного доступа должностных лиц оперативно-диспетчерского отдела, а также передачи для хранения в распределенных базах данных;
- сложности репликации и обновления распределенных баз данных;
- необходимости поддержки большого числа промышленных технологий, сбора и обработки данных при наличии большого числа в системе локальной автоматике различных фирм производителей;
- необходимость обеспечения защиты вертикально интегрированных данных реального времени при передаче на уровень оперативно-диспетчерского управления;

Следует заметить, что широкое применение нашла вертикально однонаправленная интеграция, где модульные системы сбора и обработки данных являются источниками, а приложения корпоративного портала – приемниками таких данных.

В случае передачи данных химического анализа транспортируемого газа они выступают в качестве параметров для регулирования технологического процесса и в этом случае обеспечивается их горизонтальная интеграция.

Унификация доступа вертикально интегрированным данным реального времени существующих средствах информационного обмена осуществляется на основе технологии OPC (OLE for Process Control) [6].

### ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Развитие совместимости систем автоматизации технологических процессов, а также поддержка ими web-сервисов впервые реализована в спецификации OPC XML Data Access (XML DA) [7-8]. Применение указанной спецификации позволяет существенно разграничить информационные потоки через коммуникационную среду, обеспечивая при этом независимость от операционных систем и технологий передачи данных, используемых в системах автоматизации технологических процессов на основе OPC протокола обработки данных.

Технология OPC позволяет сформулировать требования к классам объекта доступа к данным технологических процессов транспортировки газа, обеспечивает универсальность обмена вертикально интегрированными данными и имеет специфицированные интерфейсы взаимодействия приложений, базирующихся на архитектуре клиент-сервер. Масштабируемость, модернизируемость и модульность систем автоматизации обеспечивается наличием ряда спецификаций стандарта OPC.

Наибольшее применение нашла спецификация OPC DA, которая предоставляет большой набор функций обработки данных реального времени с устройствами промышленной автоматики. Спецификация OPC HDA (Historical Data Access) существенно расширяет функции доступа к сохраненным данным и позволяет проследить историю их изменений [9].

Метод оценки параметров процессов сбора и обработки вертикально интегрированных данных реального времени в коммуникационной среде корпоративного портала газотранспортного предприятия включает в себя следующие этапы:

Этап 1. Разбиение времени работы коммуникационной среды корпоративного портала на виртуальные интервалы сбора и обработки данных реального времени.

Этап 2. Оценка среднего времени задержки пакета с вертикально интегрированными данными реального времени.

Этап 3. Оценка вероятности отказа на виртуальном интервале сбора и обработки.

Этап 4. Оценка влияния помех на искажение пакета с вертикально интегрированными данными реального времени.

Этап 5. Оценка неоднородности входящих на компонент среды пакетов и возможности их дальнейшей передачи.

Рассмотрим их более подробно.

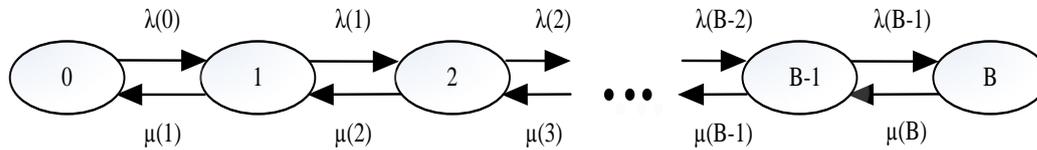
**Этап 1. Разбиение времени работы коммуникационной среды корпоративного портала на виртуальные интервалы сбора и обработки данных реального времени.** Рассмотрим коммуникационную среду корпоративного портала, состоящую из  $N$  статически однородных компонентов, в очередь каждого из которых поступает пуассоновский поток пакетов с вертикально интегрированными данными реального времени интенсивностью  $\Lambda$ . Пакеты одинаковы и передаются с помощью базового метода сбора и обработки технологических данных; канал считается идеальным, а время передачи данных реального времени между компонентами среды – пренебрежимо малым. Кроме того, предполагается, что очередь пакетов с вертикально интегрированными данными реального времени для каждого компонента может содержать не более  $B$  пакетов.

Разобьем все время работы среды на виртуальные интервалы. Виртуальные интервалы не одинаковы и каждый из них может представлять из себя:

- 1) «пустой» виртуальный интервал отсрочки  $\sigma$ , в котором ни один из компонентов среды не ведет передачу вертикально интегрированных данными реального времени;
- 2) «успешный» виртуальный интервал, в котором только один из компонентов среды передает пакет с вертикально интегрированными данными реального времени синхронно;
- 3) «асинхронный» виртуальный интервал, в котором один из компонентов передает пакет с вертикально интегрированными данными реального времени асинхронно;
- 4) виртуальный интервал «внепротокольных прерываний», в котором два или более компонента среды пытаются осуществить передачу пакетов с вертикально интегрированными данными реального времени.

Очевидно, вероятности этих виртуальных интервалов, обозначаемые соответственно  $p_e(n)$ ,  $p_s(n)$ ,  $p_a(n)$  и  $p_c(n)$ , зависят только от числа «активных» компонентов модульных структур сбора и обработки данных  $n$ , очереди которых непустые в начале данного виртуального интервала.

Опишем работу коммутационной среды корпоративного портала процессом рождения-гибели с дискретным временем, причем состояние этого процесса описывается суммарным числом  $\ell$  пакетов с вертикально интегрированными данными реального времени, находящихся в очередях компонентов среды, включая передаваемые в данный момент пакеты, а единицей времени является виртуальный интервал. На рисунке 1 не показаны так называемые петли, то есть переходы в то же самое состояние (из  $\ell$  в  $\ell$ ).



**Рисунок 1 – Процесс рождения-гибели пакетов с вертикально интегрированными данными реального времени**

Для определения вероятностей рождения  $\lambda(\ell)$ , т.е. увеличения  $\ell$  на 1 за виртуальный интервал, и гибели  $\mu(\ell)$ , т.е. уменьшения  $\ell$  на 1 виртуальный интервал, введем следующие допущения.

**Допущение 1.** В течение попытки передачи (включая завершающие ее интервалы DIFS или EIFS) в очереди на компонент среды корпоративного портала может поступить не более одного пакета с вертикально интегрированными данными реального времени.

**Допущение 2.** По завершении виртуального интервала «внепротокольных прерываний» отказ в дальнейшей передаче пакета может произойти не более чем на одном из компонентов среды, вовлеченных в столкновение процессов передачи данных (вероятность одновременного отказа в обслуживании на двух и более компонентах среды пренебрежимо мала).

**Допущение 3.** Пусть суммарное число пакетов с вертикально интегрированными данными реального времени, находящимися в очередях компонентов среды, равно  $\ell > 0$ . В этом случае все варианты размещения  $\ell$  пакетов по  $N$  очередям компонентов коммуникационной среды равновероятны.

**Допущение 4.** В начале данного виртуального интервала число активных компонентов среды корпоративного портала равно  $n$ . В этом случае для любого из этих компонентов вероятность  $\tau(n)$  начала синхронной передачи, а также вероятность отказа  $\beta_m(n)$  в случае столкновения процессов передачи технологических данных в этом виртуальном интервале совпадают с соответствующими значениями, полученными для среды  $S_n$ , включающей в себя  $n$  постоянно активных компонентов. Остальные  $N - n$  компонентов среды в  $S_n$  могут передавать только асинхронно при условии, что ни один из активных компонентов не передает пакетов вертикально интегрированными данными реального времени. Если пакет поступает в очередь любой из  $N - n$  неактивных компонентов в момент передачи любого из компонентов, то этот пакет теряется и его передача возобновляется по запросу.

**Этап 2. Оценка среднего времени задержки пакета с вертикально интегрированными данными реального времени.** Среднее время задержки пакета  $T$  может быть найдено с использованием формулы Литтла:

$$T = L / \Lambda_q \quad (1)$$

где  $L$  – среднее значение  $\ell$ , а  $\Lambda_q$  – среднее число пакетов с вертикально интегрированными данными реального времени, принятых компонентами среды в очередь за секунду. Это позволяет вычислить  $L$  по формуле

$$L = \frac{1}{E[t_{vs}]} \sum_{\ell=0}^{NB} \pi(\ell) \sum_{n=n_{\min}(\ell)}^{\min(N,\ell)} \gamma(n,\ell) [p_e(n)\bar{\ell}_e^n + p_a(n)\bar{\ell}_a^n + p_s(n)\bar{\ell}_s^n + p_c(n)\bar{\ell}_c^n], \quad (2)$$

где  $E[t_{vs}]$  – средняя длительность виртуального интервала сбора и обработки вертикально интегрированных данных реального времени, а  $\bar{\ell}_e^n$ ,  $\bar{\ell}_a^n$ ,  $\bar{\ell}_s^n$ ,  $\bar{\ell}_c^n$  – средние значения  $\ell$  в течение пустых, асинхронных, успешных и внепротокольных виртуальных интервалов, причем каждое из этих значений умножено на среднюю длительность соответствующего виртуального интервала и рассчитано при данном значении компонентов среды  $n$ . Интенсивность поступления  $\Lambda_q$  определяется по формуле, аналогичной (2) с заменой  $\bar{\ell}^n$  с различными индексами на  $\bar{h}_e^n$ ,  $\bar{h}_a^n$ ,  $\bar{h}_s^n$  и  $\bar{h}_c^n$  – средние количества пакетов, – принятых в очереди станций в течение соответственно пустых, асинхронных, успешных и коллизионных виртуальных интервалов.

**Этап 3. Оценка вероятности отказа на виртуальном интервале сбора и обработки.** Определим усредненную вероятность отказа в доставке вертикально интегрированных данных реального времени  $p_{rej}$ , возникающую из-за переполнения очереди в компоненте среды корпоративного портала либо истечения определенного числа повторных передач  $R$ . Будем полагать, что среднее число пакетов с вертикально интегрированными данными реального времени, поступающих в очередь на компонент за виртуальный интервал, равно  $N\Lambda E[t_{vs}]$ . Такое предположение позволяет вычислить среднее число пакетов с вертикально интегрированными данными реального времени, обслуживание которых завершается в течение данного виртуального интервала.

$$p_{rej} = 1 - \frac{1}{NE[t_{vs}]} \sum_{\ell=0}^{NB} \pi(\ell) \sum_{n=n_{\min}(\ell)}^{\min(N,\ell)} \gamma(n,\ell) [p_a(n) + p_s(n)]. \quad (3)$$

**Этап 4. Оценка влияния помех на искажение пакета с вертикально интегрированными данными реального времени.** Если исходить из предположения, что каналы передачи данных в среде корпоративного портала не идеальны, а вероятность неудачной передачи при наличии внешних помех  $q = 1 - (1 - BER)^{H_{MAC} + l}$ , где  $H_{MAC}$  – длина MAC-заголовка в поле DATA (в битах), т.к. РНУ-заголовков гарантированно передается на низкой скорости,  $l$  – длина пакета с вертикально интегрированными данными реального времени (в битах), а BER (Bit Error Rate) – вероятность искажения хотя бы одного бита в пакете с интегрированными данными. В этом случае можно пренебречь вероятностью искажения короткого кадра ответа АСК (acknowledged). Необходимо отметить, что асинхронная передача пакета с вертикально интегрированными данными реального времени перестает быть успешной из-за возникновения столкновения процессов при внепротокольных прерываниях.

Переопределим  $\xi(n)$ . Теперь это неудача передачи из-за двух причин: столкновения процессов за счет внепротокольных прерываний и искажений, возникающих при воздействии помех и равна  $\xi(n) = 1 - (1 - q)(1 - \tau(n))^{n-1}$ . Необходимо отметить, что воздействие помех определяет понятие «успешного» виртуального интервала достаточно условно даже в случае отсутствия столкновения процессов из-за внепротокольных прерываний. В этом случае длительность «успешного» виртуального интервала равна

$t_C = \frac{l}{V} + t_H + EIFS$ . Таким образом, среднее время передачи пакета с вертикально интегрированными данными реального времени длиной  $l$  равно:

$$t_S^* = (1 - q)t_S + qt_C,$$

где

$$t_S = \frac{l}{V} + t_H + t_{ACK} + SIFS + DIFS,$$

а время неудачной передачи из-за столкновения процессов равно  $t_C$ .

Для определения среднего времени задержки  $T$  и усредненной вероятности отказа  $p_{rej}$ , воспользуемся формулами (1) и (3), где  $L$  вычисляется по формуле (2), а  $\Lambda_q$  определяем по формуле аналогичной (2) с заменой  $\bar{c}^n$  с различными индексами на  $h^n$ . Из-за изменения процессов сбора и обработки вертикально интегрированными данными реального времени возникает необходимость переопределения некоторых  $\bar{c}^n$ , при неизменности формулы  $h^n$ .

**Этап 5. Оценка неоднородности входящих на компонент среды пакетов и возможности их дальнейшей передачи.** Если ранее рассматривалась ситуация, когда длина входящих пакетов с вертикально интегрированными данными реального времени является постоянной и она меньше порога определяемого механизмом (запрос на отправку/разрешение отправки – RTS/CTS), то более реалистичной выглядит ситуация, учитывающая неоднородность входящих на компонент среды пакетов и возможность их передачи. Необходимо отметить, что длина пакета с вертикально интегрированными данными реального времени  $l_i$  может превышать порог RTS/CTS, который может быть обозначен через  $L_{rts}$ , и с учетом того, что пространственное распределение компонентов  $D(l_i)$  одинаково для всех. Исходя из предположения, что короткие кадры запросов RTS, CTS, ACK не искажаются помехами, то пакет с вертикально интегрированными данными реального времени длиной  $l_i$  может быть искажен с вероятностью

$$q_i = 1 - (1 - BER)^{H_{MAC} + l_i}.$$

Определим значения виртуальных временных интервалов, затрачиваемых на передачу пакета вертикально интегрированными данными реального времени длиной  $l_i$ .

При значениях  $l_i \leq L_{rts}$  время успешной передачи пакета равно

$$t_S^i = \frac{l_i}{V} + t_H + t_{ACK} + SIFS + DIFS,$$

тогда время передачи, неудачной из-за воздействия помех, может быть представлено

$$t_{CD}^i = \frac{l_i}{V} + t_H + EIFS,$$

а время, затрачиваемое на передачу этого пакета при возникновении столкновения процессов из-за внепротокольных прерываний –

$$t_C^i = t_{CD}^i.$$

Тогда при  $l_i > L_{rts}$  имеем:

$$t_S^i = t_{RTS} + t_{CTS} + \frac{l_i}{V} + t_H + t_{ACK} + 3 \cdot SIFS + DIFS,$$

$$t_{CD}^i = t_{RTS} + t_{CTS} + \frac{l_i}{V} + t_H + 2 \cdot SIFS + EIFS,$$

$$t_C^i = t_{RTS} + EIFS .$$

Существует вероятность того, что попытка передачи, выполняемая активным компонентом среды корпоративного портала с пространственным распределением компонентов  $D^*(l_i)$  в произвольно выбранном виртуальном интервале, относится к пакету с вертикально интегрированными данными реального времени длиной  $l_i$ , отличается от исходного распределения  $D(l_i)$ , с которым он поступает в очередь и выбирается из нее. Это обусловлено тем, что чем больше длина пакета с вертикально интегрированными данными реального времени, тем больше вероятность его искажения и тем больше попыток требуется для его успешной передачи. Это позволяет найти средние длительности асинхронного и «успешного» виртуальный интервалов:

$$t_S^a = \sum_i D(l_i) [(1 - q_i) t_S^i + q_i t_{CD}^i] + \frac{\sigma}{2},$$

$$t_S^* = \sum_i D^*(l_i) [(1 - q_i) t_S^i + q_i t_{CD}^i].$$

Остальные компоненты (2) и аналогичной формулы для  $\Lambda_q$  отличаются от ранее определенных  $\bar{t}_a^n$ ,  $\bar{t}_S^n$ ,  $\bar{t}_C^n$  и  $h_a^n$ .

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Обеспечение сбора и обработки вертикально интегрированных данных реального времени предъявляет повышенные требования к производительности соответствующих модульных структур и техническим характеристикам каналов передачи данных. Исследования спецификации OPC XML DA и соответствующих клиентов позволяют утверждать, что организация самого процесса сбора и обработки данных уровня технологического процесса не является оптимальной.

Для оптимизации структуры, используемой в среде корпоративного портала OPC-клиента, предлагается использовать ряд способов и приемов:

1. Уменьшение размера передаваемых SOAP-пакетов за счет группировки параметров вертикально интегрированных данных во времени. Необходимо отметить, что процесс съема значения параметров предусматривает одинаковое значение параметров Timestamp (время снятия значения).
2. Разработка структуры пакетов, содержащих вертикально интегрированные данные реального времени, с короткими идентификаторами описания, категоризации и учитывающих заданную структуру распределенной базы данных.
3. Агрегация вертикально интегрированных данных реального времени для существенного снижения объема избыточных исходных данных в среде корпоративного портала (например, значение параметра, наработка оборудования средств автоматизации).
4. Оптимизация количества и значений параметров вертикально интегрированных данных реального времени с возможностью их передачи в одном пакете.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Еременко В.Т. Направления и проблемы интеграции автоматизированных систем управления для предприятий с непрерывным технологическим циклом / В.Т. Еременко, Д.С. Мишин, Т.М. Парамохина, А.В. Еременко, С.В. Еременко // Информационные системы и технологии, 2014. – № 3. – С. 51-58.
2. Еременко В.Т. Моделирование процессов информационного обмена в распределенных управляющих системах: монография. – М.: Машиностроение-1, 2004. – 224 с.

3. Еременко В.Т. Оптимизация ресурсов и управление процессами информационного обмена в сетях АСУТП на основе полевых шин / В.Т. Еременко, С.И. Афонин, С.А. Максаков, А.И. Куленич // Вестник компьютерных и информационных технологий, 2011. – № 9. – С. 46-49.
4. Еременко В.Т. Моделирование информационных потоков в сетях передачи данных интегрированных АСУ / В.Т. Еременко, С.И. Афонин, Т.М. Парамохина, Л.В. Кузьмина, Д.А. Плащенков // Информационные системы и технологии, 2011. – № 6. – С. 35-42.
5. Еременко В.Т. Методы решения задач распределения информационных потоков в сетях передачи данных предприятия на основе резервирования ресурсов / В.Т. Еременко, С.И. Афонин, Л.В. Кузьмина и др. // Информационные системы и технологии, 2012. – № 1. – С. 78-84.
6. Еременко В.Т., Афонин С.И. Создание теоретических основ автоматизации и построения технологической составляющей АСУ территориально распределенных предприятий // Информационные системы и технологии, 2012. – № 2. – С. 99-105.
7. Еременко В.Т., Тютякин А.В. Методологические аспекты выбора профилей сбора и обработки данных в системах неразрушающего контроля и диагностики технических объектов // Контроль. Диагностика, 2013. – № 1. – С. 24-31.
8. Еременко В.Т., Тютякин А.В., Кондрашин А.А. Выбор профилей обработки данных в системах контроля и диагностики технических объектов на основе их качественного анализа // Информационные системы и технологии, 2014. – № 5. – С. 88-97.
9. Еременко В.Т. Синтез локально-оптимальной структуры классификатора информационных ресурсов по критерию минимума средней длины процедуры поиска / В.Т. Еременко, А.А. Батенков, И.С. Полянский, К.А. Батенков, М.А. Сазонов // Вестник компьютерных и информационных технологий, 2013. – № 7. – С. 3-8.

**Еременко Сергей Владимирович**

ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК», г. Орел

Аспирант кафедры «Электроника, вычислительная техника и информационная безопасность»

Тел.: 8 920 287 57 71

E-mail: sv-5771@mail.ru

**Орешина Марина Николаевна**

ФГБОУ ВПО «Московский государственный университет пищевых производств», г. Москва

Профессор кафедры «Информатика и управление»

Тел.: 8 985 451 90 31

E-mail: mar-ore@yandex.ru

---

S.V. EREMENKO (*Post-graduate student of the Department «Electronics, Computer Facilities and Information Security»  
State University – ESPC, Orel*)

M.N. OREShINA (*Professor of the Department «Informatics and Management»  
Moscow State University of Food Production*)

**METHOD OF ESTIMATING PARAMETERS OF THE COLLECTION AND TREATMENT OF VERTICAL INTEGRATED DATA REAL-TIME COMMUNICATION ENVIRONMENT OF A CORPORATE PORTAL TRANSPORTER**

*A method of estimating the parameters of the processes of collecting and processing vertically integrated real-time data, based on the process of birth-death with discrete integer time and is given the total number of threads from modular structures in the queues of the components of the portal environment. Work performed under Government contract No. 16.740.11.0041 "Development of distributed automatically profiled funds processing, archiving and protection diagnostic information" (Customer – the Ministry of education and science of the Russian Federation), performed by the Federal target program "scientific and Scientific-pedagogical personnel of innovative Russia" for 2009-2013.*

**Keywords:** *data collection and processing; corporate portal; distributed enterprise with continuous technological cycle.*

**BIBLIOGRAPHY (TRANSLITERATED)**

1. Eremenko V.T. Napravleniya i problemy' integracii avtomatizirovanny'x sistem upravleniya dlya predpriyatij s nepreryvny'm tekhnologicheskim ciklom / V.T. Eremenko, D.S. Mishin, T.M. Paramoxina, A.V. Eremenko, S.V. Eremenko // *Informacionny'e sistemy' i tekhnologii*, 2014. – № 3. – S. 51-58.
2. Eremenko V.T. Modelirovanie processov informacionnogo obmena v raspredelenny'x upravlyayushhix sistemax: monografiya. – M.: Mashinostroenie-1, 2004. – 224 s.
3. Eremenko V.T. Optimizaciya resursov i upravlenie processami informacionnogo obmena v setyax ASUTP na osnove polevy'x shin / V.T. Eremenko, S.I. Afonin, S.A. Maksakov, A.I. Kulenich // *Vestnik komp'yuterny'x i informacionny'x tekhnologij*, 2011. – № 9. – S. 46-49.
4. Eremenko V.T. Modelirovanie informacionny'x potokov v setyax peredachi danny'x integrirovannyx ASU / V.T. Eremenko, S.I. Afonin, T.M. Paramoxina, L.V. Kuz'mina, D.A. Plashhenkov // *Informacionny'e sistemy' i tekhnologii*, 2011. – № 6. – S. 35-42.
5. Eremenko V.T. Metody' resheniya zadach raspredeleniya informacionny'x potokov v setyax peredachi danny'x predpriyatiya na osnove rezervirovaniya resursov / V.T. Eremenko, S.I. Afonin, L.V. Kuz'mina i dr. // *Informacionny'e sistemy' i tekhnologii*, 2012. – № 1. – S. 78-84.
6. Eremenko V.T., Afonin S.I. Sozdanie teoreticheskix osnov avtomatizacii i postroeniya tekhnologicheskoy sostavlyayushhej ASU territorial'no raspredelenny'x predpriyatij // *Informacionny'e sistemy' i tekhnologii*, 2012. – № 2. – S. 99-105.
7. Eremenko V.T., Tyutyakin A.V. Metodologicheskie aspekty' vy'bora profilej sbora i obrabotki danny'x v sistemax nerazrushayushhego kontrolya i diagnostiki tekhnicheskix ob'ektov // *Kontrol'. Diagnostika*, 2013. – № 1. – S. 24-31.
8. Eremenko V.T., Tyutyakin A.V., Kondrashin A.A. Vy'bor profilej obrabotki danny'x v sistemax kontrolya i diagnostiki tekhnicheskix ob'ektov na osnove ix kachestvennogo analiza // *Informacionny'e sistemy' i tekhnologii*, 2014. – № 5. – S. 88-97.
9. Eremenko V.T. Sintez lokal'no-optimal'noj struktury' klassifikatora informacionny'x resursov po kriteriyu minimuma srednej dliny' procedury' poiska / V.T. Eremenko, A.A. Batenkov, I.S. Polyanskij, K.A. Batenkov, M.A. Sazonov // *Vestnik komp'yuterny'x i informacionny'x tekhnologij*, 2013. – № 7. – S. 3-8.

УДК 004.94: 517.977.56

С.А. ЛУПИН, САЙ ВИН МО, АЙ МИН ТАЙК

## ПРИМЕНИМОСТЬ АЛГОРИТМА ПОЛНОГО ПЕРЕБОРА ВАРИАНТОВ ПРИ РАСПРЕДЕЛЕНИИ РАБОТЫ В ИЕРАРХИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

*В статье обсуждается возможность использования алгоритма полного перебора вариантов для решения задачи распределения нагрузки в иерархических системах. Предложен алгоритм, основанный на нахождении оптимального распределения нагрузки между исполнительными элементами при заданной структуре иерархии. Функциональность алгоритма и его программной реализации исследована на примере оптимизации простейшей иерархической структуры.*

**Ключевые слова:** иерархические системы; алгоритмы распределения нагрузки; эффективность иерархических систем.

### ВВЕДЕНИЕ

Сегодня принципы иерархического управления используются при строительстве политических и общественных организаций, промышленных корпораций, армии и сил общественной безопасности [1]. Но иерархические структуры имеют и богатые исторические корни. Уже в древности они служили основой религиозных организаций и военных формирований. Отношения людей в обществе также формируют горизонтальные и вертикальные связи, характерные для иерархических отношений между начальниками и подчиненными. Иерархии широко используются и в технике, например, Internet имеет все признаки иерархической структуры.

### МЕТОДЫ АНАЛИЗА ИЕРАРХИЙ

Проектирование инженерных иерархических систем опирается на различные подходы в зависимости от области применения. Статья [2] демонстрирует пример использования мультиагентного моделирования для адаптации многоуровневой производственной иерархии к динамическим флуктуациям в экономике. В качестве сенсоров в модели используются стоимостные параметры, что позволяет создавать гибкие самоорганизующиеся системы. При этом перепланировка системы происходит только после обнаружения агентом изменений выходных параметров модели иерархии.

Пример использования иерархий в автоматизированном проектировании представлен в работе [3], где иерархию образует множество библиотечных элементов.

Анализ надежности технических систем, состоящих из множества взаимосвязанных элементов, представляет сложную задачу. В статье [4] предлагается использовать Байесовскую сеть доверия для оценки надежности многоуровневых иерархических систем, основываясь на взаимном влиянии сбоев их компонентов.

Обычно структура иерархии определяется на стадии проектирования системы и остается неизменной при эксплуатации. Однако высокая изменчивость параметров окружения иерархий объясняет значительный интерес и к динамическому управлению их структурой. Один из подходов к решению этой проблемы приведен в [5]. Он основан на использовании многоуровневой модели, которая позволяет проводить динамическую реконфигурацию иерархии в системе управления ресурсами военно-морского флота.

Технические системы, состоящие из множества мобильных элементов, также нуждаются в координации их работы. Определенная иерархия может служить основой для формирования правил взаимодействия элементов. В статье [6] описана разработка робастной системы управления для координации работы команды роботов. Система позволяет динамически реагировать на снижение производительности или повреждение отдельных

роботов. В работе показано, что иерархическое управление устойчиво работает в широком диапазоне уровней повреждений роботов и интервалов времени.

Описанные выше методы анализа иерархий базируются на алгоритмах, вычислительная сложность которых определяется числом элементов в иерархии и детализацией их описания. Число элементов в реальных системах достигает сотен и даже тысяч. Это делает невозможным использование для динамического анализа их эффективности ресурсоемких алгоритмов. В работе [7] показано, что большие иерархические системы можно рассматривать как объединение более мелких иерархий. Такой подход позволяет применять для каждой из подсистем необходимый уровень детализации, фокусируя внимание только на наиболее критичных параметрах, но сохраняя все связи между ними.

Дальнейшее развитие технологии *IoT* (Internet of Things) также приведет к необходимости решать проблемы, связанные с иерархическими структурами, одна из них относится к обеспечению защиты персональной информации [8].

Приведенные примеры показывают, что интерес к исследованию иерархий не ослабевает. Сложность проблемы определения оптимальной структуры иерархии и распределения заданий между ее узлами связана с размерностью, и это существенно ограничивало выбор алгоритмов ее решения. Однако благодаря значительным вычислительным ресурсам эти ограничения уже не так критичны, и современные компьютерные системы позволяют использовать для анализа иерархий и ресурсоемкие алгоритмы.

### МОДЕЛЬ ИЕРАРХИИ

Представим иерархическую систему  $HS$  как совокупность входящих в нее элементов  $h$  и введем следующие обозначения:

$$HS = \{h_j^i\}, \quad (1)$$

где  $i \in 1, N$  – иерархический уровень;

$j \in 1, M$  – порядковый номер элемента.

Уровень с меньшим значением индекса является старшим. Нумерация элементов в системе сплошная, начиная со старшего уровня (рис. 1).

Соподчиненность элементов в иерархии может быть описана с помощью соотношений

$$S_j^i = \{h_k^{i-1}, \dots, h_l^{i-1}\}, \quad (2)$$

определяющих для каждого элемента  $h_j^i$ , принадлежащего уровню  $i$ , множество связанных с ним элементов  $i-1$  уровня. Иерархия на рисунке 1 может быть описана как

$$S_0 = \{h_1^1\}$$

$$S_1 = \{h_2^2, h_3^2\}$$

$$S_2 = \{h_4^3, h_5^3\}$$

$$S_3 = \{h_6^3, h_7^3\}.$$

На вход иерархической системы поступает поток заданий  $W$ , состоящий из подзадач  $J$ :

$$W = \{j_1, \dots, j_k\}. \quad (3)$$

Задание распределяется между элементами иерархии, каждый элемент системы  $h_i$  выполняет часть задания:

$$w_i = \{j_i^1, \dots, j_i^k\}. \quad (4)$$

При этом выполняются следующие соотношения:

$$W = \sum_{i=1}^M w_i, \text{ а } J_n = \sum_{i=1}^M j_1^n, \forall n \in 1, k$$

Каждый элемент иерархии характеризуется набором параметров, определяющих скорость выполнения подзадач:

$$h_i = \{v_1^i, \dots, v_k^i\}. \quad (5)$$

Эффективность иерархии может оцениваться по времени выполнения поступающих на выполнение заданий. Формализация процедуры анализа эффективности иерархии будет зависеть не только от ее структуры (2), но и от порядка временного согласования работы соподчиненных элементов. В простейшем случае все элементы  $h_i$  могут выполнять задания  $w_i$  одновременно. Тогда время работы всей системы  $HS$  определяется выражением

$$T = \max(t_i), i \in 1, M \quad (6)$$

где

$$t_i = \sum_{n=1}^k \left( \frac{j_n^i}{v_n^i} \right) \quad (7)$$

В такой постановке задача повышения эффективности иерархии сводится только к задаче оптимального распределения заданий  $W$  между элементами системы, поскольку трансформация структуры  $HS$  не влияет на (6). Отнесем подобные структуры к типу  $HS^0$ .

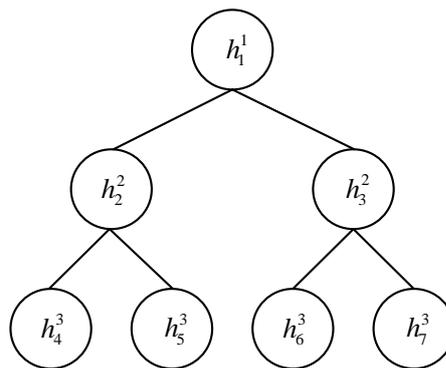


Рисунок 1 – Трехуровневая иерархия

На практике чаще встречаются случаи, когда элементы старших уровней иерархии могут приступить к выполнению своих подзадач только после завершения работы хотя бы одним из подчиненных им элементов (2). Более простым для анализа является случай, когда старший элемент ожидает завершения работы всех подчиненных. Такие структуры обозначим как  $HS^1$ . При этом выражение (6) трансформируется в

$$T = t_1 + \max(t^*(h_j^i)), \forall h_j^i \in S_1^1, \quad (8)$$

где

$$t^*(h_j^i) = t_i + \max(t^*(h_k^{i-1})), \forall h_k^{i-1} \in S_j^i.$$

В отличие от (6) для вычисления выражения (8) требуется рекурсия.

Если модель иерархической структуры (рис. 1) трансформировать в транспортную сеть, то время работы системы  $HS$  можно определить с помощью решения задачи нахождения пути в графе.

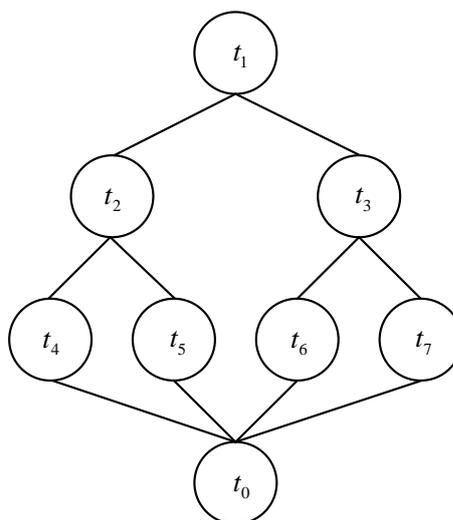


Рисунок 2 – Транспортная модель иерархии

Каждому ребру модели (рис. 2) поставим в соответствие характеристику, которая отражает время работы подчиненного узла. Поскольку время работы системы будут определять узлы с наибольшей задержкой, будем искать не кратчайший, а самый длинный путь.

На практике большой интерес представляют иерархии, в которых элементы могут работать асинхронно. При сохранении свойства иерархичности это означает, что элемент старшего уровня иерархии может начать выполнять работу тогда, когда будет выполнена хотя бы одна подзадача хотя бы одним из подчиненных ему элементов. В этом случае вычисление времени работы  $HS$  становится алгоритмически сложной задачей, для решения которой могут быть использованы ресурсоемкие методы перебора. Такие структуры обозначим как  $HS^2$ .

Найдем число вариантов распределения задания между узлами иерархии. Пусть задание состоит из  $j_1$  единиц работы первого типа,  $j_2$  единиц работы второго типа, ...,  $j_k$  единиц работы  $k$ -ого типа. Задание распределяется между всеми  $M$  узлами иерархии. Размер задания, выполняемого на отдельном узле, не ограничен:

$$0 \leq j_n^p \leq j_n, \forall p \in 1, M; \forall n \in 1, k.$$

Порядок выполнения подзаданий в узлах не имеет значения.

Будем распределять задание за  $k$  шагов. На первом шаге распределим  $j_1$  единиц работы первого типа. Число вариантов распределения равно числу неупорядоченных выборок объема  $j_1$  из  $M$  элементов, т.е. числу сочетаний с повторениями из  $M$  элементов по  $j_1$ :

$$C_M^{j_1} = C_{M+j_1-1}^{j_1} = \frac{(M+j_1-1)!}{j_1!(M-1)!}. \quad (9)$$

На втором шаге распределим  $j_2$  единиц работы второго типа. Число вариантов распределения равно числу неупорядоченных выборок объема  $j_2$  из  $M$  элементов, т.е. числу сочетаний с повторениями из  $M$  элементов по  $j_2$ :

$$C_M^{j_2} = C_{M+j_2-1}^{j_2} = \frac{(M+j_2-1)!}{j_2!(M-1)!}. \quad (10)$$

На последнем шаге распределим  $j_k$  единиц работы  $k$ -ого типа. Число вариантов распределения равно:

$$C_M^{j_k} = C_{M+j_k-1}^{j_k} = \frac{(M+j_k-1)!}{j_k!(M-1)!}. \quad (11)$$

Общее число вариантов распределения работы равно произведению вариантов распределения работ на всех этапах:

$$C_M^{j_1} \cdot \dots \cdot C_M^{j_k} = C_{M+j_1-1}^{j_1} \cdot \dots \cdot C_{M+j_k-1}^{j_k} = \frac{(M+j_1-1)!}{j_1!(M-1)!} \cdot \dots \cdot \frac{(M+j_k-1)!}{j_k!(M-1)!} \quad (12)$$

**ПРИМЕР**

Рассмотрим пример использования алгоритма для нахождения оптимального распределения задания при заданной структуре иерархии. Для иллюстрации работы алгоритма используем иерархию, представленную на рисунке 1.

На вход системы поступает задание  $W$ . Необходимо найти распределение заданий между узлами, обеспечивающее минимальное время его выполнения.

**Условие задачи:**

На вход системы поступает задание:

$$W = (200, 200, 100). \quad (13)$$

Пусть элементы  $HS$  обладают следующими характеристиками:

- $h_1 = (200, 1, 1)$
- $h_2 = (1, 100, 1)$
- $h_3 = (100, 1, 1)$
- $h_4 = (1, 1, 1)$
- $h_5 = (1, 100, 1)$
- $h_6 = (1, 1, 1)$
- $h_7 = (1, 1, 100)$

Зададим дискретность изменения объемов подзадач при распределении задачи между узлами:

$$\Delta W = (200, 200, 100). \quad (14)$$

Для иерархий типа  $HS^0$  не требуется учитывать позиции элементов в узлах иерархии, потому что их перестановка не влияет на время выполнения задания.

На первом этапе работы алгоритма необходимо сформировать все возможные варианты загрузки узлов (табл. 1).

С учетом условий (13) и (14) число возможных комбинаций составит:

$$N_{\text{var}} = 3 \cdot 3 \cdot 2 = 18. \quad (15)$$

Таблица 1 – Варианты загрузки узлов

Вар.	$j_1$	$j_2$	$j_3$
1	0	0	0
2	0	0	100
3	0	100	0
4	0	100	100
5	0	200	0
6	0	200	100
7	100	0	0
8	100	0	100

Вар.	$j_1$	$j_2$	$j_3$
10	100	100	100
11	100	200	0
12	100	200	100
13	200	0	0
14	200	0	100
15	200	100	0
16	200	100	100
17	200	200	0

9	100	100	0
---	-----	-----	---

18	200	200	100
----	-----	-----	-----

Алгоритм перебора предполагает, что каждый из  $M$  узлов может быть загружен любым из  $N_{var}$  вариантов. Тогда число рассматриваемых в алгоритме вариантов  $N$  составит:

$$N = (N_{var})^M = 18^7 = 612220032.$$

Конечно, только некоторая часть этих вариантов удовлетворяет условию (13), но в алгоритме перебора необходимо генерировать их все (табл. 2), поскольку только так можно проверить выполнение условия.

Определим число вариантов распределения задания между узлами, удовлетворяющих условию (13), используя выражение (12):

$$N_{sat} = \frac{(M + j_1 - 1)!}{j_1!(M - 1)!} \cdot \frac{(M + j_2 - 1)!}{j_2!(M - 1)!} \cdot \frac{(M + j_3 - 1)!}{j_3!(M - 1)!} = \frac{(7 + 2 - 1)!}{2!(7 - 1)!} \cdot \frac{(7 + 2 - 1)!}{2!(7 - 1)!} \cdot \frac{(7 + 1 - 1)!}{1!(7 - 1)!} =$$

$$= \frac{8!}{2! \cdot 6!} \cdot \frac{8!}{2! \cdot 6!} \cdot \frac{7!}{1! \cdot 6!} = 5448$$

Таблица 2 – Варианты загрузки иерархии

Вар.	$h_1$	$h_2$	$h_3$	$h_4$	$h_5$	$h_6$	$h_7$	Корректность
1	0	0	0	0	0	0	0	.F.
2	0	0	0	0	0	0	1	.F.
$K$	0	0	0	0	0	0	18	.T.
$L$	18	0	0	0	0	0	0	.T.
$N$	18	18	18	18	18	18	18	.F.

Большая разница между значениями  $N$  и  $N_{sat}$  типична для алгоритмов перебора.

Для формирования множества вариантов распределения нагрузки в  $HS$  (рис. 1) можно воспользоваться процедурой, также использующей счетчики. При этом нагрузка каждого элемента определяется одним из вариантов (табл. 1). Полученные варианты проверяются на выполнение условия (13). Корректные варианты отмечены в таблице 2 – .T., недопустимые – .F. в столбце «Корректность».

Таким образом, поиск оптимальной структуры для этого примера требует нахождения времени выполнения задания для всех возможных вариантов ее реализации (табл.2), с последующим выбором наименьшего значения. Вычисление времени работы каждого элемента производится по формуле (7).

Отметим, что в процессе вычислений не требуется хранения всех вариантов распределения работы (табл. 2). Нас интересует только строка с наименьшим временем выполнения задания.

### ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ АЛГОРИТМА

Для нахождения оптимального варианта распределения работы между узлами иерархии была разработана программа, реализующая алгоритм перебора вариантов. При создании программы использована технология объектно-ориентированного программирования, предполагающая разделение кода на классы. Отладка приложения выполнена в среде Microsoft Visual Studio.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ОПТИМИЗАЦИИ

В процессе решения задачи были найдены варианты распределения задания (13) между элементами  $h_1 - h_7$ , которые обеспечивают минимальное время его выполнения  $T$ .

Число вариантов распределения задания в таблице 3 значительно меньше, чем число вариантов в таблице 2, поскольку включает только корректные варианты. Представленные результаты позволяют найти минимальное время выполнения работы (столбец  $T$ ) иерархией типа  $HS^0$ .

Таблица 3 – Время работы иерархии

Вар.	$h_1$	$h_2$	$h_3$	$h_4$	$h_5$	$h_6$	$h_7$	$T$
<i>I</i>	13	3	1	1	3	1	2	1
<i>2</i>	7	3	7	1	3	1	2	1
<i>K</i>	1	1	1	1	1	1	18	401
<i>L</i>	1	5	13	1	1	1	2	2
<i>5448</i>	1	3	13	1	3	1	2	2

Полный перечень вариантов распределения вариантов распределения задания (5448) показан в таблице 3 только для иллюстрации работы алгоритма.

Точным решением задачи являются равнозначные варианты 1 и 2, обеспечивающие минимум времени выполнения иерархией задания  $T=1$ .

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Предложенная модель иерархий и алгоритм распределения задания позволяют рассматривать и более сложное представление систем. Кроме скорости работы (5), каждый узел иерархии может также характеризоваться качеством или полнотой выполнения подзаданий  $q$ , где  $0 \leq q \leq 1$ . Такое представление применимо, например, к большим иерархиям, включающим отношения людей. В этом случае элемент иерархии может быть описан как

$$h_i = \left\{ \begin{array}{l} v_i^1, \dots, v_i^k \\ q_i^1, \dots, q_i^k \end{array} \right\} \quad (16)$$

Тогда задание для элементов старшего уровня иерархии формируется подчиненными ему элементами (это возможно в системах  $HS^1$  и  $HS^2$ ).

$$h_n^p(J_n^i) = \sum_m (1 - q_m^i) * j_m^i, \forall h_m \in S_n^p \quad (17)$$

Учет дополнительных параметров элементов не требует изменения самого алгоритма. Необходимо только изменить процедуру вычисления оценки эффективности каждого варианта иерархии.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представленные результаты подтверждают возможность использования алгоритма полного перебора вариантов для нахождения оптимальных параметров иерархических систем. Использование рекурсий при программной реализации перебора вариантов позволяет исследовать иерархии с большим числом узлов. Конечно, в случае увеличения размерности задачи время решения может стать неприемлемо большим, что потребует переноса алгоритма на параллельную платформу. Применяемая в алгоритме стратегия

поиска позволяет эффективно распределить вычисления между узлами многопроцессорной системы благодаря их независимости по данным. Дальнейшие исследования будут направлены на разработку параллельного приложения, реализующего алгоритм в системе с распределенной памятью, изучению его масштабируемости.

*Статья подготовлена в рамках выполнения научного проекта РФФИ № 13-07-00661 «Использование распределенных вычислений в задачах устойчивости систем управления». Авторы выражают искреннюю благодарность Татьяне Олейник за помощь в получении соотношения (12).*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Hogan J. The leadership lever. – IT Professional, May-June 2011. – Vol. 13. – № 3. – P. 10-13.
2. He N., Zhang D.Z. and Li Q. Agent-based hierarchical production planning and scheduling in make-to-order manufacturing system. – Int. J. Production Economics, 2014. – Vol. 149. – P. 117-130.
3. Aminof B., Mogavero F. and Murano A. Synthesis of hierarchical systems. – Science of Computer Programming, 2014. – Vol. 83. – V. 56-79.
4. Li M. Bayesian modeling of multi-state hierarchical systems with multi-level information aggregation / M. Li, J. Liu, J. Li, B.U. Kim // Reliability Engineering and System Safety, 2014. – Vol. 124. – P. 158-164.
5. Rohloff K. A hierarchical control system for dynamic resource management / K. Rohloff, J. Ye, J. Loyall, R. Schantz // in Proc, 2006. – IEEE Real-Time and Embedded Technology and Applications Symposium – RTAS 2006, San Jose, CA, 2006.
6. Chand P., Carnegie D.A. Towards a robust feedback system for coordinating a hierarchical multi-robot system // Robotics and Autonomous Systems, 2014. – Vol. 62. – P. 91-107.
7. Zeng X.-J., Keane J.A. Approximation capabilities of hierarchical hybrid systems // IEEE Trans. on Systems, Man and Cybernetics. – Part A: Systems and Humans, 2006. – Vol. 36. – № 5. – P. 1029-1039.
8. Chris Edwards. Messages from the future // Engineering & Technology, February 2015. – P. 38-41.

#### **Лупин Сергей Андреевич**

Национальный исследовательский университет «МИЭТ», г. Москва, г. Зеленоград  
Кандидат технических наук, профессор кафедры вычислительной техники  
Тел: 8 905 761 5532  
E-mail: lupin@miee.ru, papikam@rambler.ru

#### **Сай Вин Мо**

Национальный исследовательский университет «МИЭТ», г. Москва, г. Зеленоград  
Аспирант кафедры вычислительной техники  
Тел.: 8 999 988 59 29  
E-mail: saiwinmaw50@gmail.com

#### **Ай Мин Тайк**

Национальный исследовательский университет «МИЭТ», г. Москва, г. Зеленоград  
Аспирант кафедры вычислительной техники  
Тел.: 8 925 462 4381  
E-mail: aminthike@gmail.com

---

S.A. LUPIN (*Candidate of Engineering Science, Professor of the Department of Computer Science*)

SAJ VIN MO (*Post-graduate Student of the Department of Computer Science*)

AJ MIN TAJK (*Post-graduate Student of the Department of Computer Science*)  
*National Research University of Electronic Technology, Moscow, Zelenograd*

**THE APPLICABILITY OF AN EXHAUSTIVE SEARCH OF VARIANTS  
IN THE DISTRIBUTION OF WORK IN A HIERARCHICAL SYSTEM**

*This paper discusses options for using brute force methods for the distribution of complex tasks in hierarchical systems. The proposed algorithm is based on finding the optimal distribution of load between the executive elements at a predetermined structure. A simple hierarchic structure has been used as an example to investigate the functionality of the algorithm's software implementation.*

**Keywords:** *hierarchical systems; work's distribution algorithm; effectiveness of hierarchical systems.*

**BIBLIOGRAPHY (TRANSLITERATED)**

1. Hogan J. The leadership lever. – IT Professional, May-June 2011. – Vol. 13. – № 3. – P. 10-13.
2. He N., Zhang D.Z. and Li Q. Agent-based hierarchical production planning and scheduling in make-to-order manufacturing system. – Int. J. Production Economics, 2014. – Vol. 149. – P. 117-130.
3. Aminof B., Mogavero F. and Murano A. Synthesis of hierarchical systems. – Science of Computer Programming, 2014. – Vol. 83. – V. 56-79.
4. Li M. Bayesian modeling of multi-state hierarchical systems with multi-level information aggregation / M. Li, J. Liu, J. Li, B.U. Kim // Reliability Engineering and System Safety, 2014. – Vol. 124. – P. 158-164.
5. Rohloff K. A hierarchical control system for dynamic resource management / K. Rohloff, J. Ye, J. Loyall, R. Schantz // in Proc, 2006. – IEEE Real-Time and Embedded Technology and Applications Symposium – RTAS 2006, San Jose, CA, 2006.
6. Chand P., Carnegie D.A. Towards a robust feedback system for coordinating a hierarchical multi-robot system // Robotics and Autonomous Systems, 2014. – Vol. 62. – P. 91-107.
7. Zeng X.-J., Keane J.A. Approximation capabilities of hierarchical hybrid systems // IEEE Trans. on Systems, Man and Cybernetics. – Part A: Systems and Humans, 2006. – Vol. 36. – № 5. – P. 1029-1039.
8. Chris Edwards. Messages from the future // Engineering & Technology, February 2015. – P. 38-41.

**ОБ ОДНОМ СПОСОБЕ  
ПОВЫШЕНИЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ  
ВЕРОЯТНОСТНОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ  
В ЗАДАЧЕ РАСПОЗНАВАНИЯ ОБРАЗОВ  
НА ОСНОВЕ ПРОЕКЦИОННЫХ ОЦЕНОК**

*Рассмотрена проблема недостаточной вычислительной эффективности вероятностной нейронной сети (ВНС) в задачах распознавания образов при наличии в базе данных для каждого класса небольшого числа эталонов. На основе проекционных оценок плотности распределения с ядром Фейера и наивного предположения о независимости признаков классифицируемого объекта синтезирована новая модификация ВНС. Экспериментально показано, что предложенный классификатор оказался несколько точнее и намного более эффективнее с вычислительной точки зрения по сравнению как с оригинальной ВНС, так и ВНС с предварительной кластеризацией обучающей выборки.*

**Ключевые слова:** распознавание образов; классификация; вероятностная нейронная сеть; проекционные оценки; машина опорных векторов.

**ВВЕДЕНИЕ**

Задача классификации (широко применяются также термины «распознавание образов с учителем», «диагностика», «дискриминантный анализ») [1, 2] является одним из наиболее актуальных приложений аппарата искусственных нейронных сетей [3, 4]. Несмотря на наличие большого числа хорошо зарекомендовавших себя методов машинного обучения, таких, как многослойные сети прямого распространения, машины опорных векторов (SVM), глубокие нейронные сети, интенсивность исследований в этом направлении не снижается [3, 4]. И связано это с тем, что современные методы классификации характеризуются низкой точностью в вытекающих из потребностей прикладных исследований задачах распознавания объектов, например, при наличии в базе данных (БД) для каждого класса небольшого числа эталонов (проблема «малых выборок» [5, 6]), недостаточного для успешного обучения сложных нейросетевых структур [4]. В таком случае обычно применяют более простые методы, основанные на поиске ближайшего соседа или зачастую на универсальном статистическом подходе, в котором предполагается, что объекты одного класса подчиняются одному закону распределения [1]. В результате задача сводится к проверке гипотез о распределении входного объекта [2]. Ее оптимальное решение дает байесовский критерий минимума среднего риска, а распределения каждого класса оцениваются чаще всего на основе непараметрического подхода [1], наиболее распространенной реализацией которого является вероятностная нейронная сеть (ВНС) [7]. В ней для аппроксимации неизвестных плотностей вероятностей по обучающим выборкам используется конечная смесь гауссовских ядерных функций Парзена [8]. ВНС характеризуется чрезвычайно быстрой процедурой обучения и сходимостью к оптимальному байесовскому решению.

К сожалению, для классификации каждого нового объекта в ВНС обрабатываются все эталоны из БД [7, 9]. В результате их практическое применение оказывается невозможным при наличии жестких ограничений на время распознавания и/или на объем оперативной памяти, особенно для большого числа классов [9, 10]. Так как известного повышения вычислительной эффективности за счет использования подходящих структур данных [11] оказывается обычно недостаточно, преодоление указанной проблемы связывают с выделением из БД информативных эталонов, которые и участвуют в дальнейшем распознавании. Наиболее популярный подход [12] сводится к предварительной

кластеризации БД (чаще всего на основе метода k-means [1, 13]) и применении центроидов выделенных кластеров для обучения ВНС. К сожалению, такое решение приводит к потере основных достоинств ВНС. А именно, процедура обучения становится достаточно сложной, а само решение перестает быть оптимальным в байесовском смысле, особенно для существенно различающихся по объему кластеров.

В настоящей работе для повышения скорости классификации предлагается логика рассуждений совсем иного рода. Вместо оценок плотности вероятности с помощью гауссовских ядерных функций Розенблатта-Парзена [8] воспользуемся известными проекционными оценками, основанными на разложении плотности в некотором ортогональном базисе [14, 15]. Их применение в ВНС [16, 17] обычно связано с записью оценки плотности в «правильном виде» [14] и простой заменой функций Парзена на ядра, основанные на полиномах Лежандра или Лагерра [18], что хоть и приводит в ряде случаев к повышению точности, не влияет на вычислительную эффективность классификации. Более того, такой подход требует оценок коэффициентов в разложении плотности по полной ортонормированной системе функций [19-21], поэтому его использование для классификации векторов значений признаков большой размерности на практике не представляется возможным. В нашей работе показано, что если воспользоваться традиционным для распознавания образов «наивным» предположением о независимости элементов вектора признаков [1, 22], а разложение плотности выполнить в виде сумм Фейера [14, 20], то возможно преодолеть отмеченные недостатки ВНС без существенных потерь в скорости обучения. При этом получившаяся модификация ВНС на основе проекционных оценок будет также сходиться к оптимальному байесовскому решению.

### КЛАССИФИКАЦИЯ НА ОСНОВЕ ВНС

Наиболее общая формулировка большинства задач статистического распознавания образов состоит в следующем [2, 22]. Требуется отнести предъявляемый объект анализа  $\mathbf{x} = [x_i], i = \overline{1, M}$  – вектор размерности  $M$  – к одному из  $C > 1$  классов, строго говоря, заранее точно не определенных. Каждый класс характеризуется тем, что принадлежащие ему объекты обладают некой общностью или сходством.

Прежде всего выполним преобразование входного вектора в пространство признаков  $\Psi(\mathbf{x}) = [\psi_i(\mathbf{x})], i = \overline{1, M_1}$  размерности  $M_1$  (в общем случае  $M_1 \neq M$ ), традиционно используемое в нейросетевом подходе для нормировки и декорреляции входных данных [3]. Без ограничения общности будем считать, что  $\psi_i(\mathbf{x}) \in [-1; 1]$ . В простейшем случае для нормировки признаков может применяться биполярная сигмоидальная функция

$$\psi_i(\mathbf{x}) = th \frac{x_i - \mu_i}{2\sigma_i}, \quad (1)$$

где  $M_1 = M$ , а  $\mu_i, \sigma_i$  – среднее арифметическое и стандартное отклонения  $i$ -го элемента входного вектора, оцениваемые по имеющимся эталонам в БД.

Проблема состоит в том [1, 22], что каждому конкретному образу обычно присуща известная вариативность, т.е. изменчивость его признаков от одного образца наблюдения к другому, которая носит случайный характер. Обычно преодоление данной проблемы связывают со статистическим подходом, когда в роли образа выступает соответствующий закон распределения  $\mathbf{P}^{(c)}$  объектов одного класса. Задача переходит в таком случае в задачу проверки статистических гипотез о неизвестном законе распределения. Восстановление неизвестных законов  $\mathbf{P}^{(c)}, c = \overline{1, C}$  происходит в процессе предварительного обучения по выборкам  $\{\mathbf{x}_r^{(c)}\}, r = \overline{1, R_c}$  конечных объемов  $R^{(c)}, c = \overline{1, C}$ ,

принадлежность которых классу (образу)  $c$  заранее точно известна. Здесь  $\mathbf{x}_r^{(c)} = \{x_{r;i}^{(c)}\}_{i=1, \overline{M}}$  –  $r$ -й эталон (вектор размерности  $M$ )  $c$ -го класса. Тогда задача статистического распознавания объекта  $\mathbf{x}$  может быть сведена к проверке  $C$  гипотез о его законе распределения:

$$W^{(c)} : \mathbf{P} = \mathbf{P}^{(c)}, c = \overline{1, C}.$$

Для ее решения обычно используется принцип минимума среднего байесовского риска – делается вывод о принадлежности входного объекта к классу  $\nu$  с максимальной апостериорной вероятностью

$$\nu = \arg \max_{c \in \{1, \dots, C\}} f(\mathbf{x}|W^{(c)}) \cdot P(W^{(c)}). \quad (2)$$

Здесь  $P(W^{(c)})$  – априорная вероятность появления  $c$ -го класса,  $f(\mathbf{x}|W^{(c)})$  – условная плотность вероятности класса  $c$ . Для оценки априорной вероятности зачастую [7] используется соотношение числа эталонов в обучающих выборках  $P(W^{(c)}) = R^{(c)} / R$ , где  $R$  – общий объем БД. А для оценки распределения класса воспользуемся непараметрической оценкой плотности [8]

$$\hat{f}_{RP}(\mathbf{x}|W_r) = \frac{1}{R^{(c)}} \sum_{r=1}^{R^{(c)}} K(\psi(\mathbf{x}), \psi(\mathbf{x}_r^{(c)})) \quad (3)$$

на основе гауссовского ядра Розенблатта-Парзена

$$K(\psi(\mathbf{x}), \psi(\mathbf{x}_r^{(c)})) = \frac{1}{(2\pi\sigma^2)^{M_1/2}} \exp\left(-\frac{1}{2\sigma^2} \sum_{i=1}^{M_1} (\psi_i(\mathbf{x}) - \psi_i(\mathbf{x}_r^{(c)}))^2\right), \quad (4)$$

где  $\sigma > 0$  – фиксированный параметр разброса. С учетом оценки (3) итоговое решение (2) может быть записано в виде

$$\nu = \arg \max_{c \in \{1, \dots, C\}} \frac{1}{R} \sum_{r=1}^{R^{(c)}} K(\mathbf{x}, \mathbf{x}_r^{(c)}). \quad (5)$$

Критерий (5) и представляет собой реализацию ВНС [7]. Здесь для каждого класса происходит сопоставление входного объекта с каждым эталоном  $\mathbf{x}_r^{(c)}$ . В результате алгоритмическая сложность реализации критерия (5) оценивается как  $O(R \cdot M_1)$ , что может быть неприемлемо для ряда прикладных задач. В следующем разделе исследуются способы повышения вычислительной эффективности ВНС с помощью замены ядра Розенблатта-Парзена (3), (4) на тригонометрические проекционные оценки плотности [14, 23].

### ПРОЕКЦИОННЫЕ ОЦЕНКИ ПЛОТНОСТИ В ЗАДАЧЕ РАСПОЗНАВАНИЯ

В прикладной статистике в рамках непараметрического подхода [1] наряду с оценкой Розенблатта-Парзена (3, 4) достаточно широко применяются проекционные оценки, в которых плотность вероятности записывается как сумма ортогональных разложений [14, 20]. Ситуация резко осложняется для многомерного случая, в котором многомерная ортонормированная система образуется из всевозможных произведений одномерных функций, в результате с ростом размерности  $M_1$  вектора признаков экспоненциально возрастает сложность вычисления ортонормированных функций и, как следствие, требование к минимальному числу эталонов каждого класса, достаточных для оценки многомерного распределения [20]. Отмеченная проблема широко известна и характерна для применения байесовского подхода в задачах распознавании образов. Обычно ее преодоление

связывают с «наивным» предположением о независимости всех признаков (т.н. «наивный» байесовский классификатор [1]), тогда плотность вероятности каждого класса запишется как

$$f(\mathbf{x}|W_r) = \prod_{i=1}^{M_1} f^{(c)}(\psi_i(\mathbf{x})). \quad (6)$$

А одномерную плотность вероятности  $i$ -го признака  $f^{(c)}(\psi_i(\mathbf{x}))$  можно оценить как среднее арифметическое первых  $m$  частичных сумм ряда при использовании, например, ортонормированной тригонометрической системы. Такая оценка представима в виде (3), где вместо ядра Розенблатта-Парзена применяется ядро Фейера

$$\hat{f}_{OS}^{(c)}(\psi_i(\mathbf{x})) = \frac{1}{R^{(c)}} \sum_{r=1}^{R^{(c)}} \frac{1}{2(m+1)} \left( \frac{\sin((m+1)(\psi_i(\mathbf{x}) - \psi_i(\mathbf{x}_r^{(c)}))/2)}{\sin((\psi_i(\mathbf{x}) - \psi_i(\mathbf{x}_r^{(c)}))/2)} \right)^2. \quad (7)$$

Именно в таком виде (с учетом различий в применяемой ядерной функции) традиционно записывается ВНС на основе проекционных оценок [16-18], которая, очевидно, не предполагает повышение вычислительной эффективности, т.к. алгоритмическая сложность такого подхода также определяется как  $O(R \cdot M_1)$ . Поэтому в настоящей работе предлагается воспользоваться другим, эквивалентным (7) выражением [14, 20]:

$$\hat{f}_{OS}^{(c)}(\psi_i(\mathbf{x})) = 0,5 + \sum_{j=1}^m \left( a_{i,j}^{(c)} \cdot \varphi_{i,j}^{(1)}(\psi_i(\mathbf{x})) + b_{i,j}^{(c)} \cdot \varphi_{i,j}^{(2)}(\psi_i(\mathbf{x})) \right), \quad (8)$$

где

$$\varphi_{i,j}^{(1)}(\psi_i(\mathbf{x})) = \cos(j \cdot \pi \cdot \psi_i(\mathbf{x})), \quad \varphi_{i,j}^{(2)}(\psi_i(\mathbf{x})) = \sin(j \cdot \pi \cdot \psi_i(\mathbf{x})), \quad (9)$$

а коэффициенты ряда оцениваются по имеющейся обучающей выборке

$$\begin{aligned} a_{i,j}^{(c)} &= \frac{m-j+1}{R^{(c)} \cdot (m+1)} \sum_{r=1}^{R^{(c)}} \cos(j \cdot \pi \cdot \psi_i(\mathbf{x}_r^{(c)})) \\ b_{i,j}^{(c)} &= \frac{m-j+1}{R^{(c)} \cdot (m+1)} \sum_{r=1}^{R^{(c)}} \sin(j \cdot \pi \cdot \psi_i(\mathbf{x}_r^{(c)})) \end{aligned} \quad (10)$$

Итоговое выражение для распознавания (2), (6) объекта  $\mathbf{x}$  запишется в виде

$$v = \arg \max_{c \in \{1, \dots, C\}} \frac{R^{(c)} M_1}{R} \prod_{i=1}^{M_1} \hat{f}_{OS}^{(c)}(\psi_i(\mathbf{x})). \quad (11)$$

Остановимся подробнее на преимуществах такого подхода. Во-первых, его алгоритмическая сложность составляет  $O((2m+1) \cdot M_1)$ . Как известно, сходимость ряда (8) обеспечивается в том случае, если  $2m+1$  возрастает как  $\sqrt[3]{R^{(c)}}$ . Предполагая, что для каждого класса число имеющихся эталонов примерно одинаково, зафиксируем

$$m = \begin{cases} \left\lceil \sqrt[3]{R/C} / 2 \right\rceil, & \left\lceil \sqrt[3]{R/C} / 2 \right\rceil \geq m_0 \\ m_0, & \left\lceil \sqrt[3]{R/C} / 2 \right\rceil < m_0 \end{cases}, \quad (12)$$

где  $\lceil \cdot \rceil$  – округление в большую сторону, а  $m_0 = const$  – фиксированное минимальное число частичных сумм. В результате по сравнению классификация одного объекта в среднем требует в  $\sqrt[3]{R^2/C}$  раз меньше времени по сравнению с оригинальной ВНС (5). При этом сложность обучения является линейной  $O(m \cdot R \cdot M_1)$ .

Во-вторых, классификацию и обучение можно ускорить, используя выражения для тригонометрических функций от суммы аргументов. В результате базисные функции (9) можно оценить рекурсивно

$$\begin{aligned}\varphi_{i;j}^{(1)}(\psi_i(\mathbf{x})) &= \varphi_{i;j-1}^{(1)}(\psi_i(\mathbf{x})) \cdot \varphi_{i;1}^{(1)}(\psi_i(\mathbf{x})) - \varphi_{i;j-1}^{(2)}(\psi_i(\mathbf{x})) \cdot \varphi_{i;1}^{(2)}(\psi_i(\mathbf{x})) \\ \varphi_{i;j}^{(2)}(\psi_i(\mathbf{x})) &= \varphi_{i;j-1}^{(1)}(\psi_i(\mathbf{x})) \cdot \varphi_{i;1}^{(2)}(\psi_i(\mathbf{x})) + \varphi_{i;j-1}^{(2)}(\psi_i(\mathbf{x})) \cdot \varphi_{i;1}^{(1)}(\psi_i(\mathbf{x}))\end{aligned}\quad (13)$$

с инициализацией  $\varphi_{i;1}^{(1)}(\psi_i(\mathbf{x})) = \cos(\pi \cdot \psi_i(\mathbf{x}))$ ,  $\varphi_{i;1}^{(2)}(\psi_i(\mathbf{x})) = \sin(\pi \cdot \psi_i(\mathbf{x}))$ . В итоге количество потенциально «дорогих» (в вычислительном смысле) операций вычисления тригонометрических функций сокращается в  $m$  раз (по сравнению с (9)).

В-третьих, появляется возможность осуществить быстрое дообучение при доступности небольшого (в сравнении с  $R$  так, чтобы размерность слоя образов  $m$  (12) осталась неизменной) числа эталонов без необходимости запоминания всех признаков всех эталонов. Так, при появлении нового эталонного объекта  $\mathbf{x}_{R_c+1}^{(c)}$  коэффициенты ряда (10) могут быть скорректированы следующим образом

$$\begin{aligned}\tilde{a}_{i;j}^{(c)} &= \left( R^{(c)} \cdot a_{i;j}^{(c)} + \cos\left( j \cdot \pi \cdot \psi_i\left( \mathbf{x}_{R_c+1}^{(c)} \right) \right) \right) / (R^{(c)} + 1) \\ \tilde{b}_{i;j}^{(c)} &= \left( R^{(c)} \cdot b_{i;j}^{(c)} + \sin\left( j \cdot \pi \cdot \psi_i\left( \mathbf{x}_{R_c+1}^{(c)} \right) \right) \right) / (R^{(c)} + 1)\end{aligned}\quad (14)$$

Таким образом, предложенная модификация (8-14) позволяет преодолеть существующие недостатки (низкая вычислительная эффективность, отсутствие обобщения) оригинальной ВНС (3-5), сохранив при этом высокую скорость обучения и сходимость к оптимальному байесовскому решению. В следующем разделе экспериментально продемонстрировано, что и для реальных задач распознавания предложенный подход является не менее эффективным, чем классические нейросетевые классификаторы.

### РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

В настоящем разделе исследуется применение предложенного классификатора (8-14) в известных задачах классификации данных из UCI Machine Learning Repository. Рассматривались две популярные БД:

- 1) цветы ириса (Iris), содержащие  $R=150$  эталонов из  $C=3$  классов. Каждый цветок описывается шириной и высотой чашелистика и лепестка ириса ( $M=4$  числовых атрибута);
- 2) список вин (Wine), в котором содержатся  $C=3$  класса и  $R=178$  эталонов, заданных  $M=13$  числовыми признаками.

В ходе эксперимента в условиях малых обучающих выборок предложенная модификация сопоставлялась с оригинальной ВНС, традиционным способом повышения вычислительной эффективности ВНС – предварительным разбиением БД на 5 кластеров для БД Iris и 10 кластеров для БД Wine (эти значения показали наилучшее соотношение скорости и точности) и популярным классификатором SVM. Для оценки признаков применялся гиперболический тангенс (1), при этом среднее арифметическое и стандартное отклонения оценивались по обучающей выборке. Для измерения среднего времени классификации применялся современный ноутбук (процессор Intel Core i7-2630QM, тактовая частота 2 ГГц, объем ОЗУ 6 Гб). Вероятность ошибки распознавания оценивалась с помощью одного из методов кросс-валидации (скользящего контроля), а именно – в течение 100 раз БД случайным образом разбивалась на  $q$  непересекающихся блоков, где  $q=2,3,\dots,10$ . Каждый блок по очереди становится обучающим множеством, а остальные  $q-1$  блоки становятся

контрольной подвыборкой. Чем больше значение  $q$ , тем меньше объем обучающей выборки  $R$  и тем больше объем тестовой выборки.

Усредненная (по всем  $100q$  экспериментам) вероятность ошибки на контрольной подвыборке и среднее время распознавания одного объекта (в мкс) для БД Iris приведены на рисунке 1 и рисунке 2 соответственно. Здесь точность предложенного критерия (8-14) оказалась на 2,3-2,5% выше точности оригинальной ВНС. Традиционная SVM подтвердила высокое качество классификации при достаточно больших объемах обучающей выборки ( $q=2, q=3$ ), однако для малых  $R$  вероятность ошибки SVM оказалась не только на 1,5-4% выше аналогичного показателя для предложенного классификатора, но и (для  $q=7...10$ ) на 1-1,5% выше вероятности ошибки ВНС. Тем самым подтвердился известный факт о недостаточной эффективности сложных классификаторов типа SVM при небольших объемах обучающих выборок. В то же время среднее время распознавания одного объекта для SVM оказалось наиболее малым среди всех рассматриваемых подходов, хотя этот показатель для разработанного классификатора (8-14) оказался лишь ненамного большим. При этом для обоих классификаторов время распознавания практически не зависит от объема обучающей выборки  $R$ , чего нельзя сказать о традиционной ВНС, в которой время классификации линейно возрастает при увеличении  $R$ . Даже для  $q=10$  время распознавания ВНС в среднем на 2-3,5 мкс (в 3,5-6 раз) оказывается выше времени классификации предложенной модификации ВНС. А применение предварительной кластеризации хоть и позволяет в 2-3 раза ускорить распознавание, однако даже этот результат оказывается в 3-4 раза медленнее основанной на проекционных оценках модификации. При этом кластеризация в ВНС привела к снижению точности на 0,5-1%.

Во втором эксперименте для БД Iris для всей обучающей выборки был выполнен анализ главных компонент, выделен главный собственный вектор, после чего для каждого анализируемого объекта вычислено скалярное произведение с этим собственным вектором, которое нормировалось с помощью операции (1), т.е.  $M_1 = 1$ . Такой выбор признаков позволил повысить точность (рис. 3) на 0,5-3% по сравнению с предыдущим экспериментом. Лишь для SVM при больших объемах обучающей выборки ( $q=2$ ) наблюдается снижение точности на 1,3%. Вероятность ошибки для оригинальной ВНС практически совпала с ошибкой предложенного классификатора (8-14), однако среднее время классификации для нашего подхода оказалось в 2-5 раз ниже. Кластеризация БД в ВНС оказалась в 2-3 раза медленнее по сравнению с предложенным подходом, а ее точность – на 0,1-0,7% ниже.

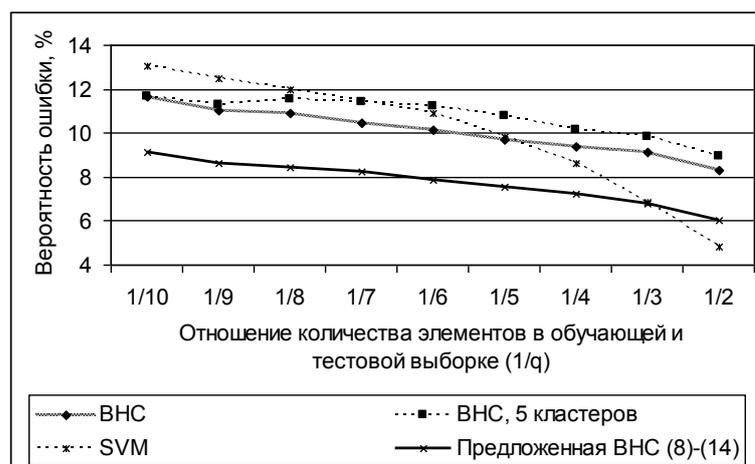


Рисунок 1 – Средняя вероятность ошибки классификации, база данных Iris

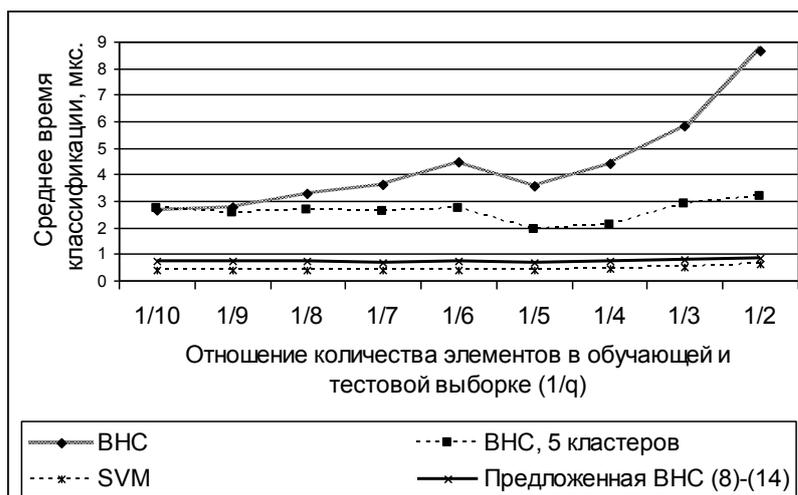


Рисунок 2 – Среднее время классификации одного объекта, база данных Iris

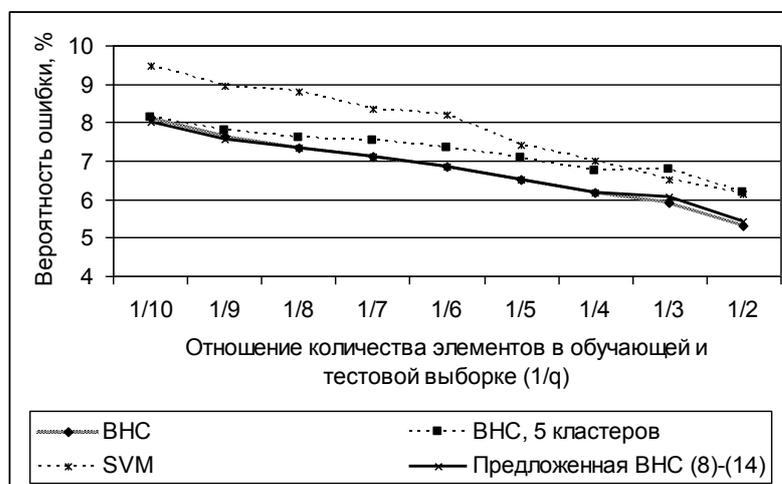


Рисунок 3 – Средняя вероятность ошибки классификации, признаки выделены на основе анализа главных компонент, база данных Iris

Наконец, в заключительном эксперименте представлены вероятность ошибки (рис. 4) и время распознавания (рис. 5) для БД Wines.

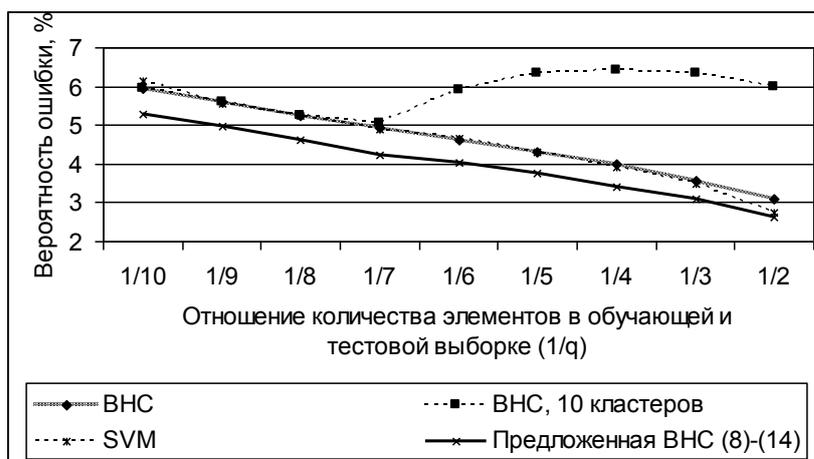


Рисунок 4 – Средняя вероятность ошибки классификации, база данных Wine

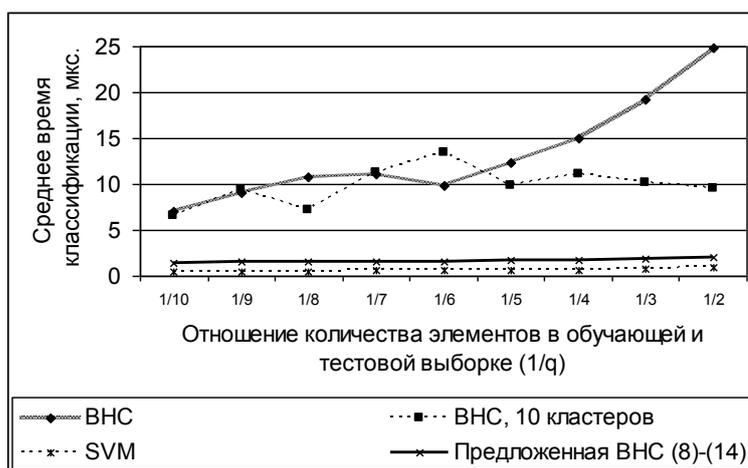


Рисунок 5 – Среднее время классификации одного объекта, база данных Wine

Здесь применение метода главных компонент не рассматривается, т.к. он не привел к повышению точности. Результаты этого эксперимента в целом подтвердили выводы из предыдущих экспериментов. Однако здесь даже для  $q=2$  вероятность ошибки для традиционной SVM оказывается немного ниже, чем для предложенного классификатора. А применение кластеризации в ВНС привело к существенному (до 3%) росту вероятности ошибки. Предложенный подход вновь оказался быстрее как традиционной ВНС (в 5-12 раз), так и ВНС с кластеризацией БД (в 3-4 раза), а его средняя точность в пределах допустимой погрешности оказалась равной точности оригинальной ВНС (3-5).

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, в настоящей работе предложена модификация ВНС на основе применения проекционных оценок плотности вероятности с ядром Фейера (8-11) и предположения о независимости признаков классифицируемого объекта. Результаты экспериментального исследования показали, что предложенный подход оказался несколько точнее и намного более эффективнее с вычислительной точки зрения за счет ее обучения путем вычисления коэффициентов ряда Фурье (10). При этом разработанный классификатор (8-14) позволил, в отличие от часто применяемой предварительной кластеризации обучающей выборки [15], сохранить сходимость оригинальной ВНС к оптимальному решению и обеспечить линейное время обучения и константную сложность дообучения (14).

Основным недостатком предложенного подхода по сравнению с классической ВНС, на наш взгляд, является отсутствие в нем аналога выражения (4), в котором вычисляется расстояние между векторами признаков входного объекта и эталона. В результате для нашей модификации оказывается недоступным повышение гибкости ВНС за счет применения в (4) альтернативных мер близости, более сложных, чем метрика Евклида [24]. Поэтому большую важность по сравнению с оригинальной ВНС приобретает отбор признаков  $\psi(x)$ . В ряде случаев подходящий выбор признаков позволяет повысить качество классификации. Как показал наш эксперимент (рис. 3), предварительное применение анализа главных компонент позволило на 0,6-1% снизить вероятность ошибки распознавания.

*Исследование выполнено в Национальном исследовательском университете «Высшая школа экономики» за счет средств гранта Российского научного фонда (проект № 14-41-00039).*

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Theodoridis S., Koutroumbas K. (eds.) Pattern recognition. – Boston: Academic Press, 2008. – 840 p.
2. Орлов А.И. О развитии математических методов теории классификации // Заводская лаборатория, 2009. – Т. 75. – № 7. – С. 51-63.
3. Haykin S. Neural Networks and Learning Machines. – 3rd edition. – New Jersey: Prentice Hall, 2008. – 936 p.
4. Bishop C. Pattern recognition and machine learning. – New York: Springer, 2006. – 738 p.
5. Tan X., Chen S., Zhou Z.H., Zhang F. Face recognition from a single image per person: a survey // Pattern Recognition, 2006. – Vol. 39. – № 9. – P. 1725-1745.
6. Савченко В.В. Решение проблемы малых выборок на основе информационной теории восприятия речи // Известия ВУЗов России. Радиоэлектроника, 2008. – Вып. 5. – С. 33-44.
7. Specht D.F. Probabilistic neural networks // Neural Networks, 1990. – № 3. – P. 109-118.
8. Parzen E. On estimation of a probability density function and mode // Analysis of Mathematical Statistics, 1962. – Vol. 33. – № 3. – P. 1065-1076.
9. Savchenko A.V. Probabilistic neural network with homogeneity testing in recognition of discrete patterns set // Neural Network, 2013. – Vol. 46. – P. 227-241.
10. Savchenko A.V. Directed enumeration method in image recognition // Pattern Recognition, 2012. – Vol. 45. – № 8. – P. 2952-2961.
11. Franti P., Kaukoranta T., Shen D.-F., Chang K.-S. Fast and Memory Efficient Implementation of the Exact PNN // IEEE Transactions on Image Processing, 2000. – № 9. – P. 773-777.
12. Chtioui Y., Bertrand D., Barba D. Reduction of the size of the learning data in a probabilistic neural network by hierarchical clustering // Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems, 1996. – Vol. 35. – № 2. – P. 175-186.
13. Kusy M., Kluska J. Probabilistic Neural Network Structure Reduction for Medical Data Classification // In Proc. of Int. Conf. on Artificial Intelligence and Soft Computing (LNCS), 2013. – Vol. 7894. – P. 118-129.
14. Devroye L., Györfi L. Nonparametric Density Estimation: The L1 View. – Wiley, 1985. – 368 p.
15. Ченцов Н.Н. Оценка неизвестной плотности распределения по наблюдениям // Доклады Академии Наук СССР, 1962. – Т. 147. – № 1. – С. 45-48.
16. Duda P., Zurada J.M. On the Cesaro Orthogonal Series-Type Kernel Probabilistic Neural Networks Handling Non-stationary Noise // In Proc. of Int. Conf. on Parallel Processing and Applied Mathematics (LNCS), 2012. – Vol. 7203. – P. 435-442.
17. Duda P., Korytkowski M. On the Strong Convergence of the Recursive Orthogonal Series-Type Kernel Probabilistic Neural Networks Handling Time-Varying Noise // In Proc. of Int. Conf. on Artificial Intelligence and Soft Computing (LNCS), 2012. – Vol. 7267. – P. 55-62.
18. Rutkowski L. New Soft Computing Techniques for System Modeling, Pattern Classification and Image Processing. – Springer, 2004. – 373 p.
19. Rutkowski L. Sequential pattern recognition procedures derived from multiple Fourier series // Pattern Recognition Letters, 1988. – № 8. – P. 213-216.
20. Новоселов А.А. Параметризация моделей управляемых систем // Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета, 2010. – № 5. – С. 52-56.
21. Greblicki W., Pawlak M. Classification using the Fourier series estimate of multivariate density functions // IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, 1981. – Vol. 11. – № 10. – P. 726-730.
22. Савченко А.В. Образ как совокупность выборок независимых одинаково распределенных значений признаков в задачах распознавания сложноструктурированных объектов // Заводская лаборатория. Диагностика материалов, 2014. – Т. 80. – № 3. – С. 70-80.
23. Hall P. On trigonometric series estimates of densities // Annals of Statistics, 1981. – Vol. 9. – № 3. – P. 683-685.
24. Savchenko A.V., Khokhlova Ya.I. About Neural-Network Algorithms Application in Viseme Classification Problem With Face Video in Audiovisual Speech Recognition Systems // Optical Memory and Neural Networks (Information Optics), 2014. – Vol. 23. – № 1. – P. 34-42.

**Савченко Андрей Владимирович**

Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», г. Нижний Новгород

Кандидат технических наук, доцент кафедры информационных систем и технологий

Тел.: 8 903 043 40 03, 8 (831) 214-07-58

E-mail: avsavchenko@hse.ru

A.V. SAVChENKO (*Candidate of Engineering Sciences,  
Associate Professor of the Department Information Systems and Technologies*)  
*National Research University «Higher School of Economics», Nizhny Novgorod*

**ON IMPROVEMENT OF COMPUTING EFFICIENCY OF THE PROBABILISTIC NEURAL  
NETWORK IN PATTERN RECOGNITION PROBLEM  
BASED ON THE ORTHOGONAL SERIES ESTIMATES OF CLASS DENSITIES**

*The paper explores the problem of the probabilistic neural network's (PNN) insufficient computing efficiency in pattern recognition if small number of models for each class are available. The novel modification of the PNN is proposed on the basis of the orthogonal series estimates of densities with the Fejer kernel and the naive assumption of classified object's features independence. The experimental study of popular classification tasks (iris, wines) shows that the proposed classifier allows to achieve much better computing efficiency in comparison with either original PNN or its modification with preliminary clustering of the training database.*

**Keywords:** *pattern recognition; classification; probabilistic neural network; orthogonal series estimates of densities; support vector machine.*

**BIBLIOGRAPHY (TRANSLITERATED)**

1. Theodoridis S., Koutroumbas K. (eds.) Pattern recognition. – Boston: Academic Press, 2008. – 840 p.
2. Orlov A.I. O razvitiy matematicheskix metodov teorii klassifikatsii // Zavodskaya laboratoriya, 2009. – Т. 75. – № 7. – S. 51-63.
3. Haykin S. Neural Networks and Learning Machines. – 3rd edition. – New Jersey: Prentice Hall, 2008. – 936 p.
4. Bishop C. Pattern recognition and machine learning. – New York: Springer, 2006. – 738 p.
5. Tan X., Chen S., Zhou Z.H., Zhang F. Face recognition from a single image per person: a survey // Pattern Recognition, 2006. – Vol. 39. – № 9. – P. 1725-1745.
6. Savchenko V.V. Reshenie problemy malyx vyborok na osnove informacionnoj teorii vospriyatiya rechi // Izvestiya VUZov Rossii. Radioelektronika, 2008. – Вып. 5. – S. 33-44.
7. Specht D.F. Probabilistic neural networks // Neural Networks, 1990. – № 3. – P. 109-118.
8. Parzen E. On estimation of a probability density function and mode // Analysis of Mathematical Statistics, 1962. – Vol. 33. – № 3. – P. 1065-1076.
9. Savchenko A.V. Probabilistic neural network with homogeneity testing in recognition of discrete patterns set // Neural Network, 2013. – Vol. 46. – P. 227-241.
10. Savchenko A.V. Directed enumeration method in image recognition // Pattern Recognition, 2012. – Vol. 45. – № 8. – P. 2952-2961.
11. Franti P., Kaukoranta T., Shen D.-F., Chang K.-S. Fast and Memory Efficient Implementation of the Exact PNN // IEEE Transactions on Image Processing, 2000. – № 9. – P. 773-777.
12. Chtioui Y., Bertrand D., Barba D. Reduction of the size of the learning data in a probabilistic neural network by hierarchical clustering // Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems, 1996. – Vol. 35. – № 2. – P. 175-186.
13. Kusy M., Kluska J. Probabilistic Neural Network Structure Reduction for Medical Data Classification // In Proc. of Int. Conf. on Artificial Intelligence and Soft Computing (LNCS), 2013. – Vol. 7894. – P. 118-129.
14. Devroye L., Györfi L. Nonparametric Density Estimation: The L1 View. – Wiley, 1985. – 368 p.
15. Chencov N.N. Ocenka neizvestnoj plotnosti raspredeleniya po nablyudeniym // Doklady Akademii Nauk SSSR, 1962. – Т. 147. – № 1. – S. 45-48.
16. Duda P., Zurada J.M. On the Cesaro Orthogonal Series-Type Kernel Probabilistic Neural Networks Handling Non-stationary Noise // In Proc. of Int. Conf. on Parallel Processing and Applied Mathematics (LNCS), 2012. – Vol. 7203. – P. 435-442.

17. Duda P., Korytkowski M. On the Strong Convergence of the Recursive Orthogonal Series-Type Kernel Probabilistic Neural Networks Handling Time-Varying Noise // In Proc. of Int. Conf. on Artificial Intelligence and Soft Computing (LNCS), 2012. – Vol. 7267. – P. 55-62.
18. Rutkowski L. New Soft Computing Techniques for System Modeling, Pattern Classification and Image Processing. – Springer, 2004. – 373 p.
19. Rutkowski L. Sequential pattern recognition procedures derived from multiple Fourier series // Pattern Recognition Letters, 1988. – № 8. – P. 213-216.
20. Novoselov A.A. Parametrizaciya modelej upravlyaemy'x sistem // Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo aë'rokosmicheskogo universiteta, 2010. – № 5. – S. 52-56.
21. Greblicki W., Pawlak M. Classification using the Fourier series estimate of multivariate density functions // IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, 1981. – Vol. 11. – № 10. – P. 726-730.
22. Savchenko A.V. Obraz kak sovokupnost' vy'borok nezavisimy'x odinakovo raspredelenny'x znachenij priznakov v zadachax raspoznavaniya slozhnostrukturirovanny'x ob'ektov // Zavodskaya laboratoriya. Diagnostika materialov, 2014. – T. 80. – № 3. – С. 70-80.
23. Hall P. On trigonometric series estimates of densities // Annals of Statistics, 1981. – Vol. 9. – № 3. – P. 683-685.
24. Savchenko A.V., Khokhlova Ya.I. About Neural-Network Algorithms Application in Viseme Classification Problem With Face Video in Audiovisual Speech Recognition Systems // Optical Memory and Neural Networks (Information Optics), 2014. – Vol. 23. – № 1. – P. 34-42.

УДК 004.934.1

М.В. САГАЦИЯН, Г.С. ТУПИЦИН, С.А. КРАВЦОВ, А.Л. ПРИОРОВ

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ  
КОЛЛЕКТИВНОГО НЕЙРОСЕТЕВОГО АЛГОРИТМА  
В ЗАДАЧЕ ДИКТОРОНЕЗАВИСИМОГО РАСПОЗНАВАНИЯ  
РЕЧЕВЫХ КОМАНД В УСЛОВИЯХ ШУМОВ**

*Рассмотрена проблема дикторонезависимого распознавания речевых команд русской речи в условиях шумов. Предложено решение данной проблемы с помощью коллективного нейросетевого алгоритма на основе обучения SCG и различных алгоритмов шумоподавления. На материале собственного речевого корпуса экспериментально показана эффективность применения блоков шумоподавления в коллективном нейросетевом распознавании многослойных перцептронов на основе обучения SCG.*

**Ключевые слова:** дикторонезависимое распознавание русской речи; нейросетевой алгоритм; bagging-коллектив; алгоритм Левенберга-Маркардта; алгоритм масштабируемых сопряженных градиентов; шумоподавление.

### **ВВЕДЕНИЕ**

С развитием информационных технологий растет спрос на более удобные способы взаимодействия человека с техническими системами. Одним из наиболее естественных способов управления машинами является человеческая речь. В настоящее время с развитием вычислительных мощностей процессоров становится доступным применение нейросетевых алгоритмов в сложных технических задачах, например, в задаче распознавания речи.

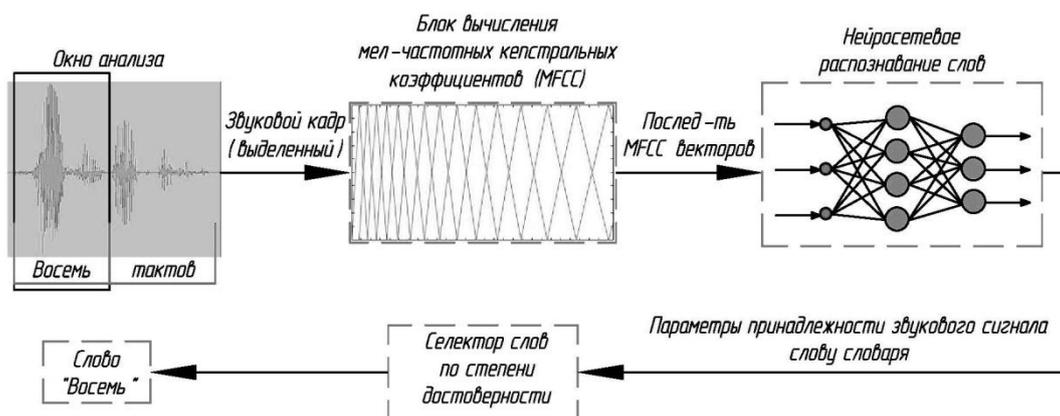
В настоящее время значительное внимание уделяется задаче подавления в речевых сигналах аддитивного шума [1]. Столь устойчивый интерес обусловлен широким кругом возможных применений и ограничениями существующих алгоритмов. Речевые сигналы, зарегистрированные в своей естественной обстановке, часто имеют невысокое качество звучания из-за мешающего воздействия. Это также значительно усложняет процесс автоматизации обработки речи в задачах ее распознавания, идентификации диктора, кодирования и т.д. Для достижения эффективности такой обработки зашумленная речь, как правило, должна быть очищена от посторонних звуков алгоритмами шумоподавления [2].

Цель работы состоит в повышении точности дикторонезависимого распознавания речевых команд за счет bagging-коллектива нейросетевого распознавания в условиях шумов. Объектом исследования в данной работе является акустический блок системы распознавания, а предметом исследования – алгоритм автоматического дикторонезависимого распознавания речевых команд на базе математического аппарата искусственных нейронных сетей с предобработкой.

### **АЛГОРИТМЫ РАСПОЗНАВАНИЯ.**

#### **БАЗОВЫЙ ВАРИАНТ НЕЙРОСЕТЕВОГО АЛГОРИТМА РАСПОЗНАВАНИЯ**

Структурная схема базового варианта нейросетевого алгоритма распознавания слов в речевом сигнале, независимого от диктора, на примере многослойного перцептрона приведена на рисунке 1.



**Рисунок 1 – Структурная схема базового нейросетевого алгоритма распознавания речевых команд**

Параметрами речевого сигнала, по которым проводится распознавание, выбран логарифм энергии сигнала по 13 мел-частотным кепстральным коэффициентам (Mel Frequency Cepstral Coefficients – MFCC) [3]. MFCC-вектор вычисляется в каждом окне. Компоненты каждого MFCC-вектора нормализуются так, чтобы математическое ожидание каждого компонента стало нулевым, а среднеквадратичное отклонение – единичным.

В качестве примера нейронной сети, которая решает задачу распознавания слов, на рисунке 1 показана сеть типа «многослойный перцептрон» – классическая многослойная сеть с полными последовательными связями и сигмоидальными функциями активации нейронов. Известно, что двухслойный перцептрон может аппроксимировать непрерывную функцию любой сложности, в том числе и функцию, которая описывает нелинейную гиперповерхность, которая разделяет в пространстве признаков отдельные классы образов. Однако более эффективным аппроксиматором является трехслойный перцептрон, особенно, если классы распознавания образуют в пространстве признаков сложные многосвязные участки [4]. Исходя из этого, для распознавания слов был избран многослойный перцептрон с тремя слоями нейронов – два скрытых и один выходной.

### **КОЛЛЕКТИВНЫЙ ВАРИАНТ НЕЙРОСЕТЕВОГО АЛГОРИТМА РАСПОЗНАВАНИЯ**

Задача распознавания речевых команд характеризуется высокой вычислительной сложностью и большим объемом данных для обучения (например, классический речевой корпус для обучения распознаванию англоязычной речи TIMIT [5] содержит более 500 Мб речевого материала).

Для повышения точности дикторонезависимого распознавания речевых команд авторами предложено объединить отдельные нейросетевые распознавания в единую систему по принципам коллективного распознавания. Существует ряд методов формирования коллективного распознавания [6], среди которых для решения поставленной задачи распознавания речевых команд наиболее целесообразным является использование формирования коллектива нейросетевого распознавания на основе метода bagging (обучение распознавания бутстрап-подмножеств базового учебного множества) [7], потому что:

- обучение отдельных нейронных сетей осуществляется независимо, что позволяет ускорить формирование коллектива за счет распараллеливания процессов обучения отдельных нейронных сетей;

- учебные бутстрап-подмножества могут быть меньше базового учебного множества, что позволяет ускорить процесс обучения каждой нейронной сети.

Структурная схема данного алгоритма на примере многослойных перцептронов приведена на рисунке 2.

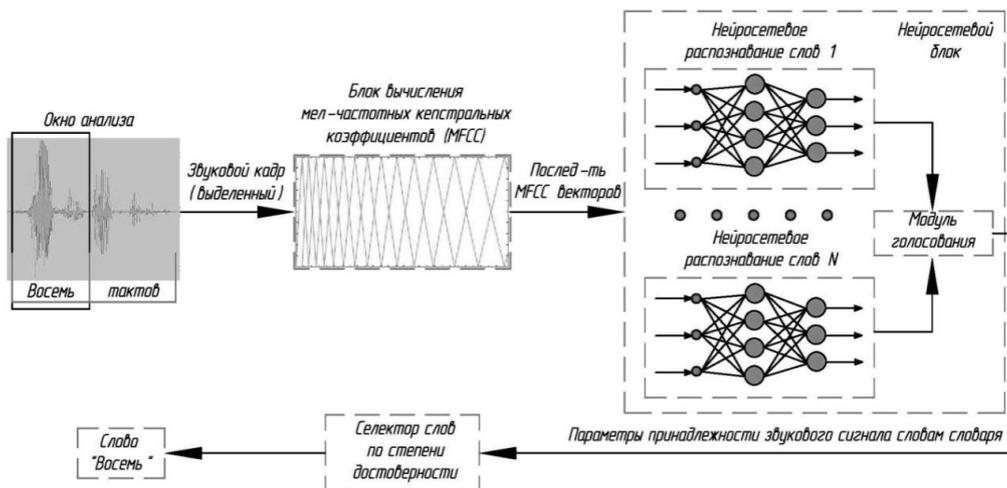


Рисунок 2 – Структурная схема коллективного нейросетевого алгоритма распознавания речевых команд

### BAGGING-КОЛЛЕКТИВ МНОГОСЛОЙНЫХ ПЕРСЕПТРОНОВ НА ОСНОВЕ ОБУЧЕНИЯ SCG

Данный алгоритм приведен на рисунке 2. Моделирование данных нейронных сетей осуществляется с помощью функции `newrg` – пакета расширения MatLab – Neural Network Toolbox [8]. Исследуемой сетью является многослойный перцептрон Розенблата. В качестве алгоритма обучения сетей выбран алгоритм масштабируемых сопряженных градиентов (Scaled Conjugate Gradient Backpropagation, SCG) [9], т.к. он стабильный и очень быстрый. В стандартной форме алгоритма сопряженных градиентов требуется использование линейного поиска, что из-за его характера «проб и ошибок» может занять много времени. В модифицированной (данной) версии алгоритма сопряженных градиентов линейный поиск отсутствует. Линейный поиск заменен одномерной формой Левенберга-Маркардта [10]. Основанием для использования именно этого метода было желание обойти сложности, вызываемые неположительной определенностью матрицы Гессиана. Формула обновления коэффициентов данного метода:

$$w_{k+1} = w_k + \alpha_k p_k,$$

$$\alpha_k = \frac{\mu_k}{\delta_k}, \quad \mu_k = -p_k^T E'_k, \quad \delta_k = p_k^T s_k,$$

$$s_k = E''(w_k) p_k = \frac{E'(w_k + \sigma_k p_k) - E'(w_k)}{\sigma_k} + \lambda_k p_k$$

где  $k = 1, 2, \dots, N$ ;

$\alpha_k$  – размер шага;

$p_k$  – сопряженный вектор;

$E_k$  – вектор ошибки;

$\delta_k$  – матрица Гессиана;

$\sigma_k = \frac{\sigma}{|p_k|}$ ;  $\lambda_k$  – параметр масштабирования матрицы Гессиана.

Если матрица Гессiana  $\delta_k \leq 0$  является отрицательно определенной или равна нулю, тогда нужно увеличить значение параметра масштабирования  $\lambda_k$  до того момента, пока матрица Гессiana не станет положительно определенной.

Далее с выходным сигналом нейронной сети осуществляется процедура SOFTMAX-нормализации [11]. Затем векторы распределения вероятности распознавания от  $X$  нейронных сетей ( $X$  – количество нейронных сетей в bagging-коллективе) попадают на модуль голосования, на котором вычисляется средний вектор распределения вероятности распознавания.

Окончательное решение о распознавании принимается в селекторе слов по уровню достоверности (рис. 2) с учетом апостериорной информации, т.е. распределения вероятности распознавания слов в речевых кадрах (данные вероятности вычисляются нейронными сетями).

### ЗАШУМЛЕНИЕ И ПРЕДОБРАБОТКА РЕЧЕВЫХ КОМАНД

В исследуемый алгоритм bagging-коллектива многослойных перцептронов на основе обучения SCG встраивается регулируемый блок зашумления и блок предобработки (шумоподавления) (рис. 3). Блок зашумления имитирует искажение речевого сигнала различными часто встречающимися шумами (шум ветра, шелест листьев, стук дождя, шум двигателя и т.д.). Зашумление осуществляется с помощью аддитивного белого Гауссова шума. В качестве шумоподавления предполагается исследовать 3 алгоритма: алгоритм, использующий критерий статистического детектирования на основе апостериорного отношения сигнал/шум (Posteriori Signal-to-Noise Ratio, PostSNR) [12]; алгоритм, использующий критерий статистического детектирования на основе априорного отношения сигнал/шум, для оценки которого используется алгоритм TSNR (Two-Step Noise Reduction) [12, 13]; алгоритм шумоподавления Скалара на основе винеровской фильтрации [14].

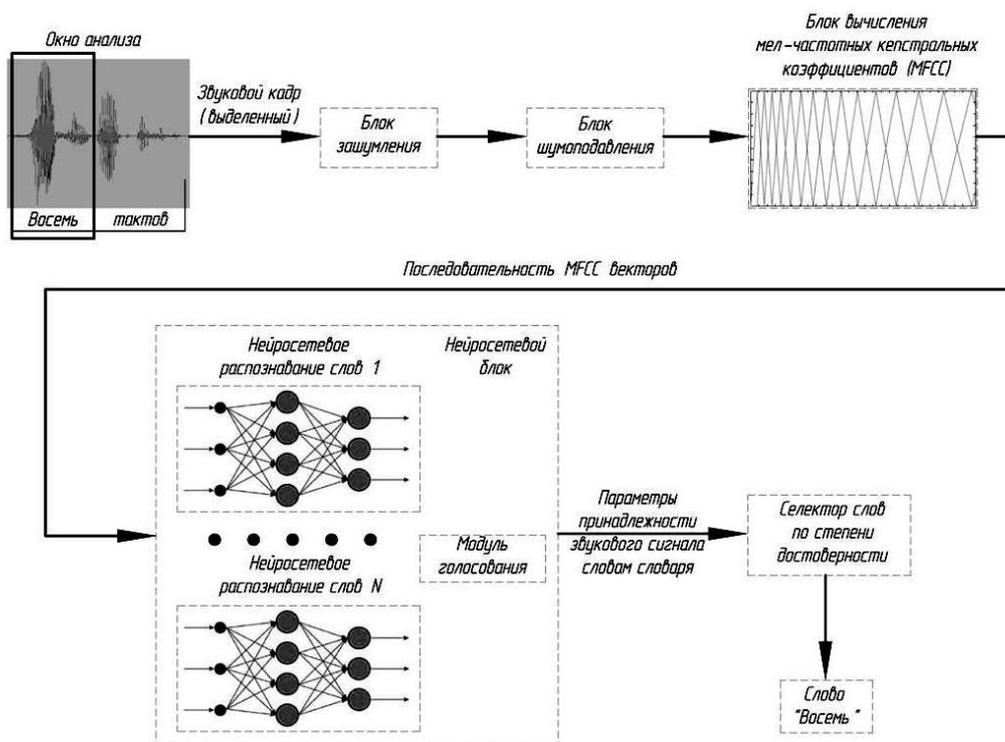


Рисунок 3 – Структурная схема коллективного нейросетевого алгоритма распознавания речевых команд с блоками предобработки

## РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

В качестве материала для данных экспериментов использовался собственный речевой корпус на основе собственных записей [6, 15], содержащий около двух с половиной часов звукозаписей различных речевых команд (на русском языке), которые были записаны двадцатью дикторами. Речевой корпус разбит разработчиками на два непересекающихся множества: учебное и тестовое. В качестве обучающих дикторов взяты люди разного пола (70% мужчин – 7 человек, 30% женщин – 3 человека), разного возраста (17-38 лет) и разного эмоционального состояния. В качестве тестирующих дикторов взяты люди разного пола (80% мужчин – 8 человек, 20% женщин – 2 человека), разного возраста (18-35 лет) и разного эмоционального состояния. Обучение всех алгоритмов распознавания проводилось, соответственно, на учебном подмножестве (10 дикторов), а оценка точности распознавания – на тестовом подмножестве (другие 10 дикторов). Запись команд производилась на микрофон ВВК dm-150 в условиях «повседневного» белого шума. В качестве команд были взяты произношения цифр от 0 до 9, которые каждый обучающий диктор произнес по 50 раз и каждый тестирующий диктор также произнес по 50 раз. Далее из имеющегося речевого корпуса было получено 8 речевых корпусов путем различного зашумления белым Гауссовым шумом в отношении сигнал/шум (ОСШ): -15, -10, -5, 0, 5, 10, 15, 20 дБ. В дальнейшем из каждого речевого корпуса было получено еще 3 речевых корпуса, очищенных тремя алгоритмами шумоподавления (PostSNR, TSNR, алгоритм Скалара) и 1 речевой корпус, не очищенный от шумов. Итого для исследования было получено 32 речевых корпуса.

В ходе серии экспериментов (табл. 1) на алгоритме bagging-коллектива из 10 многослойных перцептронов на основе обучения SCG в условиях шумов (рис. 3) было произведено сравнение различных алгоритмов шумоподавления. Результаты у трех исследуемых алгоритмов (PostSNR, TSNR, алгоритм Скалара) оказались примерно одинаковыми. При количественной оценке шумоподавления (табл. 1) данных алгоритмов средняя вероятность распознавания речевых команд на интервале от -15 дБ до 20 дБ оказалась лучшей у алгоритма Скалара – 80,4%.

Таблица 1 – Сравнение эффективности шумоподавления в задаче распознавания речевых команд

ОСШ, дБ	Средняя вероятность распознавания речевых команд, %			
	Алгоритмы шумоподавления			
	Без шумоподавления	PostSNR	TSNR	Алгоритм Скалара
- 15	40,1	55,0	55,3	54,5
- 10	42,0	64,7	65,0	62,1
-5	49,3	71,1	68,5	72,5
0	50,3	81,0	75,5	80,3
5	56,5	84,0	87,1	86,0
10	64,0	92,7	90,1	95,1
15	68,0	93,0	92,1	95,3
20	81,0	97,0	97,3	97,7
[-15,20]	56,3	79,8	78,9	80,4
[5,20]	67,3	91,6	91,7	93,5

На практике наиболее часто встречается зашумление речевого сигнала от 5 дБ до 20 дБ (табл. 1) [1]. При данных показателях зашумления использование исследуемых

алгоритмов шумоподавления дает высокие показатели вероятности распознавания речевых команд.

### **ВЫВОДЫ**

В работе рассматривается проблема дикторонезависимого распознавания речевых команд в условиях шумов, которая возникает при создании систем автоматического распознавания речевых команд. Для решения данной проблемы предложен алгоритм, основанный на использовании bagging-коллектива нейронных сетей на основе обучения SCG с различными блоками шумоподавления. На материале собственного речевого корпуса в результате экспериментов в условиях зашумления речевого сигнала белым Гауссовым шумом от -15 до 20 дБ показано небольшое преимущество алгоритма Скалара. При зашумлении от 5 до 20 дБ все исследуемые алгоритмы шумоподавления дают высокую эффективность в распознавании речевых команд, лучшим оказывается алгоритм Скалара – 93,5% вероятности распознавания.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 15-08-99639-а).*

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Новоселов С.А. и др. Подавление шума в речевых сигналах на основе метода нелокального усреднения / С.А. Новоселов, А.И. Топников, А.И. Савватин, А.Л. Приоров // Цифровая обработка сигналов, 2011. – № 4. – С. 23-28.
2. Gibak K., Loizou Phillips C. Why do Speech-enhancement Algorithms not Improve Speech Intelligibility? // Processing of ICASSP-2010, 2010. – Vol. 1. – P. 397-400.
3. Kotomin A.V. Voice Commands Recognition Using Convolutional Neural Networks // Proceedings of Junior Research and Development Conference of Ailamazyan Pereslavl University. – Pereslavl, 2012. – P. 1-10.
4. Pinkus, A. Approximation Theory of the MLP-model in Neural Networks // Acta Numerica, 1999. – Vol. 8. – P. 143-195.
5. Xuedong H., Acero A., Hsiao-Wuen Hon. Spoken Language Processing: a Guide to Theory, Algorithm and System Development. – New-Jersey: Prentice-Hall PTR Upper Saddle River, 2001. – P. 19-68.
6. Сагациян М.В., Куликов А.В., Тупицин Г.С. Разработка и исследование нейросетевого алгоритма дикторонезависимого распознавания речевых команд // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия «Радиотехнические и инфокоммуникационные системы», 2014. – № 1 (20). – С. 62-68.
7. Breiman L. Bagging Predictors // Machine Learning, 1996. – Vol. 24(2). – P. 123-140.
8. Список функций Neural Network Toolbox: функции создания новой сети [Электронный ресурс]. – URL: <http://matlab.exponenta.ru/neuralnetwork/book2/11/newff.php> (дата обращения: 08.01.2013).
9. Müller M.F. A Scaled Conjugate Gradient Algorithm for Fast Supervised Learning // Neural Networks, 1993. – Vol. 1. – P. 525-534.
10. Wilamowski B.M., Yu H. Improved Computation for Levenberg-Marquardt Training // Neural Networks, IEEE Transactions on Neural Networks, 2010. – Vol. 21. – № 6. – P. 930-937.
11. Vimala C., Radha Dr.V. A Review on Speech Recognition Challenges and Approaches // World of Computer Science and Information Technology Journal (WCSIT), 2012. – Vol. 2(1). – P. 1-7.
12. Plapous C., Marro C., Scalart P. Improved Signal-to-noise Ratio Estimation for Speech Enhancement // IEEE Transactions on Audio, Speech and Language Processing, 2006. – Vol. 14(6). – P. 2098-2108.
13. Веселов И.А. и др. Использование априорного отношения сигнал/шум для построения бинарных масок в задаче подавления шума в речевых сигналах / И.А. Веселов, А.В. Куликов, Я.М. Скопинцев, Г.С. Тупицин // Доклад 15-ой международной конференции

- «Цифровая обработка сигналов и ее применение», 2013. – Т. 1. – С. 246-249.
14. Scalart P., Filho J.V. Speech Enhancement Based on a Priori Signal to Noise Estimation // IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP-96), 1996. – Vol. 2. – P. 629-632.
  15. Сагациян М.В. Метод обучения и тестирования нейронных сетей для выполнения задачи дикторонезависимого распознавания речевых команд // Доклад 66-й Всероссийской научно-технической конференции студентов, магистрантов и аспирантов с международным участием. – Ярославль: Издательство ЯГТУ, 2013. – 119-121 с.

**Сагациян Максим Владимирович**

Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова, г. Ярославль  
Аспирант кафедры динамики электронных систем  
Тел.: 8 (4852) 79-77-75, 8 920 105 80 42  
E-mail: smw.pantheon@bk.ru

**Тулицин Геннадий Сергеевич**

Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова, г. Ярославль  
Аспирант кафедры динамики электронных систем.  
Тел.: 8 (4852) 79-77-75  
E-mail: genichyar@genichyar.com

**Кравцов Сергей Андреевич**

Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова, г. Ярославль  
Аспирант кафедры динамики электронных систем  
Тел: 8 (4852) 79-77-75  
E-mail: sk860@outlook.com

**Приоров Андрей Леонидович**

Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова, г. Ярославль  
Доктор технических наук, доцент кафедры динамики электронных систем.  
Тел.: 8 (4852) 79-77-75  
E-mail: andcat@yandex.ru

---

M.V. SAGACIYA<sup>n</sup> (*Post-graduate Student of the Department of Dynamics of Electronic Systems*)

G.S. TUPICY<sup>n</sup> (*Post-graduate Student of the Department of Dynamics of Electronic Systems*)

S.A. KRAVCOV (*Post-graduate Student of the Department of Dynamics of Electronic Systems*)

A.L. PRIOROV (*Doctor of Engineering Sciences,  
Associate Professor of the Department of Dynamics of Electronic Systems*)  
*Yaroslavl State University named after P.G. Demidov, Yaroslavl*

**IMPROVING THE EFFICIENCY OF COLLECTIVE NEURAL NETWORK ALGORITHM  
IN THE PROBLEM OF SPEAKER-INDEPENDENT VOICE RECOGNITION  
IN THE CONDITION OF NOISES**

*The problem of robust speaker-independent voice commands recognition has been described in the article. A solution of this problem using different neural networks based on Scaled Conjugate Gradient (SCG) training algorithm and noise reduction algorithms has been proposed. The advantage of using noise reduction algorithms in collective multilayer perceptron neural network algorithm of speech recognition based on SCG has been shown experimentally.*

**Keywords:** *speaker-independent Russian voice commands recognition; neural network algorithm; bagging, Levenberg–Marquardt algorithm; scaled conjugate gradient method; noise reduction.*

**BIBLIOGRAPHY (TRANSLITERATED)**

1. Novoselov S.A. i dr. Podavlenie shuma v rechevy'x signalax na osnove metoda nelokal'nogo usredneniya / S.A. Novoselov, A.I. Topnikov, A.I. Savvatina, A.L. Priorov // Cifrovaya obrabotka signalov, 2011. – № 4. – S. 23-28.
2. Gibak K., Loizou Phillips C. Why do Speech-enhancement Algorithms not Improve Speech Intelligibility? // Processing of ICASSP-2010, 2010. – Vol. 1. – P. 397-400.
3. Kotomin A.V. Voice Commands Recognition Using Convolutional Neural Networks // Proceedings of Junior Research and Development Conference of Ailamazyan Pereslavl University. – Pereslavl, 2012. – P. 1-10.
4. Pinkus, A. Approximation Theory of the MLP-model in Neural Networks // Acta Numerica, 1999. – Vol. 8. – P. 143-195.
5. Xuedong H., Acero A., Hsiao-Wuen Hon. Spoken Language Processing: a Guide to Theory, Algorithm and System Development. – New-Jersey: Prentice-Hall PTR Upper Saddle River, 2001. – P. 19-68.
6. Sagaciyan M.V., Kulikov A.V., Tupicin G.S. Razrabotka i issledovanie nejrosetevogo algoritma diktorenezavisimogo raspoznavaniya rechevy'x komand // Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Seriya «Radiotekhnicheskie i infokommunikacionny'e sistemy», 2014. – № 1 (20). – S. 62-68.
7. Breiman L. Bagging Predictors // Machine Learning, 1996. – Vol. 24(2). – P. 123-140.
8. Spisok funkciy Neural Network Toolbox: funkcii sozdaniya novoj seti [E'lektronny'j resurs]. – URL: <http://matlab.exponenta.ru/neuralnetwork/book2/11/newff.php> (data obrashheniya: 08.01.2013).
9. Müller M.F. A Scaled Conjugate Gradient Algorithm for Fast Supervised Learning // Neural Networks, 1993. – Vol. 1. – P. 525-534.
10. Wilamowski B.M., Yu H. Improved Computation for Levenberg-Marquardt Training // Neural Networks, IEEE Transactions on Neural Networks, 2010. – Vol. 21. – № 6. – P. 930-937.
11. Vimala C., Radha Dr.V. A Review on Speech Recognition Challenges and Approaches // World of Computer Science and Information Technology Journal (WCSIT), 2012. – Vol. 2(1). – P. 1-7.
12. Plapous C., Marro C., Scalart P. Improved Signal-to-noise Ratio Estimation for Speech Enhancement // IEEE Transactions on Audio, Speech and Language Processing, 2006. – Vol. 14(6). – P. 2098-2108.
13. Veselov I.A. i dr. Ispol'zovanie apriornogo otnosheniya signal/shum dlya postroeniya binarny'x masok v zadache podavleniya shuma v rechevy'x signalax / I.A. Veselov, A.V. Kulikov, Ya.M. Skopincev, G.S. Tupicin // Doklad 15-oj mezhdunarodnoj konferencii «Cifrovaya obrabotka signalov i ee primenenie», 2013. – T. 1. – S. 246-249.
14. Scalart P., Filho J.V. Speech Enhancement Based on a Priori Signal to Noise Estimation // IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP-96), 1996. – Vol. 2. – P. 629-632.
15. Sagaciyan M.V. Metod obucheniya i testirovaniya nejronny'x setej dlya vy'polneniya zadachi diktorenezavisimogo raspoznavaniya rechevy'x komand // Doklad 66-j Vserossijskoj nauchno-tekhnicheskoy konferencii studentov, magistrantov i aspirantov s mezhdunarodny'm uchastiem. – Yaroslavl': Izdatel'stvo YaGTU, 2013. – 119-121 s.

## МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАЗМЕЩЕНИЯ ФАЙЛОВ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ БАЗ ДАННЫХ АСУ ГОРОДСКИХ СЕТЕЙ ГАЗОСНАБЖЕНИЯ НА ОСНОВЕ ОБОБЩЕННОГО КРИТЕРИЯ

*В статье формулируются способ и приемы оценки эффективности размещения файлов распределенных баз данных, планируемых к применению в АСУ городских сетей газоснабжения. Предложены показатели эффективности, последовательность расчета их значений, что в совокупности формирует методику оценки эффективности.*

**Ключевые слова:** *распределенная база данных; оценка эффективности; показатели эффективности; обобщенный критерий.*

### ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время, чтобы оставаться конкурентоспособными, производители во всех отраслях промышленности стремятся повысить уровень контроля над своими производственными процессами. Для этого применяют различное программное обеспечение. Например, в АСУ городских сетей газоснабжения (ГСГ), которое позволяет осуществлять визуализацию всех хранилищ в режиме реального времени.

Современные технологии дают возможность изменять настройки параметров технологических процессов с целью достижения оптимального состояния. Оптимизация управления ГСГ в реальном времени невозможна без анализа предыдущих событий и статистики производственных процессов, которые позволяют персоналу четко и быстро определять, что происходит в хранилищах. Как правило, для осуществления анализа данных необходимо несколько циклов работы ГСГ.

Количество потребляемого газа имеет сезонный характер; в зависимости от сезона происходит перераспределение газовых потоков, что, в свою очередь, ведет к изменению параметров хранилищ газа и изменению информационных потоков, проходящих по каналам передачи в конкретной среде АСУ ГСГ.

Эффект от внедрения информационных систем в практику автоматизированного управления промышленными хранилищами газа определяется возможностью решения задач, связанных с аналитической обработкой данных. Этот класс задач базируется на необходимости оперативной аналитической обработки и анализа данных. В настоящее время широко используются технологии анализа, в основе которых стоят распределенные базы данных (РБД).

Используемые в настоящее время РБД не способны обеспечить требования по оперативности и надежности выполнения пользовательских запросов в распределенных системах в силу своего централизованного построения. В тоже время ориентация на аналитическую обработку накапливаемых данных определяет необходимость их использования в практике автоматизированного управления ГСГ. Выход из сложившейся проблемной ситуации видится на пути организации распределенных систем управления распределенными базами данных (СУБД) автоматизированных систем управления промышленными хранилищами газа (АСУ ГСГ).

Эффективность – одно из базовых свойств большинства искусственных систем, характеризующее результативность их применения. Цель оценки эффективности размещения файлов распределенных баз данных (РБД) состоит в создании научно-обоснованных рекомендаций, подтвержденных количественными характеристиками, для выработки организационно-технических решений на построение базы данных и управление ее структурой при функционировании.

Проведение оценки эффективности размещения возможно на основе разных подходов.

### МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ

В настоящее время для наиболее рациональной организации работы распределенных систем необходимо оценивать информационные и временные затраты на ее поддержание в работоспособном состоянии. Таким образом, для систем распределенной обработки информации возможно определить несколько различных критериев, каждый из которых служит для определения степени рациональности размещения информации [1]:

1. Средний объем пересылаемых данных по каналам передачи данных при выполнении запроса.

2. Общая стоимость трафика, порожденного функционированием распределенной вычислительной системы в течение единицы времени.

3. Общее время, необходимое для обслуживания запросов, поступающих в вычислительную систему за единицу времени.

Поэтому общий объем данных, нуждающихся в пересылке по каналам связи в течение единицы времени, определяется формулой:

$$S = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \lambda_{ij} (\alpha_{ij} + \beta_{ij}) (1 - x_{ij}); \quad (1.1)$$

суммарная интенсивность запросов в распределенной системе определяется формулой:

$$\lambda = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \lambda_{ij}. \quad (1.2)$$

Исходя из (1.1) и (1.2), средний объем данных, необходимых для пересылки по каналам передачи данных при выполнении запроса в системе, равен:

$$V = \frac{1}{\lambda} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \lambda_{ij} (\alpha_{ij} + \beta_{ij}) (1 - x_{ij}), \quad (1.3)$$

однако существуют ограничения, которые необходимо учитывать [2]:

1. Каждый файл распределенной системы может находиться только в одном из компонентов сети, следовательно:

$$\sum_{j=1}^n X_{ij} = 1, \text{ где } i = \overline{1, m}. \quad (1.4)$$

2. Объем памяти для размещения файлов в компоненте ограничен значением  $b_j$

$$\sum_{i=1}^m L_i x_{ij} \leq b_j. \quad (1.5)$$

Таким образом, необходимо определить значения переменных  $x_{ij}$  (элементы матрицы распределения файлов РБД в среде АСУ ГСГ), которые удовлетворяют условиям (1.4) и (1.5) и обращают в минимум целевую функцию (1.3).

Пусть  $r_{sj}$  – стоимость передачи единицы информации из компонента  $K_s$  в компонент  $K_j$ , где  $r_{ss}=0$ ,  $S = \overline{1, n}$ .

Стоимость пересылки этих данных равна

$$C = \sum_{s=1}^n \lambda_{ij} (\alpha_{ij} + \beta_{ij}) r_{sj} (1 - x_{ij}) x_{is}, \quad (1.6)$$

а общая стоимость данных, которые следует переслать по каналам передачи данных между компонентами вследствие функционирования распределенной системы в течение единицы времени, определяется формулой:

$$C = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{s=1}^n \lambda_{ij} (\alpha_{ij} + \beta_{ij}) r_{sj} (1 - x_{ij}) x_{is}. \quad (1.7)$$

Таким образом, необходимо определить значения переменных  $x_{ij}$  (элементы матрицы распределения файлов РБД в среде АСУ ГСГ), которые удовлетворяют тем же условиям ограничения (1.4) и (1.5) и обращают в минимум целевую функцию (1.7).

Общее время обслуживания запросов можно определить как [3]

$$T_{ij} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{s=1}^n \lambda_{ij} (t_{ijs} + T_{ijs}^{(1)} + T_{ijs}^{(2)}) x_{is}. \quad (1.8)$$

Однако существуют ограничения, которые необходимо учитывать. Каждый файл распределенной системы может находиться только в одном из компонентов АСУ ГСГ, следовательно

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = 1, \text{ где } i = \overline{1, m}. \quad (1.9)$$

Общее время обслуживания запросов в узле  $K_s$  не должно превышать время, выделенное для обработки всех запросов в компоненте  $K_s$ , поступивших в течение единицы времени:

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \lambda_{ij} t_{ijs} x_{is} \leq t_s, \text{ где } S = \overline{1, n}. \quad (1.10)$$

Таким образом, необходимо определить значения переменных  $x_{ij}$  (элементы матрицы распределения файлов РБД), которые удовлетворяют условиям ограничения (1.9) и (1.10) и обращают в минимум целевую функцию (1.8). Для этого используется обобщенный критерий эффективности, представляющий собой взвешенную сумму частных критериев, в которую каждый из них входит с некоторым весовым коэффициентом:  $W = k_1 V + k_2 C + k_3 T$ . С помощью весовых коэффициентов можно задавать «значимость» критерия, т.е. для наиболее важного критерия можно задавать положительное значение весового коэффициента и наоборот – для критериев, влияние которых необходимо уменьшить, значения весовых коэффициентов берутся отрицательными.

Значения трех используемых в работе критериев рационального размещения файлов лежат в различных числовых интервалах и имеют различные единицы измерения, что приводит к необходимости использования для обобщенного критерия эффективности величины безразмерные – «разы», что позволяет решать описанные ранее проблемы. Таким образом, обобщенный критерий эффективности для трех используемых критериев принимает вид [4]:

$$W = \frac{V}{V_0} + \frac{C}{C_0} + \frac{T}{T_0}, \quad (1.11)$$

где  $V, C, T$  – значения соответствующих критериев для конкретных размещений файлов в среде АСУ ГСГ;  $V_0, C_0, T_0$  – значения соответствующих критериев для оптимальных (квазиоптимальных) размещений файлов по компонентам распределенной системы (при тех же исходных данных).

В этом случае мерой оптимальности размещения файлов РБД в среде АСУ ГСГ будет  $\min$  значения обобщенного критерия эффективности, а поскольку самое оптимальное распределение достигается при значении  $W=3$  (значение каждого из слагаемых равно 1), то чем ближе будет полученное значение обобщенного критерия эффективности к 3, тем более оптимально полученное размещение. Для каждого из множителей можно также задавать весовые коэффициенты, если необходимо увеличить или уменьшить влияние конкретного критерия.

В качестве оптимальных значений соответствующих критериев ( $V_0, C_0, T_0$ ) будут использоваться значения целевых функций, полученные в результате однокритериальных размещений.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представленные модели и описанная процедура в совокупности составляют методику оценки эффективности размещения файлов в РБД ГСГ. Методика может быть использована в интересах заказчика, разработчиков и конечных пользователей. Применение методики заказчиком позволяет оценить соответствие ожидаемых (реальных) показателей своевременности решения функциональных задач требованиям технического задания.

Разработчики АСУ ГСГ могут использовать методику для сравнения альтернативных вариантов построения РБД при увязке последних с техническим и программным обеспечением, а также для выбора ограниченного числа вариантов, подлежащих детальной

проработке. Появляется возможность с помощью методики выявлять так называемые слабые места в проектах РБД и определять направления их оптимизации.

Использование методики возможно на этапе эксплуатации АСУ ГСГ при проведении модернизации компьютерной сети и РБД по причине изменения информационных потребностей органов управления ГСГ и возникновения по этой причине новых информационных потоков.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Еременко В.Т., Тютякин А.В. Методологические аспекты выбора профилей сбора и обработки данных в системах неразрушающего контроля и диагностики технических объектов // Контроль. Диагностика, 2013. – № 1. – С. 24-31.
2. Еременко В.Т. Анализ моделей управления трафиком в сетях АСУП на основе технологии MPLS / В.Т. Еременко, С.В. Еременко, Д.В. Анисимов, С.А. Черепков, А.А. Лякишев // Информационные системы и технологии, 2013. – № 1. – С. 106-112.
3. Еременко В.Т. Подход к оценке качества предоставления информационных услуг в беспроводной сети передачи данных АСУТП газотранспортного предприятия в условиях воздействия помех и внепротокольных прерываний / В.Т. Еременко, Д.В. Анисимов, Д.А. Краснов, С.А. Воробьев // Информационные системы и технологии, 2013. – № 4. – С. 96-105.
4. Еременко, В.Т. Методологические аспекты синтеза оптимальной древовидной структуры в системах сбора и обработки информации / В.Т. Еременко, И.С. Полянский, И.И. Беседин // Вестник компьютерных и информационных технологий, 2013. – № 11. – С. 15-21.
5. Иванов А.Ю., Хорошенький А.Н. Общий подход к разработке методики динамического управления структурой распределенной базы данных. // Модели и методы исследования информационных сетей: сб. науч. тр. – Вып. 3. – СПб.: Тема, 1999. – С. 133-136.
6. Емельянова Н.З., Партыка Т.Л., Попов И.Ч. Основы построения автоматизированных информационных систем. – М.: ФОРУМ-ИНФА, 2005.
7. Волков П.И., Иванов А.Ю., Иванов Е.В. Построение критерия эффективности систем автоматизации управления. – СПб.: ВАС, 1989. – 74 с.
8. Ярошевич М.Е. Адаптивное управление размещением копий элементов распределенной базы данных. – Минск, 1989.

**Ягупов Владимир Александрович**

ФГБОУ ВПО «Госунiversитет – УНПК», г. Орел

Аспирант кафедры «Электроника, вычислительная техника и информационная безопасность»

Тел.: 8 919 200 0057

E-mail: yagupov\_vladimir@mail.ru

---

V. Ya. YaGUPOV (*Post-graduate of the Department «Electronics, Computers and Information Security»  
State University – ESPC, Orel*)

#### **METHOD OF ASSESSMENT OF EFFICIENCY FILE ALLOCATION OF DISTRIBUTED DATABASES ACS URBAN GAS SUPPLY NETWORKS BASED ON GENERALIZED CRITERIA**

*Approach to an assessment of efficiency of placement of files of the distributed databases planned to application in an automated control system for city gas network is presented. Efficiency indicators are offered, model and procedural components are developed for calculation of their values that in total forms an efficiency assessment technique.*

**Keywords:** *the distributed database; efficiency assessment; efficiency indicators.*

#### **BIBLIOGRAPHY (TRANSLITERATED)**

1. Eremenko V.T., Tyutyakin A.V. Metodologicheskie aspekty' vy'bora profilej sbora i obrabotki danny'x v sistemax nerazrushayushhego kontrolya i diagnostiki texnicheskix ob''ektov // Kontrol'. Diagnostika, 2013. – № 1. – S. 24-31.
2. Eremenko V.T. Analiz modelej upravleniya trafikom v setyax ASUP na osnove texnologii MPLS / V.T. Eremenko, S.V. Eremenko, D.V. Anisimov, S.A. Cherepkov, A.A. Lyakishev // Informacionny'e sistemy' i texnologii, 2013. – № 1. – S. 106-112.
3. Eremenko V.T. Podxod k ocenke kachestva predostavleniya informacionny'x uslug v besprovodnoj seti peredachi danny'x ASUTP gazotransportnogo predpriyatiya v usloviyax vozdejstviya pomex i vneprotokol'ny'x prery'vanij / V.T. Eremenko, D.V. Anisimov, D.A. Krasnov, S.A. Vorob'ev // Informacionny'e sistemy' i texnologii, 2013. – № 4. – S. 96-105.
4. Eremenko, V.T. Metodologicheskie aspekty sinteza optimal'noj drevovidnoj struktury' v sistemax sbora i obrabotki informacii / V.T. Eremenko, I.S. Polyanskij, I.I. Besedin // Vestnik komp'yuterny'x i informacionny'x texnologij, 2013. – № 11. – S. 15-21.
5. Ivanov A.Yu., Xoroshen'kij A.N. Obshhij podxod k razrabotke metodiki dinamicheskogo upravleniya strukturoj raspredelennoj bazy' danny'x. // Modeli i metody issledovaniya informacionny'x setej: sb. nauch. tr. – Vy'p. 3. – SPb.: Tema, 1999. – S. 133-136.
6. Emel'yanova N.Z., Party'ka T.L., Popov I.Ch. Osnovy' postroeniya avtomatizirovanny'x informacionny'x sistem. – M.: FORUM-INFA, 2005.
7. Volkov P.I., Ivanov A.Yu., Ivanov E.V. Postroenie kriteriya e'ffektivnosti sistem avtomatizacii upravleniya. – SPb.: VAS, 1989. – 74 s.
8. Yaroshevich M.E. Adaptivnoe upravlenie razmeshheniem kopij e'lementov raspredelennoj bazy' danny'x. – Minsk, 1989.

## ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ УПРАВЛЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫМИ РЕСУРСАМИ ПРЕДПРИЯТИЙ НА ОСНОВЕ АВТОНОМНЫХ СЦЕНАРИЕВ

*Рассматривается задача повышения эффективности управления информационными ресурсами распределенных информационных систем предприятий на основе технологии автономных сценариев. Разработана схема организации совместной работы множества автономных сценариев. Предложена структура и определены функции системы управления информационными ресурсами на основе автономных сценариев.*

**Ключевые слова:** автономные сценарии; распределенные информационные системы; управление информационными ресурсами.

### ВВЕДЕНИЕ

Одновременно с развитием корпоративных информационных систем (КИС) возрастают и требования к надежности и безопасности их функционирования, оперативности и качеству принимаемых решений, что требует новых подходов к управлению информационными ресурсами (УИР).

Ключевую роль в повышении эффективности функционирования информационных систем играют средства и способы автоматизации процессов УИР. Самыми значимыми разработками в этой области являются системы управления корпоративной информацией [1, 2], технологические решения для коллективной работы с документами (FrameWork и WorkFlow) [2] и автономные агенты [3], берущие на себя функции информационной поддержки принятия решений. Однако в большинстве своем предлагаемые ИТ-рынком программные средства решают лишь ограниченный круг задач информационной поддержки, оставляя без внимания немало специфических проблем, которые пользователям приходится решать вручную. Поэтому заинтересованные в автоматизации УИР предприятия обзаводятся значительным арсеналом различных приложений и систем, создавая новые проблемы в управлении информационными ресурсами.

Доступным и эффективным инструментом управления всем многообразием распределенных информационных ресурсов могут являться автономные сценарии [4], то есть программы, выполняющие по заданию пользователя определенную последовательность действий в фоновом режиме. Автономные сценарии обладают такими привлекательными для разработчиков свойствами, как автономность, адаптивность, независимость от программной платформы и др.

Так как любая система автоматизации управления базируется на определенных правилах разработки, то представляется разумным сформулировать ряд обобщенных рекомендаций и подходов, которые помогут в реализации систем управления информационными ресурсами на основе автономных сценариев (СУИР).

### ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Как правило, пользователь при работе с информационной системой имеет некоторый план действий, например, сначала скопировать выделенные файлы в папку, затем запустить антивирусную программу, потом открыть из оболочки СУБД файл базы данных и выполнить SQL-запрос. В зависимости от происходящих в системе событий и результатов выполнения

пользователем предыдущих действий алгоритмы выполняемых заданий могут изменяться. Например, перед копированием файлов понадобится освободить необходимое место на диске.

Для рассматриваемого класса задач, когда последовательность их решения определена и форматы данных на промежуточных этапах согласования совпадают, функции инициализации выполнения и координации потока заданий могут быть делегированы автономным сценариям [4, 5]. Сценарии целесообразно использовать для интеграции гетерогенных информационных структур и распределенных баз данных, управления потоками взаимосвязанных задач пользователя, защиты и автономного аудита информационных ресурсов распределенной вычислительной системы, мониторинга и управления сетевыми ресурсами распределенных вычислительных систем и др. [6].

Суть управления информационными ресурсами посредством автономных сценариев состоит в том, что пользователь может спроектировать, создать и разместить в информационном пространстве программные сценарии, которые выполняют специальные задачи управления информационными ресурсами в фоновом режиме. Программный сценарий в рассматриваемой технологии является промежуточным, связующим звеном между пользователем и информационным ресурсом. Он берет на себя функции решения поставленной перед пользователем задачи, выстраивая в результате анализа текущего состояния КИС конкретную последовательность действий. Действие может представлять собой активизацию программы, команду, SQL-оператор, передачу сообщения и т.п.

Рассмотрим частный случай, когда для выполнения конкретной задачи управления информационными ресурсами привлекается один программный модуль, тогда управление последовательностью задач автономными сценариями можно представить в виде схемы, изображенной на рисунке 1.

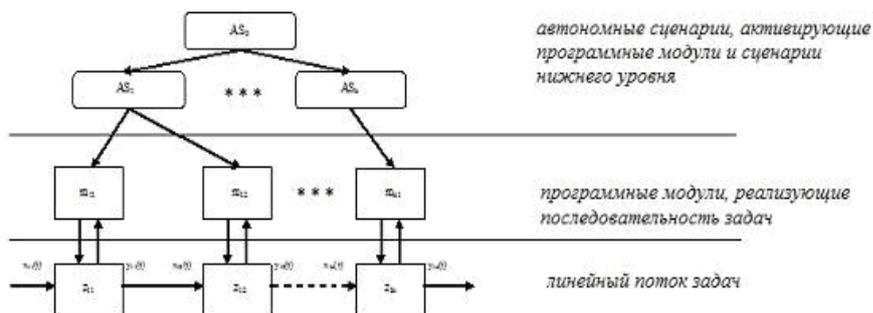


Рисунок 1 – Схема управления автономными сценариями последовательностью задач

Рассматривая сценарий как отдельный программный файл, который управляет последовательностью других программных приложений и запускается на выполнение сценарием более высокого уровня, можно строить достаточно сложные распределенные системы управления информационными ресурсами (СУИР) [6].

Одним из способов эффективного функционирования СУИР является рациональная организация совместной работы автономных сценариев. Для этого следует определить составляющие системы и способы их взаимодействия, а также функции сценариев, находящихся на разных уровнях управления. Необходимо обеспечить возможность системе постоянно развиваться и совершенствоваться, расширять круг решаемых ею задач, снабдить систему управления информационными ресурсами КИС соответствующим инструментарием. Решение рассматриваемых вопросов является целью данной статьи.

## ОРГАНИЗАЦИЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ СЦЕНАРИЕВ

В системе управления информационными ресурсами на основе автономных сценариев более предпочтительным является многоуровневое иерархическое построение связей между сценариями (рис. 2). Находящийся на высшем уровне иерархии корневой автономный сценарий (АС0) будет осуществлять централизованное управление и синхронизацию других сценариев верхних уровней. В большой распределенной системе целесообразно выполнение в каждом географическом пункте отдельного сценария, который управляет процессами информационной поддержки в «своей» части системы. Наличие нескольких сценариев одного уровня позволяет распределить между ними либо функции, либо сферы управления, обеспечивая лучшую масштабируемость системы управления [6].

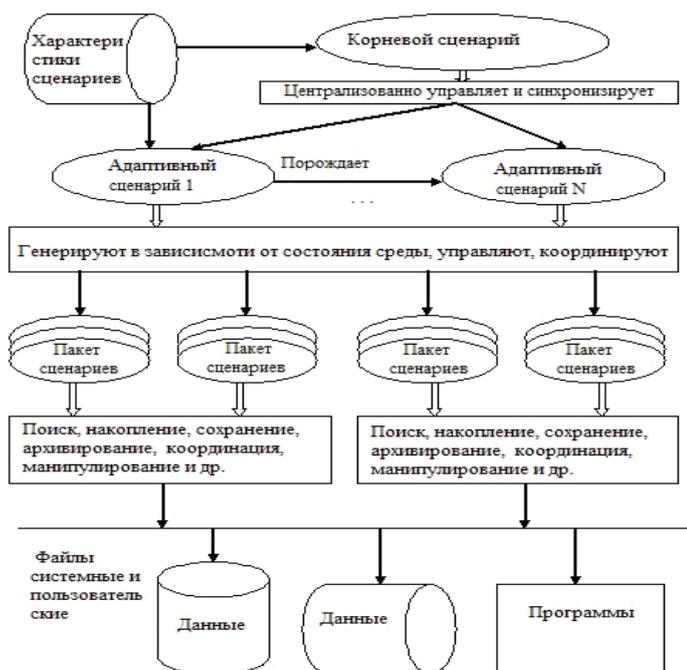


Рисунок 2 – Схема иерархии автономных сценариев для управления информационными ресурсами

Сценарии верхних уровней в большинстве своем являются более адаптивными и интеллектуальными. Основная их задача заключается в формировании такой последовательности сценариев, которая обеспечит достижение той или иной цели или комбинацию целей отдельных пользователей. Для этого должна существовать некоторая совокупность подконтрольных им сценариев, каждый из которых решает конкретную задачу управления информационными ресурсами при определенном состоянии системы. Наличие совокупности сценариев позволяет не только выполнять КИС свои повседневные задачи, но и предусмотреть разрешение в ней нерядовых ситуаций. Сценарий-родитель управляет всей совокупностью автономных сценариев, координирует порядок их выполнения, активируя наиболее соответствующий текущему моменту сценарий. В случае неопределенности, например, при возникновении непредусмотренных ситуаций или для выбора одного из равнозначных сценариев, прибегают к диалогу с пользователем. Выбор сценария производится на основании информации, получаемой как от различных устройств и приложений системы, так и от других сценариев. Поэтому для принятия решения сценариям верхних уровней необходимы описания задач управления системой и задействованных ими ресурсов, а также специфицирования условий и требований к выполнению задач, связей между ними и определения полномочий всех участников процесса управления. Вся

необходимая информация может храниться в специально созданных таблицах БД или в структурированном текстовом файле.

Сценарии нижних уровней, как правило, менее интеллектуальны. Они в соответствии с реакцией среды выполняют одно или последовательность действий, активируют соответствующие приложения или предоставляют пользователю средства управления процессом принятия решений. Однако и такие сценарии могут реализовывать более сложные алгоритмы, а также адаптироваться к состоянию управляемой информационной системы, осуществляя автоматический переход к другому варианту действий на смену текущему [5, 7]. Выбор нового варианта действий возможен как с помощью известных детерминированных, так и стохастических адаптивных стратегий [5, 7, 8]. Более подробная классификация автономных сценариев в соответствии с моделью поведения приведена в [5, 7].

Возможны разнообразные схемы организации сценариев в корпоративных системах предприятий: их можно запускать на одном локальном ПК/сервере или на нескольких удаленных ПК/серверах; последовательно или параллельно. Для передачи управления автономным сценариям, выполняющимся на разных ПК, серверах или в разных сегментах корпоративной сети можно использовать сигналы с различных устройств (ПК, контроллеров, мобильного телефона, датчика инфракрасного излучения и др.). Такой подход сокращает объемы информации, циркулирующей между уровнями СУ, и приводит к гораздо более эффективному и гибкому управлению.

### **СТРУКТУРА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫМИ РЕСУРСАМИ**

При последовательном внедрении в КИС большого количества автономных сценариев, автоматизирующих отдельные задачи управления информационными ресурсами, их сопровождение существенно усложняется и удорожается. Это в итоге может свести на нет эффект от автоматизации и потребует внедрения сценариев в рамках единой системы администрирования и сопровождения. Существование некоторого централизованного механизма управления сценариями позволит связать сценарии друг с другом, с поддерживаемыми ими информационными ресурсами, с выполняемыми процедурами управления, с происходящими в системе событиями и с пользователями [9].

Система также должна давать возможность беспрепятственно расширять и совершенствовать функции управления ресурсами за счет проектирования и разработки новых типов сценариев, обеспечивать их интеграцию и сопровождение в рамках информационно-вычислительного пространства предприятия (или группы предприятий). В зависимости от масштаба распределенной системы управления процессы конструирования, программной реализации и сопровождения автономных сценариев могут обеспечиваться как «вручную», так и специально созданным CASE-средством. Последний вариант более предпочтителен, так как позволяет снизить сложность создания программных сценариев, увеличить их эффективность, уменьшить затраты на разработку и максимально использовать потенциал технологии автономных сценариев. Поэтому в СУИР построим систему управления автономными сценариями (СУАС), которая будет выполнять функции проектирования автономных сценариев, генерирования их программного кода [9].

Обобщенная структурная схема системы управления информационными ресурсами предприятия на основе технологии автономных сценариев показана на рисунке 3.

В СУИР целесообразно включить инструменты для анализа и координации действий сценариев. Так, средство контроля и сбора статистики, встроенное в систему, даст возможность находить и устранять ошибки в поведении автономного сценария на этапе проектирования, а после его завершения – контролировать действия сценария. Адаптацию к потребностям конкретной компании или предметной области можно обеспечить с помощью

специального средства управления конфигурацией – набора инструментов и шаблонов для определения, описания и представления автономных сценариев. Использование репозитория обеспечит более эффективную организацию хранения и обработки проектной и необходимой для работы системы информации. Удобный интерфейс также способствует выполнению задач информационной поддержки, позволяя пользователю быть активным участником процесса принятия решений и оперативно взаимодействовать с автономными сценариями.

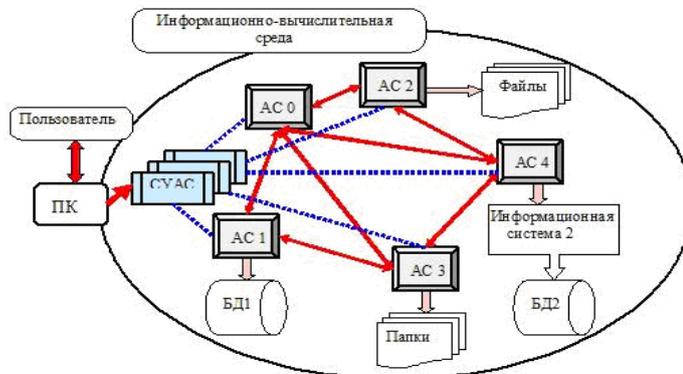


Рисунок 3 – Обобщенная схема структуры СУИР

## ВЫВОДЫ

Для автоматизации управления информационными ресурсами КИС и их интеграции могут использоваться автономные сценарии, которые легко адаптируются для решения задач любой степени сложности. Предложенные структурная модель СУИР и схема взаимодействия автономных сценариев позволят рационально использовать ресурсы корпоративной информационной системы, обеспечат эффективность и гибкость управления информационными ресурсами.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Елманова Н. Средства управления ИТ-инфраструктурой // КомпьютерПресс, 2007. – № 8.
2. Пахчанян Арам. Обзор систем электронного документооборота / DOCOnline. Независимый портал о СЭД [Электронный ресурс]. – URL: [http://www.doc-online.ru/a\\_id/14/](http://www.doc-online.ru/a_id/14/).
3. Vittikh V.A. Multi-agent systems for modeling of self-organization and cooperation processes [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.cs.brandeis.edu/dept/faculty/mataric>.
4. Козырь О.Ф. Управление информационными ресурсами корпоративных систем с использованием автономных сценариев // Материалы региональной научно-практической конференции «Молодые ученые – науке и производству» 17-18 апреля 2007 г. – СТИ, г. Старый Оскол. – Том 4. – 78 с.
5. Козырь О.Ф. Разработка модели автономного сценария для решения задач управления информационными ресурсами вычислительной системы // Журнал ВАК «Вестник Воронежского государственного технического университета», 2010. – Том 6. – № 4. – С. 28-33.
6. Козырь О.Ф. Об одном подходе к реализации распределенной системы управления информационными ресурсами предприятия на основе автономных сценариев // Сборник докладов Всероссийской научно-практической конференции преподавателей, сотрудников и аспирантов с международным участием. – Старый Оскол: СТИ НИТУ МИСиС, 2012. – Том 2. – С. 110-114.
7. Филатов В.А., Кривоносов В.А., Козырь О.Ф. Адаптивные автономные сценарии в задачах управления информационными ресурсами предприятия // Инженерный вестник Дона, 2013. – № 3 [Электронный ресурс]. – URL: <http://ivdon.ru/magazine/archive/n3y2013/1779>.
8. Назин А.В., Позняк А.С. Адаптивный выбор вариантов: рекуррентные алгоритмы. – М.:

Наука, 1986. – 288 с.

9. Козырь О.Ф. Разработка структуры системы управления информационными ресурсами на основе автономных сценариев // Современные проблемы горно-металлургического комплекса. Энергосбережение. Экология. – Новые технологии: материалы Десятой Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, 25-27 ноября 2013 г. – Старый Оскол: СТИ НИТУ МИСиС, 2013. – Том 2. – С. 107-112.

**Козырь Ольга Феликсовна**

Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) Национального исследовательского технологического университета «МИСиС», г. Старый Оскол

Старший преподаватель кафедры автоматизированных и информационных систем управления

Тел.: 8 910 321 72 66

E-mail: kozyr\_o@mail.ru

---

O.F. KOZYR' (Senior Teacher of the Department of Automation and Information Systems of Management)  
Technological Institute named A.A. Ugarov National University of Science and Technology «MISiS», Staryj Oskol

**IMPROVING THE EFFECTIVENESS OF INFORMATION RESOURCES CONTROL OF ENTERPRISES ON THE BASIS OF AUTONOMOUS SCRIPTS**

*We consider the problem of improving the efficiency of information resource control of distributed business information systems and technology-based Autonomous scripts. The scheme of organization of joint work of many Autonomous scripts was designed. The structure proposes and the function of the system of information resources control on the basis of Autonomous scenarios defines.*

**Keywords:** *autonomous scripts; distributed information systems; control of distributed information resources.*

**BIBLIOGRAPHY (TRANSLITERATED)**

1. Elmanova N. Sredstva upravleniya IT-infrastrukturuj // Komp'yuterPress, 2007. – № 8.
2. Paxchanyan Aram. Obzor sistem e'lektronnoho dokumentooborota / DOConline. Nezavisimyj portal o SE'D [E'lektronnyj resurs]. – URL: [http://www.doc-online.ru/a\\_id/14/](http://www.doc-online.ru/a_id/14/).
3. Vittikh V.A. Multi-agent systems for modeling of self-organization and cooperation processes [E'lektronnyj resurs]. – URL: <http://www.cs.brandeis.edu/dept/faculty/mataric>.
4. Kozyr' O.F. Upravlenie informacionny'mi resursami korporativny'x sistem s ispol'zovaniem avtonomny'x scenarijev // Materialy' regional'noj nauchno-prakticheskoj konferencii «Molody'e ucheny'e – nauke i proizvodstvu» 17-18 aprelya 2007 g. – STI, g. Staryj Oskol. – Tom 4. – 78 s.
5. Kozyr' O.F. Razrabotka modeli avtonomnogo scenariya dlya resheniya zadach upravleniya informacionny'mi resursami vy'chislitel'noj sistemy' // Zhurnal VAK «Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo texnicheskogo universiteta», 2010. – Tom 6. – № 4. – S. 28-33.
6. Kozyr' O.F. Ob odnom podxode k realizacii raspredelennoj sistemy' upravleniya informacionny'mi resursami predpriyatiya na osnove avtonomny'x scenarijev // Sbornik dokladov Vserossijskoj nauchno-prakticheskoj konferencii prepodavatelej, sotrudnikov i aspirantov s mezhdunarodny'm uchastiem. – Staryj Oskol: STI NITU MISiS, 2012. – Tom 2. – S. 110-114.
7. Filatov V.A., Krivonosov V.A., Kozyr' O.F. Adaptivny'e avtonomny'e scenarii v zadachax upravleniya informacionny'mi resursami predpriyatiya // Inzhenernyj vestnik Dona, 2013. – № 3 [E'lektronnyj resurs]. – URL: <http://ivdon.ru/magazine/archive/n3y2013/1779>.
8. Nazin A.V., Poznyak A.S. Adaptivny'j vy'bor variantov: rekurrentny'e algoritmy'. – M.: Nauka, 1986. – 288 s.
9. Kozyr' O.F. Razrabotka struktury' sistemy' upravleniya informacionny'mi resursami na osnove avtonomny'x scenarijev // Sovremennye problemy' gorno-metallurgicheskogo kompleksa. E'nergoberezenie. E'kologiya. – Novye tehnologii: materialy' Desyatoj Vserossijskoj nauchno-prakticheskoj konferencii s mezhdunarodny'm uchastiem, 25-27 noyabrya 2013 g. – Staryj Oskol: STI NITU MISiS, 2013. – Tom 2. – S. 107-112.

УДК 378.4

Т.П. КОСТЮКОВА, И.А. ЛЫСЕНКО, В.С. САУБАНОВ

## **МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ РИСКА ПОТЕРИ КОНТИНГЕНТА В УЧРЕЖДЕНИЯХ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ**

*В статье изложен подход по моделированию оценки риска потери контингента в учреждениях высшего профессионального образования; предложена математическая модель, основанная на использовании аппарата цепей Маркова, позволяющая количественно оценить риск потери контингента при осуществлении образовательной деятельности ВУЗа и на основе полученной информации осуществить своевременное управление рисками.*

**Ключевые слова:** образовательное учреждение; моделирование; аппарат цепей Маркова; оценка рисков; контингент обучающихся.

### **ВВЕДЕНИЕ**

Современные условия социально-экономического развития России характеризуются расширением экономики знаний, стремительным ростом информационных потоков и новых возможностей. В погоне за быстро меняющимся миром и его информационным полем внедрение информационных технологий происходит во всех областях социума, появляются новые профессии, совершенствуются технологии обучения. Все эти процессы оказывают существенное влияние на деятельность ВУЗов: постоянно меняется позиция государства по отношению к высшей школе, обостряется конкурентная борьба в сфере образовательных услуг, предъявляются повышенные требования к качеству подготовки специалистов, растут требования к квалификации преподавательского состава, одновременно повышается самостоятельность ВУЗов в определении направлений своего развития и методов их достижения. При этом неопределенность ряда факторов приводит к значительному повышению сложности задач управления деятельностью ВУЗа и является фактором риска при принятии управленческих решений. В этих условиях возрастает ответственность ВУЗа за принятие управленческих решений и тем самым актуализируются вопросы, связанные с управлением рисками в образовательном учреждении (ОУ). Проведенный анализ отечественной и зарубежной литературы по управлению рисками в деятельности организаций [1, 2] показал, что в основном рассматриваются вопросы управления рисками в банковской, страховой, инвестиционной, ИТ-сферах. Но недостаточно освещены вопросы теоретического использования методов управления рисками в организациях, функционирующих в условиях неустойчивой внешней среды, для которых адаптация к этим условиям осуществляется через четкое и своевременное управление внутренней средой, кроме этого, отсутствует единый теоретический подход к проблеме управления рисками в сфере образования, комплексный учет специфических особенностей влияния факторов риска как внешней, так и внутренней среды на деятельность ОУ, нет стандартизированных методик по практическому применению процесса управления рисками в деятельности ВУЗа [3].

Повышение эффективности образовательной деятельности ВУЗа в современных условиях возможно при реализации комплексного управления рисками в процессе функционирования ВУЗа на основе применения эффективных механизмов, научно-обоснованных направлений и практических рекомендаций. В связи с этим разработка механизмов и моделей процесса управления рисками ОУ является актуальной задачей.

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ОЦЕНКИ РИСКА «ПОТЕРЯ КОНТИНГЕНТА»**

Учреждение высшего профессионального образования представляет собой сложную многофункциональную организационную систему, основным бизнес-процессом которой является осуществление образовательной деятельности. В соответствии с классификацией рисков ОУ [4] выявлены и классифицированы факторы, способствующие возникновению рисков в деятельности ВУЗа и сформирован каталог факторов риска (табл. 1), в котором выделены основные внутренние и внешние риски ОУ, влияющие на качество подготовки выпускников ВУЗа. Риски ОУ представляют собой множество факторов, проявляющихся в виде комплексов рисков, отличающихся для каждого фактора в количественном, качественном отношении, а также различном подходе к определению значения риска в зависимости от содержания и характера учитываемых последствий (например, с точки зрения возможных отклонений от планируемого хода событий – набор абитуриентов менее запланированного количества, с позиции возможности наступления неблагоприятного события – открытие аналогичной специальности в других ВУЗах).

Для каждой группы рисков в соответствии с моделью управления различных видов рисков ОУ [5-7] вырабатываются свои пути решения, т.е. методы управления данными рисками. Функциональная модель процесса управления рисками ОУ, построенная с применением IDEF-технологии, представлена на рисунках 1, 2.

Таблица 1 – Риски образовательного учреждения

<b>Внешние риски</b>	<b>Внутренние риски</b>
Переход на новую систему финансирования	Обеспечение должного уровня качества образовательных услуг
Уменьшение бюджетной составляющей финансирования	Несоответствие предлагаемого набора образовательных услуг требованиям рынка
Экономический кризис	Недостаточный контингент студентов 1 курса
Конкуренция вузов	Высокая цена образовательных услуг
Сокращение контингента студентов	Неэффективность работы PR-служб
Изменение конъюнктуры рынка труда	Имидж ОУ на рынке
Недофинансирование или задержка финансирования из Федерального бюджета	<b>Потеря контингента в процессе обучения</b>
Сокращение объемов финансируемых хоздоговорных и госбюджетных НИР	Снижение качества образования в ОУ за счет развития сети филиалов
Переход учреждений бюджетной сферы на новую систему оплаты труда	Структура управления образовательным учреждением
Изменение психологического климата в обществе	Недостаточное развитие материальной базы
Изменение законодательства РФ в области образования (переход на уровневую систему образования)	Неэффективная кадровая политика (повышение квалификации преподавателей, программы обмена преподавателями, привлечение сторонних специалистов и др.)
Зависимость от мировых тенденций	Низкий уровень заработной платы и социального пакета сотрудников
Изменение формы собственности ВУЗа	Неэффективное использование внебюджетных средств

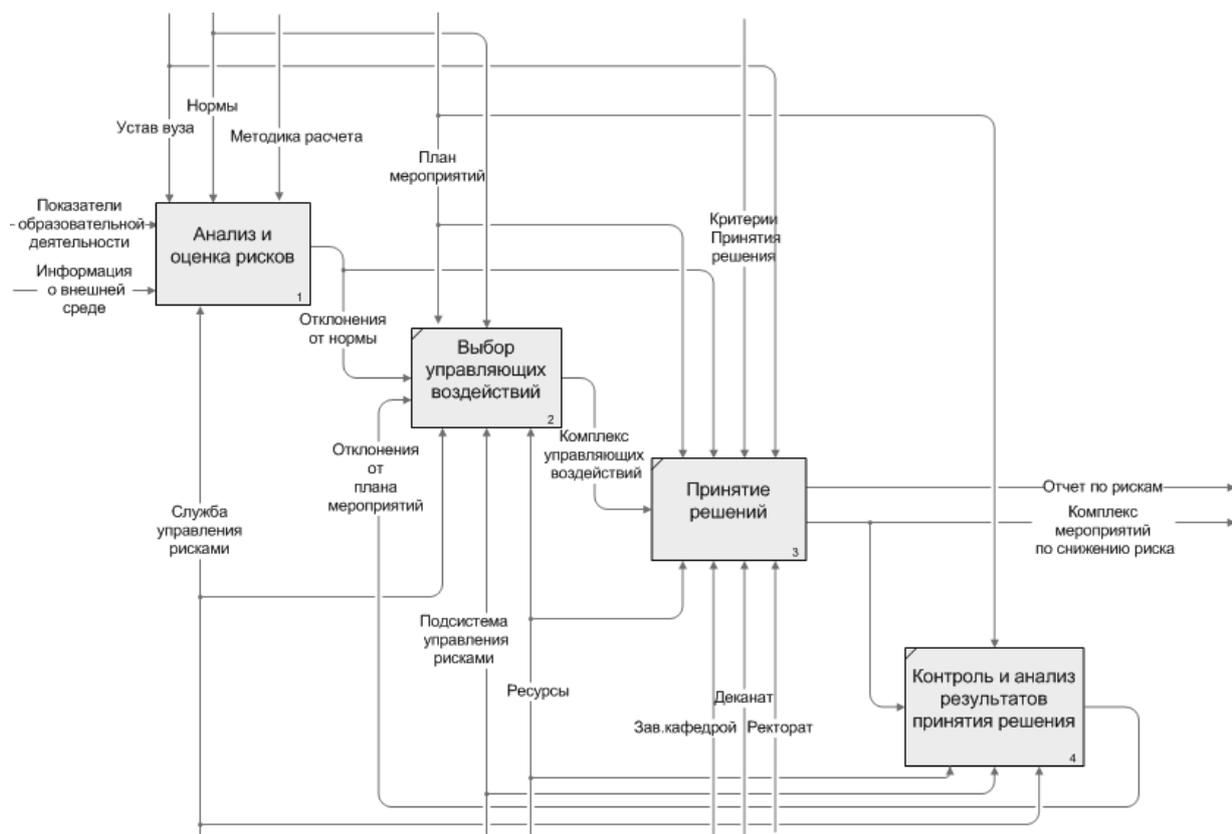


Рисунок 1 – Функциональная модель процесса управления рисками ОУ

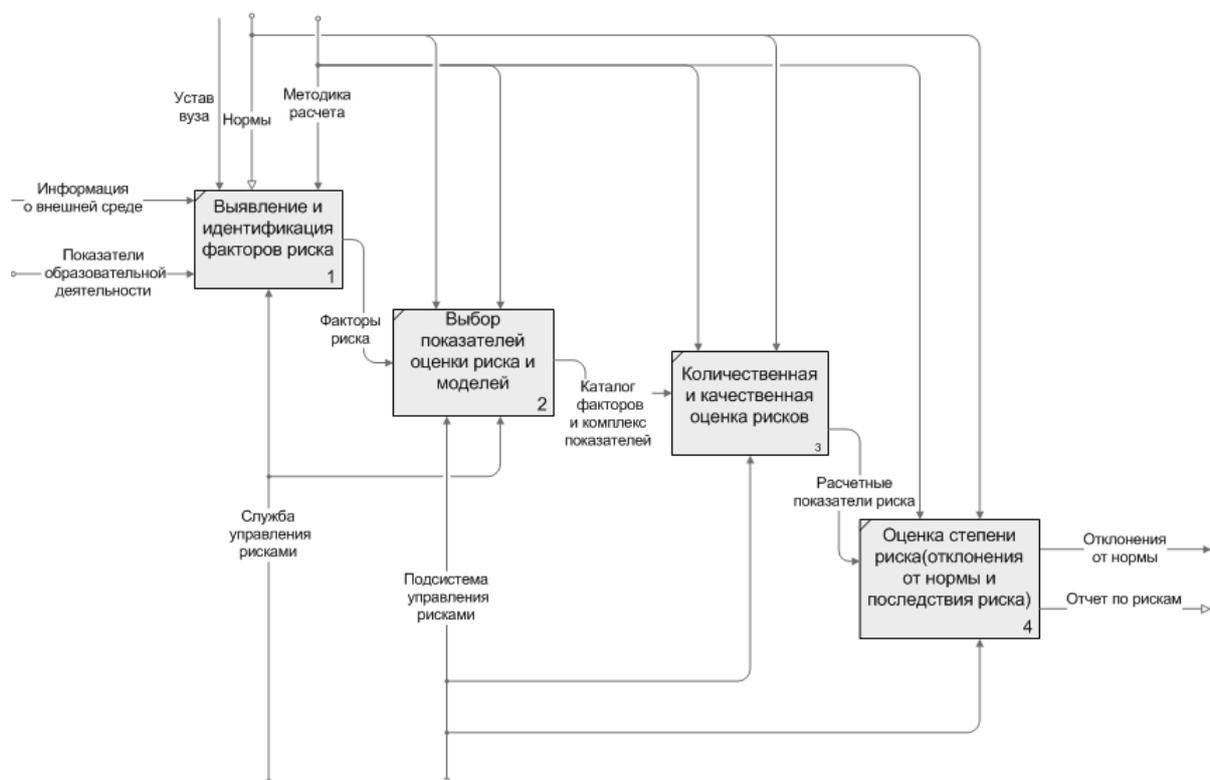


Рисунок 2 – Функциональная модель процесса «Анализ и оценка рисков ОУ»

В данной статье среди множества рисков ОУ (табл. 1) рассмотрен внутренний риск ВУЗа «Потеря контингента» в процессе обучения и предложена математическая модель оценки этого риска.

Учебный процесс – это большая сложная система, выражаемая бесконечным разнообразием состояний, отношений и связей ее функционирующих компонентов. В состав этой системы входят средства обучения, средства организации и управления. В динамике учебного процесса постоянно происходят изменения содержания, объема, направлений, пересечений и задач информационных потоков. Потоки информации характеризуют систему в процессе функционирования и преобразования информационного потока как по форме, так по объему и содержанию. Связи и отношения компонентов системы учебного процесса имеют достаточную определенность и обоснованность. Эти связи, отношения и все функционирование системы исходят из целей и задач обучения [8].

Учебный процесс в ВУЗе представлен в виде многомерной функции

$$Y_{\text{пр.}} = f(O, M, F, K, X, Z, R),$$

параметрами которой являются объекты учебного процесса и соответствующие им множества:

–  $O = \{o_1, o_2, \dots, o_m\}$  – множество объектов получения образовательных услуг (абитуриент, студент, магистрант, аспирант, слушатели подготовительных курсов, слушатели курсов повышения квалификации и т.д.);

–  $M = \{m_1, m_2, \dots, m_n\}$  – множество ресурсного обеспечения процесса предоставления образовательных услуг как материально-технического (здания, учебные аудитории и лаборатории, оборудование, расходные материалы и т.д.), так и информационно-методического (учебная литература, пособия, учебно-методические комплексы сопровождения дисциплин и т. д.) типов;

–  $F = \{f_1, f_2, \dots, f_k\}$  – множество видов проводимых занятий (лекции, практические занятия, лабораторные работы, консультации по курсовым работам, консультации по дипломному проектированию и т.д.);

–  $K = \{k_1, k_2, \dots, k_l\}$  – множество видов контроля полученных знаний обучаемыми (контрольные работы, практические работы, лабораторные работы, расчетно-графические работы, курсовые работы, курсовые проекты, балльно-рейтинговая карта дисциплины, зачет, экзамен, государственный экзамен, выполнение и защита выпускной квалификационной работы и т.д.);

–  $X = \{x_1, x_2, x_3, x_4\}$  – множество статусов обучаемого в процессе его обучения. Учебный процесс в ВУЗе представляет собой конечное число циклов обучения (семестров). Каждый семестр завершается контролем знаний (сессия), по результатам которой студент может либо продолжить обучение, либо быть отчисленным;

–  $Z = \{z_1, z_2, \dots, z_j\}$  – множество показателей уровня квалификации профессорско-преподавательского состава (ученая степень, ученое звание, стаж работы, повышение квалификации и т. д.);

–  $R = \{r_1, r_2, \dots, r_j\}$  – множество рисков в процессе образовательной деятельности, как внешних, так и внутренних.

Выделены следующие статусы обучаемого:

–  $x_1$  – обычный (все запланированные виды контроля успешно выполнены, дисциплинарное поведение в соответствии с Уставом ВУЗа);

–  $x_2$  – отчислен/восстановлен (отчислен по какой-либо причине с возможностью последующего восстановления);

–  $x_3$  – ожидание восстановления,  $x_4$  – отчислен (отчислен по какой-либо причине без последующего восстановления);

Состояние статуса обучаемого  $X$  представлено в виде:

$$X = (F, K, \delta, \lambda),$$

где  $\delta : X \times F \rightarrow X$  – функция перехода обучаемого в новый статус при множестве видов проводимых занятий  $F$ ;

$\lambda : X \times K \rightarrow X$  – функция перехода обучаемого в новый статус при множестве видов контроля полученных знаний  $K$ .

В процессе обучения в зависимости от результатов контроля знаний студента (множество  $K$ ) состояние статуса  $X$  обучаемого изменяется. Процесс изменения статуса обучаемого  $X$  в зависимости от результатов контроля знаний (из множества  $K$ ) рассматривается как Марковский процесс с дискретными состояниями и дискретным временем. Модель оценки риска потери контингента обучающихся представлена в виде графа состояний (рис. 3). Переходы системы  $S$  из одного состояния в другое происходят, как отмечалось ранее, в дискретные моменты времени  $t_1, t_2, \dots, t_N$  (сессия).

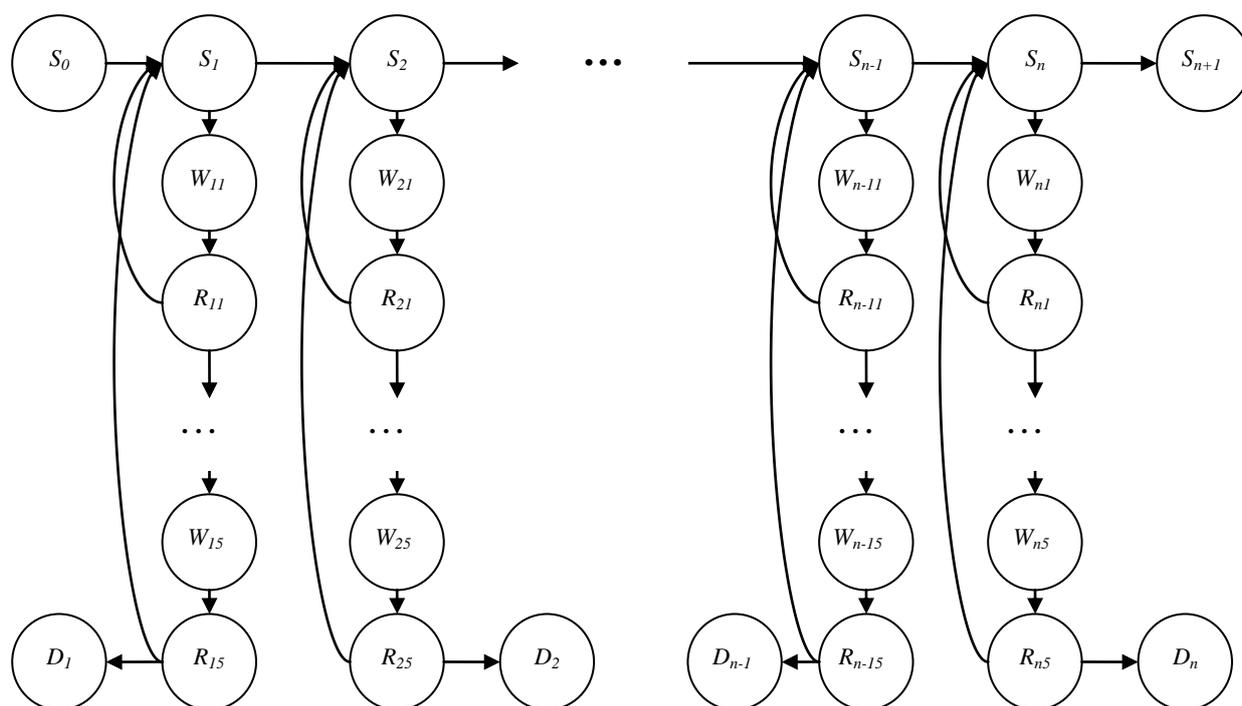


Рисунок 3 – Граф переходов состояний системы

Введены следующие условные обозначения возможных состояний системы  $S$  (рис. 3):

–  $S_0$  – начальное состояние системы (характеризуется числом студентов, принятых на 1-й курс обучения),  $S_{n+1}$  – конечное состояние системы.

–  $S_1, S_2, \dots, S_{n-1}, S_n$  – состояния системы, отражающие процесс контроля знаний студентов на различных этапах обучения (1, 2, ...,  $n$  – номера семестров, после которых осуществляется контроль знаний студентов (сессия));

–  $D_i$  – состояние системы «отчислен» на  $i$ -м этапе обучения. В соответствии с разрешительными документами [9,10] по истечении 5 лет студент теряет право на восстановление и переходит в статус «отчислен»;

–  $R_{ij}$  – состояние системы «отчислен/восстановлен» на  $i$ -м этапе обучения с последующим восстановлением в  $j$ -й год после отчисления (соответствует статусу студента «отчислен/восстановлен»).

–  $W_{ij}$  – состояние «ожидание» в  $j$ -й год после отчисления с последующим восстановлением на  $i$ -м этапе обучения (соответствует статусу студента «ожидание восстановления»). В соответствии с разрешительными документами на данный момент [9, 10] значение  $j$  может изменяться от 1 до 5 лет.

Переходы системы из состояния  $S_i$  в состояние  $S_{i+1}$  соответствуют статусу обучающегося «обычный», при котором все запланированные виды контроля выполнены, студент успешно сдал все экзамены сессии.

Переходы системы из состояний  $R_{ij}$  в состояния  $S_i$  соответствуют восстановлению студента в том семестре, с которого он был отчислен, и возможности его дальнейшего обучения с этого семестра.

В зависимости от вида обучения параметр этапа обучения  $i$  может принимать различные значения, например, при обучении с последующим получением степени бакалавра значение  $i=6$  (4 семестра обучения, этап сдачи государственного экзамена, этап сдачи выпускной квалификационной работы).

В общем случае для графа состояний (рис. 3) максимальное количество возможных состояний системы определяется следующим образом:

$$N_{\text{сост.}} = Z * N_{\text{восст.}} * n + L + M,$$

где  $Z = 2$  (в течение одного года периода восстановления  $N_{\text{восст.}}$  при отчислении с последующим возможным восстановлением студент находится в 2 статусах: статус «отчислен/восстановлен», что соответствует состоянию системы  $R_{ij}$  – состояние «отчислен/восстановлен», либо в статусе «ожидание восстановления», что соответствует состоянию системы  $W_{ij}$  – состояние «Ожидание»);

$N_{\text{восст.}} = 5$  в соответствии с разрешительными документами [9, 10] в настоящее время;

$n$  – количество этапов контроля знаний студентов;

$L = n + 2$  – количество состояний системы  $S$ , отражающих процесс контроля знаний студентов на различных этапах обучения  $S_i$  (статус студента «обычный»), включая  $S_0$  – начальное состояние системы и  $S_{n+1}$  – конечное состояние системы;

$M = n$  – количество состояний системы  $S$ , отражающих процесс «отчислен» на всех этапах обучения, соответствующих статусу студента «отчислен».

Таким образом, для модели (рис. 3) максимальное количество возможных состояний системы  $S$  определяется по формуле:

$$N_{\text{сост.}} = 2 * (n * (N_{\text{восст.}} + 1) + 1).$$

В общем случае для графа состояний (рис. 3) определено максимальное количество шагов системы  $S$  – переходов из состояния в состояние в некоторые дискретные моменты времени  $t_0, t_1, t_2, \dots$  с учетом периода восстановления  $N_{\text{восст.}}$ . Для одного этапа  $i$  контроля знаний студента (состояния системы  $S_i$ ) в течение периода восстановления  $N_{\text{восст.}}$  количество шагов системы  $N_{\text{шаг.}i} = N_{\text{восст.}}$ . Поскольку студент, находясь в статусе «отчислен/восстановлен» восстанавливается в том же семестре  $i$  и вновь сдает сессию (состояние системы  $S_i$ ), при успешной сдаче которой он переходит в статус «обычный». Для всех этапов контроля  $n$  с учетом периода восстановления  $N_{\text{восст.}}$  максимальное количество шагов системы определяется по формуле:

$$N_{\text{шаг.}} = N_{\text{восст.}} * n.$$

Предложенный подход к моделированию оценки риска потери контингента в процессе обучения по определенной специальности состоит в использовании математического аппарата цепей Маркова [11], который позволяет описать и количественно оценить вероятностные характеристики образовательного процесса, соответствующие различным статусам обучающегося.

Безусловная вероятность нахождения системы  $S$  на любом  $k$ -м шаге в состоянии  $S_i$  в соответствии с [11] рассчитывается по рекуррентной формуле:

$$p_i(k) = \sum_{j=1}^n p_j(k-1) * p_{ij} \quad (i = 1, 2, \dots, n; k = 1, 2, \dots)$$

при выполнении следующих условий:

$$\sum_{j=1}^n p_{ij}(k) = 1, \quad \sum_{i=1}^n p_i(0) = 1,$$

где  $p_i(k)$  – безусловная вероятность нахождения системы  $S$  на любом  $k$ -м шаге в состоянии  $S_i$  ( $n$  – число состояний системы, численная оценка приведена в [3]):

$$p_i(k) = P \{S(k) = S_i\} \quad (i = 1, 2, \dots, n; k = 0, 1, \dots);$$

$p_{ij}(k)$  – условная вероятность перехода системы  $S$  на любом  $k$ -м шаге в состояние  $S_j$ , если известно, что на предыдущем  $(k - 1)$ -м шаге она была в состоянии  $S_i$ :

$$p_{ij}(k) = P \{S(k) = S_j \mid S(k-1) = S_i\} \quad (i, j = 1, 2, \dots, n).$$

Переходные вероятности  $p_{ij}(k)$  представлены в виде квадратной матрицы  $\|p_{ij}(k)\|$  размером  $n * n$ , ( $k = 0, 1, 2, \dots$ ):

$$\|p_{ij}(k)\| = \begin{pmatrix} p_{11}(k) & p_{12}(k) & \dots & p_{1j}(k) & \dots & p_{1n}(k) \\ p_{21}(k) & p_{22}(k) & \dots & p_{2j}(k) & \dots & p_{2n}(k) \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ p_{i1}(k) & p_{i2}(k) & \dots & p_{ij}(k) & \dots & p_{in}(k) \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ p_{n1}(k) & p_{n2}(k) & \dots & p_{nj}(k) & \dots & p_{nn}(k) \end{pmatrix}$$

По главной диагонали матрицы расположены вероятности нахождения системы в состоянии  $S_j$  ( $j = 1, 2, \dots, n$ ) на  $k$ -м шаге ( $p_{11}(k), p_{22}(k), \dots, p_{ij}(k), \dots, p_{nn}(k)$ ). Поскольку на каждом шаге система  $S$  может находиться только в одном из взаимно исключающих состояний, то для любой  $i$ -той строки матрицы переходных вероятностей сумма всех стоящих в ней вероятностей  $p_{ij}(k)$  равна единице.

Для определения безусловных вероятностей  $p_i(k)$  нахождения системы  $S$  на любом  $k$ -м шаге в состоянии  $S_i$  необходимо знать начальное распределение вероятностей  $p_i(0)$  в момент времени  $t_0 = 0$ :  $p_1(0), p_2(0), \dots, p_i(0), \dots, p_n(0)$ , в сумме равные единице.

Модель оценки риска потери контингента обучающихся в ходе учебного процесса по определенной специальности позволяет получить:

- значение вероятности состояния системы  $S_i$ , соответствующее статусу обучаемого «обычный», при котором все запланированные виды контроля выполнены, студент успешно сдал все экзамены сессии;
- значение вероятности конечного состояния системы  $S_n$  – «Защита ВКР» для студентов, окончивших цикл обучения без отчислений;
- безусловную вероятность нахождения системы  $S$  на любом шаге в состоянии  $R_{ij}$  «отчислен/восстановлен», что соответствует статусу студента «отчислен/восстановлен»;
- безусловную вероятность нахождения системы  $S$  на любом шаге в состоянии  $W_{ij}$  – состояние «ожидание» в  $j$ -тый год после отчисления с последующим восстановлением на  $i$ -том этапе обучения, что соответствует статусу студента «ожидание восстановления»;
- безусловную вероятность нахождения системы на любом шаге в состоянии «отчислен» (состояние  $D_i$ ) ввиду различных причин (смена места жительства, собственное

желание, перевод в другой ВУЗ, болезнь и т.д.), что соответствует статусу студента «отчислен».

Значения вероятностей состояний системы  $S (S_i, R_{ij}, W_{ij}, D_i)$  позволяют оценить внутренний риск «Потеря контингента» в процессе обучения (табл. 1) по определенной специальности.

На основе полученных значений безусловных вероятностей  $S_i (i = 1, 2, \dots, n)$  состояний системы  $S$  рассчитывается число студентов, имеющих статус «отчислен/восстановлен»  $K_{отч/восст.}$ :

$$K_{отч/восст.} = \sum_{j=1}^{K-1} K_{прин.} \cdot (p_{j+1} - p_j),$$

где  $K_{прин.}$  – количество принятых на обучение студентов в начале обучения;

$p_{j+1}$  – значение безусловной вероятности системы  $S$  на шаге  $(j+1)$ ;

$p_j$  – значение безусловной вероятности системы  $S$  на шаге  $j$ ;

$K$  – количество шагов.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

На основе предложенной модели оценки риска потери контингента обучающихся (рис. 3) и данных по отчислению студентов одной из специальности УГАТУ (контингент студентов специальности «Финансы и кредит» с полным возмещением затрат на обучение, набор на первый курс обучения по данной специальности проведен в 2006 году) получены следующие результаты: величина риска потери контингента студентов по выбранной для анализа специальности для статуса обучаемого «обычный» составляет 23%.



Рисунок 4 – Распределение значений безусловных вероятностей в конечных состояниях системы по шагам

Построен график распределения безусловных вероятностей в конечных состояниях данной системы по шагам (рис. 4), показывающий динамику изменения вероятности конечного состояния системы вследствие перехода обучаемого из статуса «отчислен/восстановлен» в статус «обычный». Анализ данной зависимости показывает, что в результате отчисления студентов с последующим их восстановлением наибольшее число восстановленных для обучения студентов будет в 2011/2012 учебном году, незначительное количество студентов восстановится в 2012/2013, 2014/2015, 2015/2016 учебных годах, далее восстановления студентов практически не будет (значение безусловной вероятности по шагам в конечном состоянии системы не меняется).

На основе анализа графика распределения значений безусловных вероятностей в конечных состояниях системы по шагам (рис. 4) проведение комплекса мероприятий по снижению риска потери контингента студентов с применением управляющих факторов

целесообразно осуществлять с 9 по 14 шага поведения системы (рис. 4), что для значений данного примера соответствует 2011-2015 учебным годам. Для уменьшения степени рассматриваемого риска в качестве управляющих факторов предлагаются следующие:

- расширение форм обучения (очно-заочная форма, дистанционная, сокращенная);
- применение адаптивного подхода к обучаемым в образовательном процессе;
- оптимизация цены обучения для студентов с полным возмещением затрат.

## **ВЫВОДЫ**

1. Предложены функциональные модели процесса управления рисками ОУ, построенные на основе методологии IDEF и являющиеся основой для разработки концептуальных положений подсистемы управления рисками в системе управления ВУЗом, а также учитывающие неопределенность влияния ряда факторов внешней и внутренней сред, что позволяет повысить эффективность управления рисками в учреждениях высшего профессионального образования.

2. Разработана математическая модель оценки риска потери контингента в процессе обучения, отображающая процесс обучения в виде цепи Маркова, отличающаяся тем, что с целью учета потерь контингента студентов по результатам контроля знаний в цепи Маркова введены фрагменты, характеризующие процесс изменения статуса обучаемого в зависимости от результатов контроля знаний с учетом допустимого периода восстановления в соответствии с разрешительными документами по образовательной деятельности ВУЗа.

3. Анализ результатов, полученных на основе разработанной математической модели оценки риска потери контингента, позволил выявить закономерности процесса восстановления студентов с течением времени, количественно оценить риски в процессе образовательной деятельности, разработать комплекс мероприятий по нейтрализации риска потери контингента в учреждениях высшего профессионального образования.

## **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Ступаков В.С., Токаренко Г.С. Риск-менеджмент: учеб. пособие. – М.: Финансы и статистика, 2005. – 288 с.
2. Шапкин А.С., Шапкин В.А. Теория риска и моделирование рискованных ситуаций: учебник. – 5-е изд. – М.: Издательско-торговая корпорация «Дашков и К<sup>о</sup>», 2010. – 880 с.
3. Лысенко И.А. Механизмы и модели процесса управления рисками многопрофильного образовательного учреждения. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. – Уфа, 2012.
4. Костюкова Т.П., Лысенко И.А. Образовательное учреждение как объект управления в условиях риска // Вестник УГАТУ: науч. журн. Уфимск. гос. авиац. техн. ун-та., 2011. – Т. 15. – № 5(45). – С. 208-215.
5. Костюкова Т.П., Лысенко И.А. Система управления образовательными рисками в учреждении высшего профессионального образования // Информационные системы и технологии. Рубрика «Информационные технологии в социально-экономических и организационно-технических системах», 2011. – № 3(65). – С. 60-67.
6. Лысенко И.А. Управление рисками в образовательной деятельности ВУЗа на примере Уфимского государственного авиационного технического университета // Системы управления и информационные технологии. Рубрика «Перспективные исследования», 2010. – № 1.1(39). – С. 162-166.
7. Костюкова Т.П., Лысенко И.А. Модель управления рисками образовательного учреждения // Информационно-управляющие системы. Рубрика «Информационные технологии и образование», 2011. – № 2(51). – С. 73-76.
8. Архангельский С.И. Учебный процесс в высшей школе, его закономерные основы и методы. – М.: Высшая школа, 1980. – 320 с.

9. Федеральный закон «О высшем и послевузовском профессиональном образовании» от 22 августа 1996 г. № 125-ФЗ.
10. Устав государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Уфимский государственный авиационный технический университет». Редакция 2009 г.
11. Вентцель Е.С., Овчаров Л.А Теория случайных процессов и ее инженерные приложения: учеб. пособие для студ. ВТУЗов. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Издательский центр «Академия», 2003. – 432 с.

**Костюкова Татьяна Петровна**

ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный авиационный технический университет», г. Уфа  
Доктор технических наук, профессор, профессор кафедры экономической информатики  
Тел.: 8 (3472) 72-40-35  
E-mail: ktp@ufanet.ru

**Лысенко Ирина Алексеевна**

ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный авиационный технический университет», г. Уфа  
Кандидат технических наук, доцент кафедры экономической информатики  
Тел.: 8 (3472) 72-40-35  
E-mail: lysenko.ugatu@mail.ru

**Саубанов Вадим Сафуанович**

ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный авиационный технический университет», г. Уфа  
Кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры экономической информатики  
Тел.: 8 (3472) 72-40-35  
E-mail: vadspd@mail.ru

---

*T.P. KOSTYUKOVA (Doctor of Engineering Sciences, Professor,  
Professor of the Department of Economic Informatics)*

*I.A. LY'SENKO (Candidate of Engineering Sciences,  
Associate Professor of the Department of Economic Informatics)*

*V.S. SAUBANOV (Candidate of Engineering Sciences,  
Associate Professor of the Department of Economic Informatics)  
Ufa State Aviation Technical University, Ufa*

**MATHEMATICAL MODEL OF RISK ASSESSMENT OF THE CONTINGENT OF STUDENTS  
LOSS IN INSTITUTIONS OF HIGHER VOCATIONAL EDUCATION**

*The paper describes the approach of the risk assessment modeling of the contingent losses in institutions of higher education; the offered in paper mathematical model is based on Markov chains, and allows to quantify the risk of the contingent losses in the implementation of educational activities of the university. Received from model information allows to timely carry out the risk management.*

**Keywords:** *educational institution; modeling; the apparatus of Markov chains; the estimation of risks; the contingent of students.*

**BIBLIOGRAPHY (TRANSLITERATED)**

1. Stupakov V.S., Tokarenko G.S. Risk-menedzhment: ucheb. posobie. – М.: Финансы' i statistika, 2005. – 288 с.
2. Shapkin A.S., Shapkin V.A. Teoriya riska i modelirovanie riskovy'x situacij: uchebник. – 5-e izd. – М.: Izdatel'sko-torgovaya korporaciya «Dashkov i Ko», 2010. – 880 с.
3. Ly'senko I.A. Mexanizmy' i modeli processa upravleniya riskami mnogoprofil'nogo obrazovatel'nogo uchrezhdeniya. Avtoreferat dissertacii na soiskanie uchenoj stepeni kandidata texnicheskix nauk. – Ufa, 2012.

4. Kostyukova T.P., Ly'senko I.A. Obrazovatel'noe uchrezhdenie kak ob''ekt upravleniya v usloviyax riska // Vestnik UGATU: nauch. zhurn. Ufimsk. gos. aviac. techn. un-ta., 2011. – T. 15. – № 5(45). – S. 208-215.
5. Kostyukova T.P., Ly'senko I.A. Sistema upravleniya obrazovatel'ny'mi riskami v uchrezhdenii vy'sshego professional'nogo obrazovaniya // Informacionny'e sistemy' i tehnologii. Rubrika «Informacionny'e tehnologii v social'no-e'konomicheskix i organizacionno-technicheskix sistemax», 2011. – № 3(65). – S. 60-67.
6. Lysenko I.A. Upravlenie riskami v obrazovatel'noj deyatel'nosti VUZa na primere Ufimskogo gosudarstvennogo aviacionnogo texnicheskogo universiteta // Sistemy' upravleniya i informacionny'e tehnologii. Rubrika «Perspektivny'e issledovaniya», 2010. – № 1.1(39). – S. 162-166.
7. Kostyukova T.P., Ly'senko I.A. Model' upravleniya riskami obrazovatel'nogo uchrezhdeniya // Informacionno-upravlyayushhie sistemy'. Rubrika «Informacionny'e tehnologii i obrazovanie», 2011. – № 2(51). – S. 73-76.
8. Arxangel'skij S.I. Uchebny'j process v vy'sshej shkole, ego zakonomerny'e osnovy' i metody'. – M.: Vy'sshaya shkola, 1980. – 320 s.
9. Federal'ny'j zakon «O vy'sshem i poslevuzovskom professional'nom obrazovanii» ot 22 avgusta 1996 g. № 125-FZ.
10. Ustav gosudarstvennogo obrazovatel'nogo uchrezhdeniya vy'sshego professional'nogo obrazovaniya «Ufimskij gosudarstvenny'j aviacionny'j texnicheskij universitet». Redakciya 2009 g.
11. Ventcel' E.S., Ovcharov L.A. Teoriya sluchajny'x processov i ee inzhenerny'e prilozheniya: ucheb. posobie dlya stud. VTUZov. – 3-e izd., pererab. i dop. – M.: Izdatel'skij centr «Akademiya», 2003. – 432 s.

УДК 007.3

А.В. КОСЬКИН, А.Ю. УЖАРИНСКИЙ

## МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ПРИНЯТИЯ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ В ВУЗЕ

*В статье описана модель расчета критерия качества управления образовательным учреждением на основе показателей деятельности ВУЗа. Предложен набор частных критериев качества и механизм вычисления интегрального показателя качества управления.*

**Ключевые слова:** управление ВУЗом; модель оценки качества управления; факторы деятельности ВУЗа.

### ВВЕДЕНИЕ

Построение модели оценки качества управления образовательным учреждением является одной из важнейших задач при построении интегрированной системы управления образовательным учреждением. Необходимость построения математических моделей оценки качества управления в образовательном учреждении связана со сложностью и непредсказуемостью процессов преобразования информации, повышением рисков принятия ошибочных решений, возрастанием ответственности за социально-экономические последствия реализуемых в сфере образования инициатив. В связи с этим высокую роль приобретает использование качественной и актуальной информации при формировании управленческих решений.

### МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА УПРАВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫМ УЧРЕЖДЕНИЕМ

Рассмотрим модель, позволяющую оценить качество управления и работы образовательного учреждения с использованием системы web-сервисов для формирования показателей. Важным этапом при формировании модели управления является выбор критериев качества и показателей, описывающих работу системы в целом. Среди таких показателей выделяются две группы: показатели, которые могут контролироваться и изменяться управляющими структурами, и показатели, которые не подлежат управлению. Задача управления в ВУЗе заключается в выборе такого сочетания значений управляемых параметров, при котором значение критерия оптимальности будет максимальным. В качестве интегрального критерия оптимальности работы ВУЗа выберем критерий, рассчитываемый на основе мультипликативной свёртки частных показателей оптимальности. Получим следующее выражение для критерия оптимальности:

$$I(X_t) = \prod_{k=1}^n x_k^{\mu_k}, \quad (1)$$

где  $X_t = \{x_1, \dots, x_n\}$  – вектор частных критериев оптимальности;  
 $\mu_k$  – вес  $k$ -ого критерия оптимальности.

Частные критерии оптимальности определяются на основе набора факторов, влияющих на их значения, по аналогичной формуле. Выбор частных критериев оптимальности обусловлен различными сферами и аспектами деятельности ВУЗа. В качестве базового набора частных критериев оптимальности выделим следующие:

1. Качество образовательной деятельности.
2. Качество научно-исследовательской деятельности.
3. Международная деятельность.
4. Финансово-экономическая деятельность.
5. Кадровая политика.
6. Производственная деятельность.

7. Уровень информатизации.
8. Качество социальной работы.
9. Качество руководства ВУЗом.

Для каждого критерия выделяется набор показателей, определяющих его значение. Базовый набор показателей приведен в таблице 1.

Таблица 1 – Базовый набор показателей для оценки эффективности управления

№	Наименование показателя	Обозначение
<b>Качество образовательной деятельности</b>		<b>X<sub>1</sub></b>
1	Потенциал абитуриентов	F <sub>11</sub>
2	Качества подготовки	F <sub>12</sub>
3	Качество реализации основных образовательных программ	F <sub>13</sub>
4	Качество приема	F <sub>14</sub>
5	Учебно-методическое и дидактическое обеспечение образовательных программ (основной и дополнительных)	F <sub>15</sub>
6	Информационный и библиотечный ресурсы	F <sub>16</sub>
<b>Качество научно-исследовательской деятельности</b>		<b>X<sub>2</sub></b>
1	Внедрение результатов научной деятельности на производстве	F <sub>21</sub>
2	количество магистров и аспирантов на 100 человек	F <sub>22</sub>
3	Общий объем научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ (далее – НИОКР)	F <sub>23</sub>
4	Объем НИОКР в расчете на одного НПП	F <sub>24</sub>
5	Удельный вес средств, полученных ВУЗом от управления объектами интеллектуальной собственности, в общих доходах ВУЗа	F <sub>25</sub>
6	Удельный вес численности молодых учены	F <sub>26</sub>
7	Количество публикаций в Web of Science/Scopus в расчете на 100 НПП	F <sub>27</sub>
8	Количество публикаций в РИНЦ в расчете на 100 НПП	F <sub>28</sub>
<b>Международная деятельность</b>		<b>X<sub>3</sub></b>
1	Удельный вес численности иностранных студентов (кроме стран СНГ), завершивших освоение ООП ВПО, в общем выпуске студентов (приведенный контингент)	F <sub>31</sub>
2	Удельный вес численности иностранных студентов из стран СНГ, завершивших освоение ООП ВПО, в общем выпуске студентов (приведенный контингент)	F <sub>32</sub>
3	Удельный вес численности иностранных граждан из числа НПП (включая работающих по срочным трудовым договорам) в общей численности НПП	F <sub>33</sub>
4	Удельный вес численности студентов ВУЗа, обучающихся по очной форме обучения на ООП ВПО, прошедших обучение за рубежом не менее семестра (триместра)	F <sub>34</sub>
5	Численность студентов зарубежных ВУЗов, прошедших обучение в ВУЗе по очной форме обучения на ООП ВПО не менее семестра (триместра), в расчете на 100 студентов (приведенного контингента)	F <sub>35</sub>
6	Доходы ВУЗа от выполнения НИОКР и образовательной деятельности из иностранных источников	F <sub>36</sub>
7	международное признание ВУЗа в образовательной деятельности;	F <sub>37</sub>
<b>Финансово-экономическая деятельность</b>		<b>X<sub>4</sub></b>
1	Доходы ВУЗа из всех источников в расчете на одного НПП	F <sub>41</sub>
2	Доходы ВУЗа из средств от приносящей доход деятельности в расчете на одного	F <sub>42</sub>

	<b>НПР</b>	
3	Отношение среднего заработка НПР в ВУЗе (из всех источников) к средней заработной плате по экономике региона	F <sub>43</sub>
<b>Кадровая политика</b>		<b>X<sub>5</sub></b>
1	Реализация академической мобильности	F <sub>51</sub>
2	Общая численность работников образовательного учреждения (без внешних совместителей и работающих по договорам ГПХ)	F <sub>52</sub>
3	Общая численность ППС (без внешних совместителей и работающих по договорам ГПХ)	F <sub>53</sub>
4	Удовлетворённость сотрудников условиями работы	F <sub>54</sub>
<b>Производственная деятельность</b>		<b>X<sub>6</sub></b>
1	Доходы от производственной деятельности в общей массе доходов	F <sub>61</sub>
2	Количество студентов, задействованных в производственной деятельности	F <sub>62</sub>
<b>Уровень информатизации</b>		<b>X<sub>7</sub></b>
1	Объём информационных ресурсов	F <sub>71</sub>
2	Уровень развития сетей	F <sub>72</sub>
3	Количество автоматизированных областей деятельности ВУЗа	F <sub>73</sub>
<b>Качество социальной работы</b>		<b>X<sub>8</sub></b>
1	социальные условия для студентов и сотрудников	F <sub>81</sub>
2	материально-техническое обеспечение	F <sub>82</sub>
3	осуществление воспитательной работы	F <sub>83</sub>
<b>Качество руководства ВУЗом</b>		<b>X<sub>9</sub></b>
1	обеспечение лидирующей роли руководства ВУЗа в вопросах качества и постоянного улучшения всех аспектов деятельности ВУЗа	F <sub>91</sub>
2	обеспечение соответствия миссии, видения, основных ценностей политики и стратегии ВУЗа поставленным целям	F <sub>92</sub>
3	удовлетворенность внешних потребителей	F <sub>93</sub>
4	удовлетворенность внутренних потребителей	F <sub>94</sub>
5	влияние ВУЗа на общество	F <sub>95</sub>
6	результаты, которых добился ВУЗ в отношении запланированных целей повышения качества подготовки кадров	F <sub>96</sub>

В связи с тем, что выделенные факторы, используемые для оценки параметров ВУЗа, имеют различную размерность и единицы измерения, для упрощения их оценки и дальнейшей возможности применения для расчетов интегрального показателя предлагается оценивать факторы по интервальной шкале в интервале от 0 до 1. При этом был выделен ряд уровней фактора и их значений, приведённый в таблице 2.

Таблица 2 – Уровни для оценки показателей

Уровни	Значения
Высокий	0,8-1
Выше среднего	0,6-0,8
Средний	0,4-0,6
Ниже среднего	0,2-0,4
Низкий	0-0,2

В рамках каждого критерия оптимизации необходимо определить веса факторов в соответствии с уровнем их влияния на значение итогового показателя. Для этого экспертам было предложено оценить степень значимости каждого из факторов по отношению к

соответствующему показателю. Далее на основе методов имитационного моделирования случайным образом были определены веса каждого фактора. В результате получились следующие уравнения для расчета локальных критериев оптимизации:

$$\begin{aligned}
 X_1 &= F_{11}^{0,190547} * F_{12}^{0,397346} * F_{13}^{0,130312} * F_{14}^{0,105748} * F_{15}^{0,092713} * F_{16}^{0,083334} \\
 X_2 &= F_{21}^{0,374109} * F_{22}^{0,166885} * F_{23}^{0,062500} * F_{24}^{0,064436} * F_{25}^{0,107238} * F_{26}^{0,084149} * F_{27}^{0,067589} * F_{28}^{0,073094} \\
 X_3 &= F_{31}^{0,388217} * F_{32}^{0,175231} * F_{33}^{0,114869} * F_{34}^{0,092794} * F_{35}^{0,081829} * F_{36}^{0,075634} * F_{37}^{0,071429} \\
 X_4 &= F_{41}^{0,454052} * F_{42}^{0,246829} * F_{43}^{0,174119} * F_{44}^{0,125} \\
 X_5 &= F_{51}^{0,119955} * F_{52}^{0,151102} * F_{53}^{0,416576} * F_{54}^{0,212367} \\
 X_6 &= F_{61}^{0,55} * F_{62}^{0,45} \\
 X_7 &= F_{71}^{0,290086} * F_{72}^{0,543248} * F_{73}^{0,166667} \\
 X_8 &= F_{81}^{0,539860} * F_{82}^{0,293473} * F_{83}^{0,166667} \\
 X_9 &= F_{91}^{0,092934} * F_{92}^{0,083334} * F_{93}^{0,397915} * F_{94}^{0,189788} * F_{95}^{0,105659} * F_{96}^{0,130369}
 \end{aligned}$$

На основе полученных уравнений можно рассчитать интегральный показатель качества управления образовательным учреждением. Данный показатель характеризует рейтинг ВУЗа по сравнению с другими анализируемыми ВУЗами. С помощью разработанной модели был проведен анализ деятельности 100 ведущих ВУЗов страны и построен их рейтинг. Полученная в результате модель позволит спрогнозировать изменение рейтинга ВУЗа в зависимости от принятия различных управленческих решений относительно текущего рейтинга остальных ВУЗов.

### СЕРВИС ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ

Сервис поддержки принятия управленческих решений интегрированной системы управления образовательным учреждением предназначен для того, чтобы предоставить руководству ВУЗа объективную информацию о текущем состоянии дел в различных сферах деятельности, а также инструментария для моделирования и оценки принимаемых управленческих решений.

Основные задачи сервиса:

1. Формирование множества показателей, использующихся при принятии управленческих решений.
2. Реализация алгоритмов сбора значений показателей.
3. Расчет текущего рейтинга ВУЗа.
4. Построение графиков, отражающих изменения различных показателей и критериев во времени.
5. Гибкая настройка показателей и весовых коэффициентов входящих в модель.

В основе сервиса поддержки принятия управленческих решений лежит выделенный на предыдущем этапе набор показателей деятельности ВУЗа. Одной из задач сервиса является реализация механизмов автоматического сбора и нормирования значений выделенных показателей на указанный момент времени. Реальные значения показателей формируются во внешних по отношению к сервису ППУР сервисах и системах. С помощью технологий интеграции и единой интегрирующей схемы данных сервис ППУР производит выборку необходимых значений из распределенных источников и предоставляет их пользователю через единый механизм доступа.

Базовое множество показателей, применяемых в описываемом сервисе, может быть дополнено показателями, вводимыми пользователем. Для этого в сервисе предусмотрена возможность введения новых показателей и удаления неактуальных показателей. При вводе нового показателя необходимо настроить механизм автоматического формирования

значения данного показателя, для чего необходимо указать запрос в терминах интегрирующей схемы данных для получения значения показателя.

Для решения задачи формирования текущего рейтинга ВУЗа в рамках разработанного сервиса реализован алгоритм расчета рейтинга на основе описанной модели. Для реализации данной модели сервис производит автоматический сбор информации из доступных источников о значениях соответствующих показателей сторонних ВУЗов. Множество анализируемых ВУЗов формируется пользователями системы из учета доступности необходимой для анализа информации по соответствующим ВУЗам. В результате выполнения описанного алгоритма формируется рейтинг ВУЗов и определяется место ВУЗа в этом рейтинге.

Для ответа на вопрос, каким образом изменялся рейтинг ВУЗа за последнее время и что явилось причиной изменения, сервис ППУР позволяет проанализировать динамику изменения показателей за определенный временной период и построить соответствующие графики изменения значений показателей. Данные графики позволят оценить, как менялись значения ключевых показателей деятельности ВУЗа и как это повлияло на общий рейтинг. Еще одним важным механизмом, позволяющим оценить состояние дел в различных сферах деятельности ВУЗа, является оценка критериев относительно значения соответствующих критериев других ВУЗов. Для этого используется следующая оценка.

Сначала рассчитывается среднее значение критериев качества для выбранного показателя по всем анализируемым ВУЗам  $\bar{X}$  и среднеквадратическое отклонение  $\Delta$ . Для оценки текущих параметров используется следующее правило:

1. Если  $X > \bar{X} + \Delta$ , то показатель находится в зоне стабильного роста.
2. Если  $\bar{X} < X < \bar{X} + \Delta$ , то показатель находится в зоне стабильного качества.
3. Если  $\bar{X} - \Delta < X < \bar{X}$ , то показатель находится в зоне критической стабильности качества.
4. Если  $0 < X < \bar{X} - \Delta$ , то показатель находится в зоне снижения качества.

Описанные функции позволяют не только определить текущий рейтинг ВУЗа, но и выявить наиболее критические области деятельности, качество управления в которых необходимо повысить. Пример работы сервиса представлен на рисунке 1.

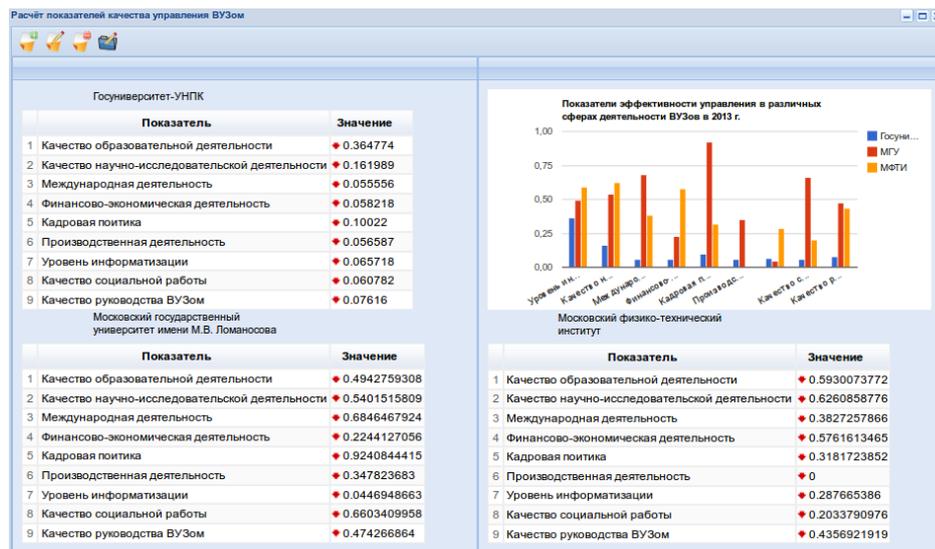


Рисунок 1 – Интерфейс сервиса поддержки принятия управленческих решений

Важным элементом сервиса ПУР является гибкий механизм настройки всех параметров, входящих в модель оценки качества ВУЗа. Это позволит настраивать множество исходных показателей, корректировать их веса, тем самым повышая степень достоверности разработанной модели.

### **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Предложенный в статье метод расчета интегрального критерия эффективности управления образовательным учреждением позволяет учитывать различные аспекты деятельности ВУЗа и формирует общий показатель качества, который можно использовать для сравнительного анализа состояния дел в ВУЗах страны. Сформированный на основе приведенного метода расчета сервис поддержки принятия управленческих решений позволяет автоматически оценивать эффективность управления и давать информацию о причинах, которые привели к полученному результату. Также с его помощью можно моделировать различные стратегии управления и возможный получаемый эффект.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Граничин О.Н., Граничина О.А. Создание информационной системы контроля качества образовательного процесса в ВУЗе // В сб. «Стохастическая оптимизация в информатике». – СПб.: Изд-во СПбГУ, 2008. – Вып. 4.
2. Ужаринский А.Ю., Коськин А.В. Принципы построения распределенной информационной системы ВУЗа с использованием web-сервисов / Теория и практика системного анализа. Сборник трудов Всероссийской молодежной конференции. – Белгород, 2012. – С. 501-504.
3. Ужаринский А.Ю. Особенности построения сервиса поддержки принятия управленческих решений для образовательного учреждения // Наука и образование: новое время, 2014. – № 5. [Электронный ресурс]. – URL: [http://articulos-info.ru/assets/docs/ej\\_5\\_2014/5\\_2014\\_Ugarinskiy%20A.Yu.pdf](http://articulos-info.ru/assets/docs/ej_5_2014/5_2014_Ugarinskiy%20A.Yu.pdf).
4. Ужаринский А.Ю., Коськин А.В., Титенко Е.А. Место web-сервисов в системе управления образовательным учреждением // Известия Юго-Западного государственного университета, 2012. – № 3(36). – С. 90-99.

#### **Коськин Александр Васильевич**

ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК», г. Орел  
Доктор технических наук, профессор кафедры «Информационные системы»  
Тел.: 8 (4862) 419815  
E-mail: koskin@ostu.ru

#### **Ужаринский Антон Юрьевич**

ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК», г. Орел  
Ассистент  
Тел.: 8 910 264 56 76  
E-mail: udjal89@mail.ru

---

A.V. KOS'KIN (*Doctor of Engineering Science, Professor of the Department «Information Systems»*)

A.Yu. UZHARINSKIY (*Assistant*)  
*State University – ESPC, Orel*

### **A MODEL OF ASSESSING THE QUALITY OF MANAGEMENT DECISION MAKING IN THE UNIVERSITY**

*The article describes a model for calculating the criterion of quality management educational institution which is basis on the performance of the university. A set of particular quality criteria and mechanism for calculating the integral indicator of quality control is proposed.*

**Keywords:** *university management; evaluation model of quality management; factors of the university.*

**BIBLIOGRAPHY (TRANSLITERATED)**

1. Granichin O.N., Granichina O.A. Sozdanie informacionnoj sistemy' kontrolya kachestva obrazovatel'nogo processa v VUZe // V sb. «Stoxasticheskaya optimizaciya v informatike». – SPb.: Izd-vo SPbGU, 2008. – Vy'p. 4.
2. Uzharinskij A.Yu., Kos'kin A.V. Principy' postroeniya raspredelejnoj informacionnoj sistemy' VUZa s ispol'zovaniem web-servisov / Teoriya i praktika sistemnogo analiza. Sbornik trudov Vserossijskoj molodezhnoj konferencii. – Belgorod, 2012. – S. 501-504.
3. Uzharinskij A.Yu. Osobennosti postroeniya servisa podderzhki prinyatiya upravlencheskix reshenij dlya obrazovatel'nogo uchrezhdeniya // Nauka i obrazovanie: novoe vremya, 2014. – № 5. [E'lektronnyj resurs]. – URL: [http://articulus-info.ru/assets/docs/ej\\_5\\_2014/5\\_2014\\_Ugarinskiy%20A.Yu..pdf](http://articulus-info.ru/assets/docs/ej_5_2014/5_2014_Ugarinskiy%20A.Yu..pdf).
4. Uzharinskij A.Yu., Kos'kin A.V., Titenko E.A. Mesto web-servisov v sisteme upravleniya obrazovatel'ny'm uchrezhdeniem // Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta, 2012. – № 3(36). – S. 90-99.

УДК 66.042.36

С.И. ПОПЛАВНЫЙ, А.И. СУЗДАЛЬЦЕВ

## АВТОМАТИЗАЦИЯ КОНТРОЛЯ ВЛАЖНОСТИ ИЗДЕЛИЯ И ТЕМПЕРАТУРЫ В ПЕЧИ В ПРОЦЕССЕ УПРАВЛЕНИЯ ВЫПЕЧКОЙ ИЗДЕЛИЙ ПИЩЕВОГО НАЗНАЧЕНИЯ

*В данной статье представлены основы способа управления выпечкой изделий пищевого назначения. Предложен способ реализации данного способа при помощи аппарата нечеткой логики. Также в статье представлен процесс моделирования системы управления в пакете прикладных программ Matlab.*

**Ключевые слова:** автоматизация; модель; процесс выпечки; нечеткая логика; Matlab.

### ВВЕДЕНИЕ

Выпечка (сушка) изделий пищевого назначения (печенье, баранки, сушки и т.п.) представляет собой сложный нестационарный процесс, включающий изменение агрегатного состояния изделия, причем изменение основного параметра (влажности) в динамике носит нелинейный характер, контроль которого трудно осуществлять. Поэтому управление выпечкой изделий ведут по изменению температуры теплоносителя в печи, который подается в печь и объем которого регулируется по заданной температуре (уставка) и измеренной температуре внутри печи [1]. Несоответствие заданной влажности изделия и влажности изделия на выходе печи приводит к изменению уставки температуры теплоносителя на следующий цикл выпечки. Если учесть, что в поточном производстве оценку влажности изделия на выходе печи осуществляют в специальной лаборатории на специальном оборудовании, то от момента оценки влажности до осуществления установки измененной температуры теплоносителя проходит время, в течение которого идет брак. С целью уменьшения указанного брака авторами предложен подход к управлению выпечкой [2], который заключается в автоматическом взвешивании заготовки изделия на входе и выходе печи, преобразовании веса в значение влажности и автоматического задания новой температуры теплоносителя в печи и, соответственно, установки нового объема теплоносителя, поступающего в печь. Целью данной статьи является представление математических основ способа управления выпечкой и средств его программной реализации.

### ОСНОВЫ СПОСОБА УПРАВЛЕНИЯ ВЫПЕЧКОЙ ИЗДЕЛИЙ ПИЩЕВОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Поскольку между основными контролируруемыми параметрами (влажность изделия в динамике и температура теплоносителя) и подачей объема теплоносителя отсутствует строгая математическая зависимость, то одним из эффективных методов управления является метод с использованием нечеткой логики (Fuzzy Logic), реализуемой в большинстве применений в виде нечеткой модели [2-4]. На рисунке 1 приведена структурная схема управления выпечкой бараночно-сушечных изделий, где на выходе блока 1 (блок контроля влажности изделия) формируется значение влажности изделия на выходе печи  $W$ , которое определяется выражением (1):

$$W = 100 - \frac{\sigma_{ex}}{\sigma_{вых}}(100 - W_{ex}), \quad (1)$$

где  $\sigma_{вх}$  – измеренная масса заготовки на входе печи;

$\sigma_{вых}$  – измеренная масса заготовки на выходе печи;

$W_{вх}$  – влажность заготовки на входе печи.

Полученное значение влажности, а также температура внутри печи  $T$  являются входными данными блока 2 (нечеткая модель), на выходе которого формируется численное значение перемещения заслонки подачи теплоносителя в ту или иную сторону ( $\Delta$ ), которое обрабатывается регулятором 3. Структурно нечеткая модель включает четыре блока: 2.1 – блок фаззификации; 2.2 – блок принятия решений; 2.3 – блок дефаззификации; 2.4 – блок базы правил ( $f_1$ ), ( $f_2$ ), ( $f_3$ ).

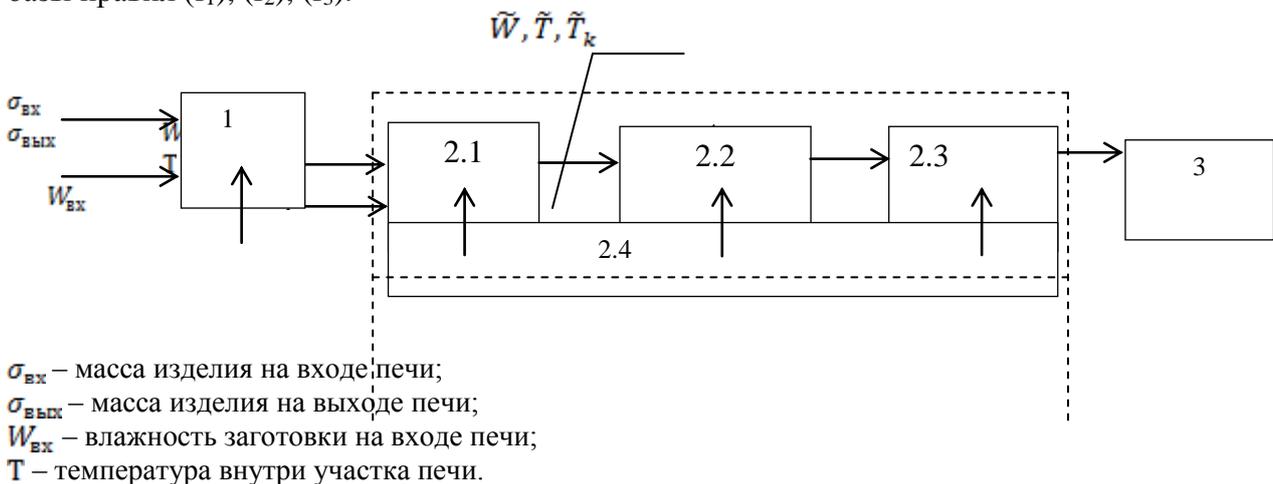


Рисунок 1 – Структурная схема управления выпечкой бараночно-сушечных изделий

В нечеткой модели 2 фаззификация 2.1 заключается в определении физических значений входных параметров и сопоставлении им неких нечетких значений, т.е. значений, определяющих их принадлежность к термам. Каждому терму присвоены соответствующие обозначения: NB – отрицательное большое; NM – отрицательное среднее; NS – отрицательное малое; NO – отрицательное близкое к нулю; ZO – близкое к нулю; PO – положительное близкое к нулю; PS – положительное малое; PM – положительное среднее; PB – положительное большое.

В рассматриваемом случае в качестве функций принадлежности ( $f_i$ ) для параметра «температура» и «уставка» предлагается использование треугольных функций, а для параметра «влажность» – гауссовых [5].

Диапазон входных переменных выбран в соответствии с реальными значениями температуры и влажности, используемыми на одном из предприятий г. Орла:

$$T_i = 100 - 540 \text{ } ^\circ\text{C}, W_i = 0 - 35 \text{ } \%$$

Выходная переменная, величина открытия заслонки  $\Delta$ , описывается пятью трапециевидными функциями: «закрыть полностью», «закрыть», «оставить», «открыть», «открыть полностью», значения которых выбираются исходя из свободного хода заслонки – 20 см. Таким образом, диапазон выходной переменной будет равен  $\pm 20$  см, что позволит полностью открыть или закрыть заслонку.

После операции фаззификации следует процесс получения нечеткого результата путем использования базы правил, которая разрабатывается на основе экспертного мнения. Правила определяют значение выходной переменной при условии, что входные переменные относятся к определенным термам. В данном случае правила имеют вид: если  $W=W_i$ ,  $T=T_i$  и  $T_k=T_{k_i}$ , то  $\Delta=\Delta_i$  описываются выражением (2).

$$f_2 = V(\tilde{W} \wedge \tilde{T} \wedge \tilde{T}_k). \quad (2)$$

Полный набор правил представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Таблица правил для нечеткого регулятора

Влажность, $\tilde{W}$	Температура, $\tilde{T}$	Уставка, $\tilde{T}_k$	Заслонка, $\tilde{\Delta}$
ZO	ZO	ZO	ZO
ZO	PO	PO	ZO
ZO	PS	PS	ZO
ZO	PM	PM	ZO
ZO	PB	PB	ZO
PO	ZO	PO	PO
PO	PO	PS	PO
PO	PS	PM	PO
PO	PM	PB	PO
PO	PB	PB	PO
PS	ZO	PS	PO
PS	PO	PM	PO
PS	PS	PB	PO
PS	PM	PB	PO
PS	PB	PB	PS
PM	ZO	PB	PS
PM	PO	PB	PS
PM	PS	PB	PS
PM	PM	PB	PS
PM	PB	PB	PS
PB	ZO	PB	PS
PB	PO	PB	PS
PB	PS	PB	PS
PB	PM	PB	PS
PB	PB	PB	PS

Для получения значений температуры уставки используется математическое выражение [2]:

$$T_k = T \pm T \cdot \frac{W - W'}{W}, \quad (3)$$

где  $W'$  – заданная влажность на выходе печи.

В соответствии с полученным и текущим значениями температуры устанавливается новое положение заслонки.

Следующим этапом аппарата нечеткой логики является дефаззификация, которая представляет собой приведение нечеткого значения выходной переменной к четкому значению. Данный переход выполняется при помощи метода центра тяжести, так как он дает оптимальное значение выходной переменной для рассматриваемого случая [5]:

$$f_3 = \frac{\int_{X_{min}}^{X_{max}} xF(x)dx}{\int_{X_{min}}^{X_{max}} F(x)dx}, \quad (4)$$

где  $F(x)$  – функция принадлежности выходной переменной, а  $[X_{min}; X_{max}]$  – диапазон принимаемых значений.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПОДАЧЕЙ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ В ПАКЕТЕ MATLAB

Для реализации нечёткой модели (блок 2, рис. 1) был использован пакет программ Matlab, который содержит необходимый набор средств для работы с нечеткой логикой. Так Fuzzy Logic Toolbox позволяет легко создавать и моделировать нечеткие системы на основе алгоритмов Мамдани и Сугено при помощи графических средств. Интерфейс программы представлен на рисунке 2.

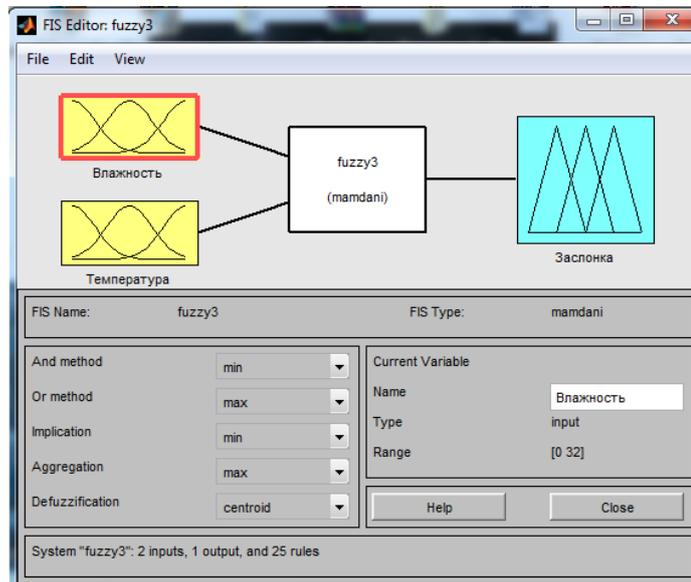


Рисунок 2 – Панель Fuzzy logic toolbox

Как видно из рисунка, при помощи данной программы можно полностью реализовать нечеткую модель: задать входные и выходные переменные, выбрать метод дефазификации и т.д. Для рассматриваемого случая были созданы две входные и одна выходная переменная. При двойном нажатии на переменные (влажность, температура и заслонка) открывается новое диалоговое окно, позволяющее детально их настроить.

Задав входные значения параметров можно пошагово проследить процесс получения выходной переменной [6]. При двойном нажатии на блок правил (fuzzy3) откроется окно для их задания. При выборе пункта View – Rules откроется окно, иллюстрирующее работу всех правил.

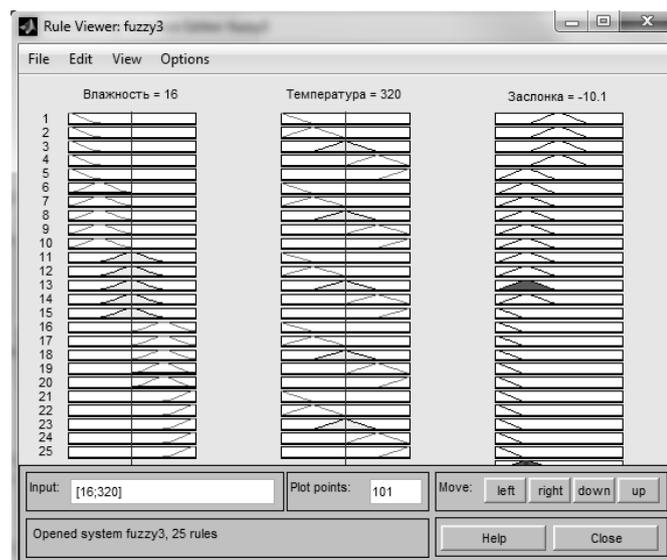


Рисунок 3 – Панель Rules нечеткого регулятора

На рисунке 3 представлены 25 правил, созданных в результате комбинации термов входных параметров, а также значения выходных параметров, выбираемых из таблицы 1. В приведенном примере значение влажности было выбрано равным 16%, а температуры – 320 °С, в результате чего получили положение заслонки равное -10,1 см, которое отсчитывается от ее текущего значения в соответствии с полученным знаком: «+» соответствует закрытию заслонки, «-» – открытию. Как видно из рисунка, выбранное значение заслонки и температуры соответствуют их центральным термам («средняя»), что показано пересечением линии с центральными треугольниками. Серым цветом в колонке «заслонка» показано значение выходной переменной полученной в результате операции минимума над входными переменными. В данном случае видно, что результат дает только 13 правило, т.к. только в нем участвуют входные переменные с ненулевым значением. После этого применяется операция дефазификации и получается средневзвешенное значение переменной.

### **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Рассмотренный способ и средства автоматизации процесса выпечки изделий пищевого назначения, основанные на оценке текущей влажности изделия путем автоматизации взвешивания, и использование упреждающей нечеткой модели для регулирования подачи теплоносителя позволили создать компьютерную модель процесса управления выпечкой, однако для использования полученной модели на практике необходимо оценить ее адекватность реальному процессу, что предопределяет необходимость проведения экспериментов на этой модели и, соответственно, разработку методики экспериментальных исследований.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Гинзбург А.С. Основы теории и техники сушки пищевых продуктов. – М.: Пищ. пром., 1973.
2. Суздальцев А.И. Новый подход к повышению уровня автоматизации процесса выпечки изделий пищевого назначения, направленный на сокращение брака / А.И. Суздальцев, С.И. Поплавный, А.А. Тимошенко, Н.А. Сафронова // Информационные системы и технологии. – Орел: ОрелГТУ, 2014. – № 6. – С. 111-117.
3. Суздальцев А.И. Нечеткая модель в алгоритмах управления пиковыми подогревателями в подсистемах теплоснабжения. – Часть 1 / А.И. Суздальцев, Н.А. Загородних, С.П. Петров, Н.А. Сафронова // Информационные системы и технологии. – Орел: ОрелГТУ, 2010. – № 1. – С. 93-100.
4. Суздальцев А.И. Нечеткая модель в алгоритмах управления пиковым иподогревателями в подсистемах теплоснабжения. – Ч. 2 / А.И. Суздальцев, Н.А. Загородних, С.П. Петров, Н.А. Сафронова // Информационные системы и технологии. – Орел: ОрелГТУ, 2010. – № 2. – С. 104-108.
5. Рубанов В.Г. Интеллектуальные системы автоматического управления. Нечеткое управление в технических системах: электронное пособие [Электронный ресурс]. – URL:<http://nrsu.bstu.ru>
6. Fuzzy Logic Toolbox // MathWorks. Центр компетенций [Электронный ресурс]. – URL:<http://matlab.ru/products/fuzzy-logic-toolbox>.

**Суздальцев Анатолий Иванович**

ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК», г. Орел

Профессор кафедры «Электроника, вычислительная техника и информационная безопасность»

Тел.: 8 (4862) 76-28-62

E-mail: [aist39@yandex.ru](mailto:aist39@yandex.ru)

**Поплавный Сергей Игоревич**

ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК», г. Орел

Аспирант кафедры «Электроника, вычислительная техника и информационная безопасность»

Тел.: 8 9155039932

E-mail: brain001@mail.ru

---

A.I. SUZDAL'CEV (*Professor of the Department  
«Electronics, Computer Science and Information Security»*)

S.I. POPLAVNY'J (*Post-graduate Student of the Department  
«Electronics, Computer Science and Information Security»  
State University – ESPC, Orel*)

**AUTOMATION OF CONTROL OF HUMIDITY PRODUCTS  
AND TEMPERATURE IN OVEN DURING MANAGEMENT BAKING EDIBLE PRODUCTS**

*In this article the basics of control method baking edible products is presented. A way to implement this method using fuzzy logic is proposed. Also in the article the process of modeling the control system in a packet as-application program Matlab is shown.*

**Keywords:** automation; model; baking process; fuzzy logic; Matlab.

**BIBLIOGRAPHY (TRANSLITERATED)**

1. Ginzburg A.S. Osnovy' teorii i texniki sushki pishhevy'x produktov. – M.: Pishh. prom., 1973.
2. Suzdal'cev A.I. Novy'j podxod k povy'sheniyu urovnya avtomatizacii processa vy'pechki izdelij pishhevogo naznacheniya, napravlenny'j na sokrashhenie braka / A.I. Suzdal'cev, S.I. Poplavny'j, A.A. Timoshenko, N.A. Safronova // Informacionny'e sistemy' i texnologii. – Orel: OrelGTU, 2014. – № 6. – S. 111-117.
3. Suzdal'cev A.I. Nechetkaya model' v algoritmax upravleniya pikovy'mi podogrevatelyami v podsystemax teplosnabzheniya. – Chast' 1 / A.I. Suzdal'cev, N.A. Zagorodnix, S.P. Petrov, N.A. Safronova // Informacionny'e sistemy' i texnologii. – Orel: OrelGTU, 2010. – № 1. – S. 93-100.
4. Suzdal'cev A.I. Nechetkaya model' v algoritmax upravleniya pikovy'mi podogrevatelyami v podsystemax teplosnabzheniya. – Ch. 2 / A.I. Suzdal'cev, N.A. Zagorodnix, S.P. Petrov, N.A. Safronova // Informacionny'e sistemy' i texnologii. – Orel: OrelGTU, 2010. – № 2. – S. 104-108.
5. Rubanov V.G. Intellektual'ny'e sistemy' avtomaticheskogo upravleniya. Nechetkoe upravlenie v texnicheskix sistemax: e'lektronnoe posobie [E'lektronny'j resurs]. – URL:<http://nrsu.bstu.ru>
6. Fuzzy Logic Toolbox // MathWorks. Centr kompetencij [E'lektronny'j resurs]. – URL:<http://matlab.ru/products/fuzzy-logic-toolbox>.

## АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ОЦЕНКИ ТОЧНОСТИ КАНАВКИ КАТАНИЯ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ЛАПЫ БУРОВОГО ДОЛОТА

В статье рассмотрены вопросы, связанные с применением автоматизированной оценки точности формы при получении профиля канавки катания лапы бурового долота. Приводится обоснование выбора бесконтактного метода измерений для контроля точности формы канавки катания. Также в работе представлены блок-схема процедуры оценки круглости канавки катания и схема расположения прибора контроля и приспособления с закрепленной в нем лапой в процессе измерений. Показана временная диаграмма выполнения контроля изделия, и приведена формула для расчета времени, необходимого для проведения контроля. Реализация предлагаемого авторами метода автоматизированной оценки точности формы канавки катания позволяет достигнуть сокращения материальных затрат на изготовление лапы при условии, что время такта выпуска изделий не превышает времени выполнения комплекса измерений.

**Ключевые слова:** точность; автоматизация; измерение; долото; канавка.

Чистовая обработка профилей канавок для катания шариков подшипников в узлах конструкций различных элементов оборудования, в отличие от получения подобных канавок в подшипниках качения, является ответственной операцией. Если при производстве подшипников всегда существует возможность выполнить сортировку элементов подшипника на специальных автоматах и тем самым подобрать соответствующие сопрягаемые пары, то, например, производитель бурового инструмента не имеет в наличии подобного оборудования и подбор сопрягаемых деталей приходится выполнять вручную, что связано с большими временными затратами, и, следовательно, с увеличением себестоимости изделия, что, в свою очередь, снижает конкурентоспособность продукции. Создание специального контрольно-сортировочного оборудования при серийном производстве также экономически неоправданно, поэтому авторы видят решение этой задачи в осуществлении автоматического или автоматизированного контроля при выполнении чистовой обработки профиля канавки. Рассмотрим реализацию этого предложения на примере лапы трехшарошечного бурового долота, профиль канавки которого изображен на рисунке 1.

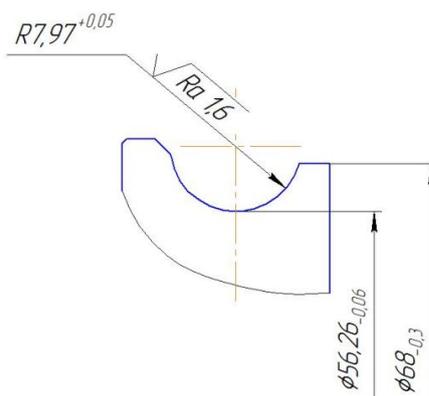


Рисунок 1 – Профиль канавки лапы трехшарошечного бурового долота

Чистовую обработку поверхности канавки выполняют на оборудовании с ЧПУ, инструментом с режущей частью, выполненной из эльбора, – так называемое «твердое точение».

Используемое в настоящее время оборудование для ручного контроля профиля канавок требует определенных временных затрат на выполнение операции контроля, превышающих время выполнения операции механической обработки, что требует использования нескольких измерительных приборов для контроля 100% количества изделий. Если производитель не увеличивает такт выпуска, то, как правило, используется выборочный контроль по определенным условиям, связанным с различными производственными факторами. Для сортировки изделий наиболее применяемой в машиностроении является схема, представленная на рисунке 2.



Рисунок 2 – Схема сортировки изделий

Полученные на токарной операции канавки катания изделия проходят контроль в контрольном устройстве и в зависимости от его результатов сортировочное устройство отправляет изделие в соответствующий поток. Контрольное устройство в соответствии с условием  $T_k < T_{TO}$  и  $T_k \geq T_{сорт}$  должно обеспечивать производительность поточной или автоматической линии. Предложенная на рисунке 2 схема наиболее удобна при реализации массового производства изделий, так как требует капитальных вложений, имеющих большой срок окупаемости, что объясняется высокой стоимостью автоматического или автоматизированного комплекта контрольно-сортировочного оборудования. Его стоимость перекладывается на себестоимость выпускаемого изделия  $C_{\Sigma изд}$ :

$$C_{\Sigma изд} = CC_{изд} + CC_k + A_k + CC_c + A_c \quad (1)$$

где  $CC_{изд}$  – себестоимость изделия, руб.;

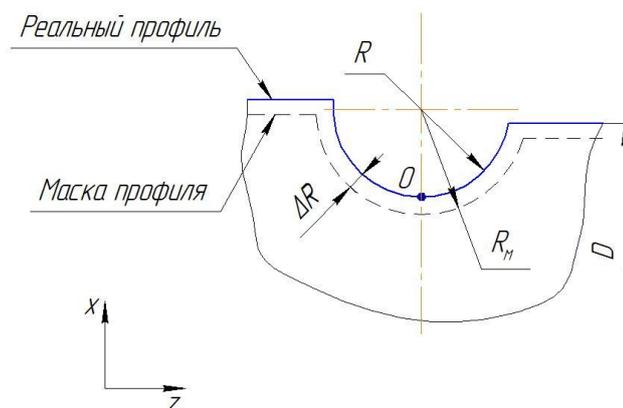
$CC_k, A_k$  – себестоимость операции контроля и величина ее амортизации, руб.;

$CC_c, A_c$  – себестоимость сортировки и величина ее амортизации, руб.

Следовательно, согласно выражению (1), использование схемы, представленной на рисунке 2, оправдано только в том случае, если убытки от полученного (и возможно поставленного потребителю) брака превышают затраты на использование контрольно-сортировочного оборудования. Тогда для исключения прохождения брака достаточно организации одного или двух дополнительных контрольных мест в производственной линии.

Но, по мнению авторов, существует еще одно решение – оснащение специальным контрольным устройством оборудования, на котором получают канавку катания. Таким образом, производится совмещение операций механической обработки и контроля. В этом случае возможны затраты только на оборудование, стоимость которого и затраты на его обслуживание и ремонт перекладываются на конечный продукт. У авторов имеется опыт создания приборов для контроля круглости и профиля различных изделий в широком диапазоне линейных размеров, например, возможно использование устройства [1], позволяющего оценить величину наплавленного припуска и форму поверхности изделия путем сравнения его изображения с библиотечным профилем, а отклонение от круглости возможно измерить с помощью прибора [2], принцип работы которого основан на проецировании фигуры, получающейся от проекций лучей лазерных излучателей, с дальнейшим ее сканированием ПЗС-матрицей. Аналогичный метод оценки точности получения профиля канавки катания лапы трехшарошечного бурового долота авторы

предлагают и в этом случае. На рисунке 3 изображена схема совмещения реального и виртуального профилей с указанием требований к нему.

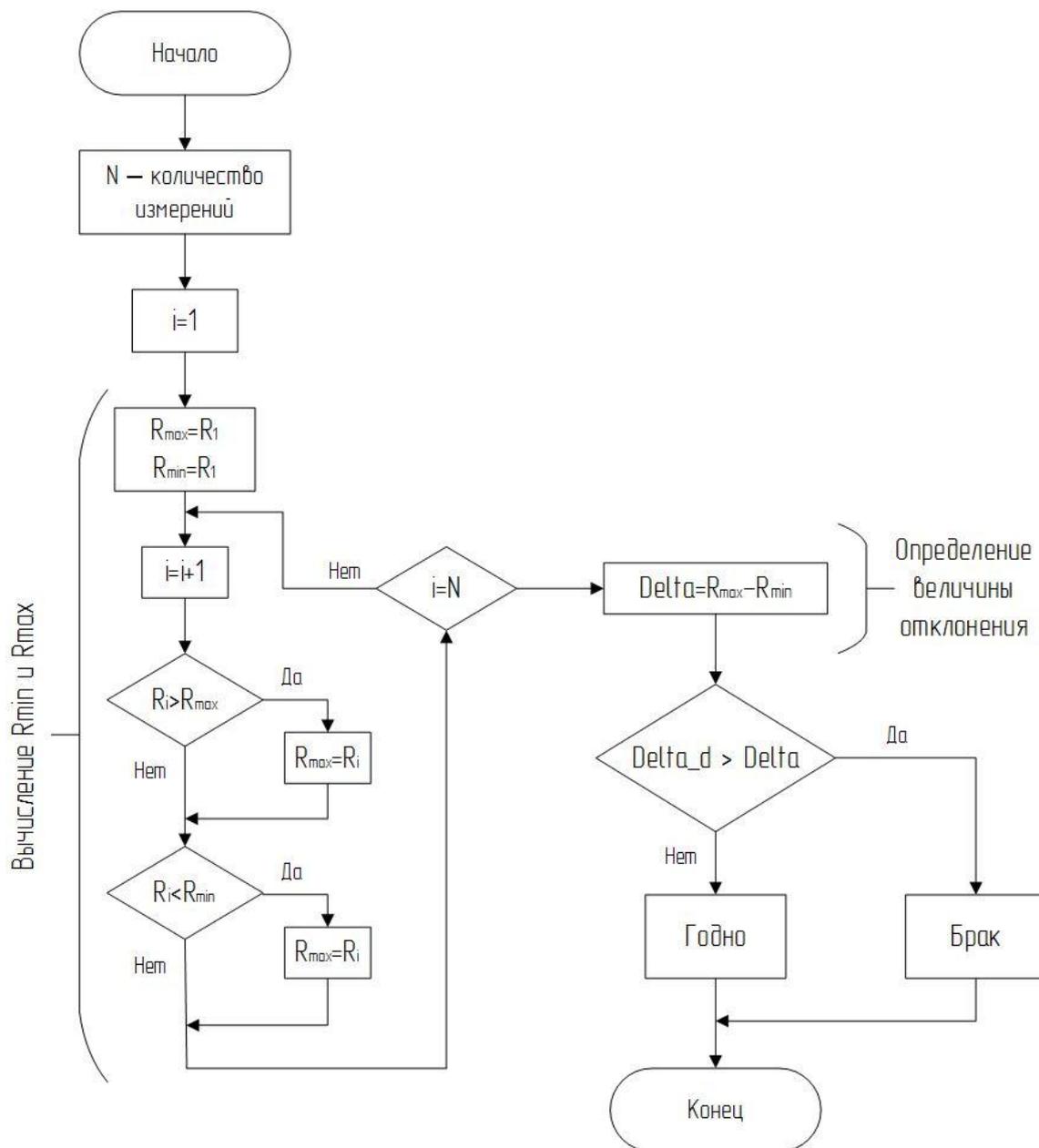


**Рисунок 3 – Совмещение профилей канавки катания,**

где  $D$  – наружный диаметр крепления лапы шарошки, мм;  $R$  – реальный радиус канавки, мм;  $R_M$  – радиус канавки в маске, мм;  $\Delta R$  – разница реального и масочного радиусов

Путем сравнения пиксельного изображения полученного профиля канавки катания лапы шарошки с радиусом на маске поверхности можно вычислить предельную величину отклонения радиуса, сравнить ее с заданным значением и определить величину отклонения. Подобный алгоритм измерений описан в [3], но авторы предлагают выполнять измерения отклонения от круглости поверхности катания тем же прибором, которым получают изображение профиля поверхности катания, для чего следует определить разницу координат точки, выбранной на поверхности полученного изображения профиля за один оборот детали. Однако следует учесть, что возможно изменение формы профиля за один оборот, следовательно, измерения следует выполнить в комплексе, то есть произвести оценку изготовления радиуса поверхности катания и отклонения ее от круглости. То есть в первом случае сделать сравнение полученного изображения профиля с его библиотечной маской, а во втором – произвести оценку только полученной картинке. Эти измерения будут иметь разные базы, например, для измерения отклонения от круглости за базу берется ось, определяющая центр вращения профиля поверхности канавки, и отсчет производят от нее, то есть процедура оценки отклонения от круглости будет выглядеть согласно алгоритму, приведенному на рисунке 4.

Важным при оценке как круглости канавки, так и точности выполнения ее профиля катания является достоверность выполнения измерений. Неоспоримым [4] является то, что в качестве базы для измерения канавки катания следует выбрать ось прибора, преобразуемую в виртуальную ось измерений. В то же время ось профиля канавки должна быть установлена строго по нормали к этой базовой оси. Под виртуальной осью можно понимать ось, совпадающую с горизонталями ПЗС-матрицы измерительного прибора, то есть должно отсутствовать отклонение изображения от горизонтальной оси. Таким образом, ось приспособления, в котором зажимается измеряемая деталь (лапа), должна совпадать с горизонталью ПЗС-матрицы. На рисунке 5 представлена схема расположения прибора и приспособления.



**Рисунок 4 – Процедура оценки круглости канавки катания лапы бурового долота, где  $N$  – количество измерений;  $i$  – номер текущего измерения;  $R_i$  – радиус соответствующего номера измерения, мм;  $R_{max}$  – максимальный радиус за период измерений, мм;  $R_{min}$  – минимальный радиус за период измерений, мм;  $delta$  – отклонение радиуса, мм;  $delta_d$  – допустимое отклонение радиуса, мм**

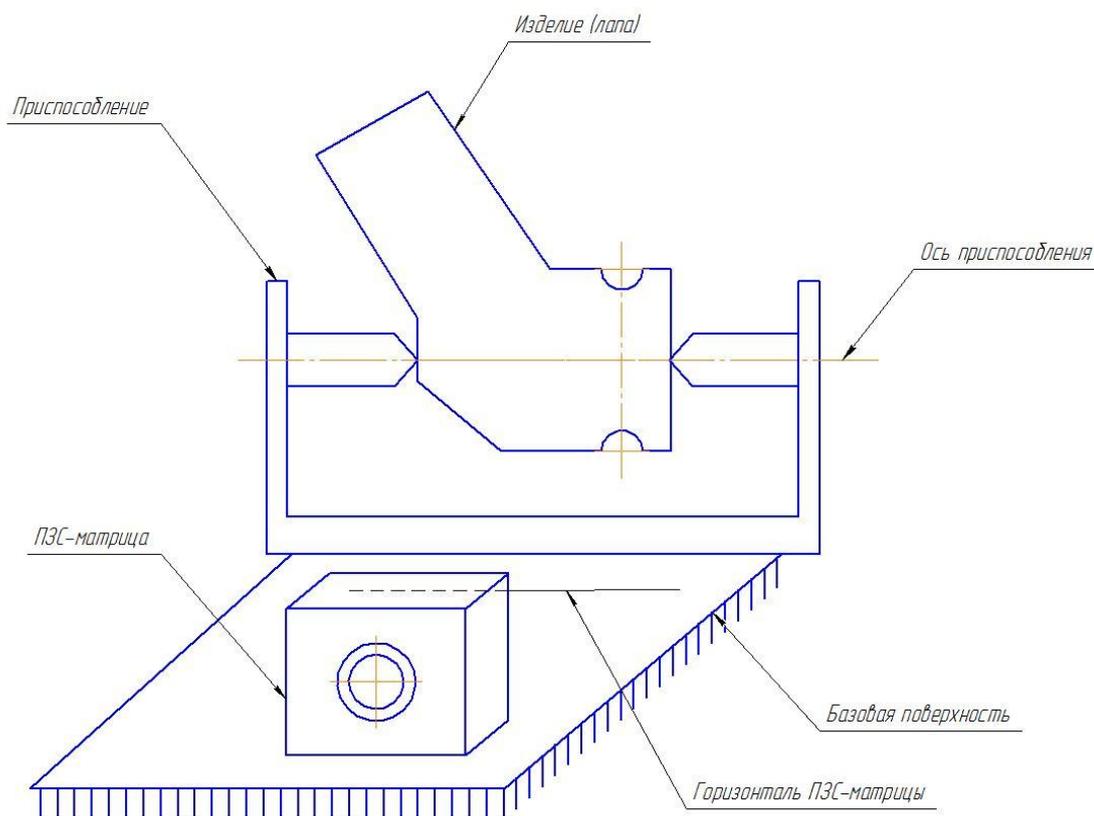


Рисунок 5 – Схема расположения прибора и приспособления

Настроить предложенное расположение осей приспособления и ПЗС-матрицы можно относительно некой базовой поверхности, располагающейся по нормали к вектору силы тяжести. Эти настройки занимают большое количество времени, но выполнены при помощи лазерного уровня. Следует учесть, что данная настройка приспособления и прибора связана с возникновением значительных погрешностей ввиду того, что ПЗС-матрица закреплена на плите, а плита размещена в корпусе камеры и т.д., что дает дополнительные погрешности. По этой причине можно сделать следующий вывод: для обеспечения достоверности выполнения операции контроля требуются значительные временные затраты на выполнение настройки прибора для определения отклонения радиуса канавки катания и точности выполнения профиля катания, таким образом, использование предлагаемого метода контроля оправдано в условиях крупносерийного и массового производства.

При встраивании прибора в существующую автоматическую или поточную линию требуется такое время выполнения контроля, которое не позволило бы снизить такт выпуска изделий, то есть длительность нахождения изделия в контрольном оборудовании не должна превышать времени такта. Рассмотрим, из чего складывается время выполнения контроля:

- время установки и закрепления изделия в контрольном приспособлении;
- время раскрепления и снятия изделия с контрольного приспособления;
- время выполнения измерений.

Первые два пункта нормируются либо по справочникам, либо с применением данных хронометража по использованию станочных приспособлений.

Время выполнения измерений требует подробной расшифровки, поскольку оно связано непосредственно с конструкцией контрольного приспособления и временем,

необходимым для программной обработки, одна из процедур которой представлена на рисунке 4.

Рассмотрим выполнение измерений в виде временной диаграммы, представленной на рисунке 6.

	$t_R$	$t_p$	$t_{Rot}$	
1	Вычисление радиуса	Анализ профиля	Поворот изделия	
2	Вычисление радиуса	Анализ профиля	Поворот изделия	
...				$t_k$
n	Вычисление радиуса	Анализ профиля	Поворот изделия	Вычисление отклонения

Рисунок 6 – Временная диаграмма выполнения контроля изделия

Как видно из диаграммы, на каждом шаге выполняется вычисление радиуса соответственно заданного профиля и поворота изделия, при этом 1, 2...n – количество шагов измерений, приходящихся на один оборот. Авторы неоднократно разрабатывали и использовали программные средства для анализа изображений и вычисления отклонений размеров или, например, величины наплавленного припуска [5]. И если процедура вычисления радиуса профиля канавки катания базируется на анализе всего одного столбца пикселей, то анализ всего профиля поверхности катания связан с анализом количества строк, равному количеству пикселей, приходящихся на радиус. То есть время выполнения одного шага  $t_{iu}$  измерений:

$$t_{iu} = t_R + 4/3 \cdot t_R \cdot R_i / \Delta, \text{ мин}, \quad (2)$$

где  $t_R$  – время вычисления радиуса, мин.;  $R_i$  – радиус канавки, мм;  $\Delta$  – цена одного пикселя, мм.

Таким образом, окончательное время выполнения измерений  $T$ :

$$T = t_3 + t_c + m \cdot (t_R + 4/3 \cdot t_R \cdot R / \Delta) + t_K, \text{ мин}, \quad (3)$$

где  $t_3$  – время установки и закрепления изделия в контрольном приспособлении, мин.;

$t_c$  – время раскрепления и снятия изделия с контрольного приспособления, мин.;

$t_R$  – время вычисления радиуса, мин.;

$t_K$  – время вычисления отклонения, мин.;

$R$  – радиус канавки, мм;

$\Delta$  – цена одного пикселя, мм;

$m$  – количество измерений.

Из выражения (2) следует, что время нахождения изделия в контрольном приспособлении определяется не только временем выполнения отдельных процедур, но и их количеством.

Наиболее длительной является процедура анализа профиля поверхности катания. Следует понимать, что возможно выполнение всего одной этой процедуры в течение измерительного цикла, который, как было описано выше, равен одному обороту.

Главным условием при реализации предложенного в настоящей статье метода оценки точности канавки является условие неперевышения времени такта времени выполнения измерений, так как это оказывает влияние на стоимость цикла производства изделия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Жуков Е.М., Блудов А.Н. Автоматизированное определение величины припуска наплавленного железнодорожного колеса // Информационные системы и технологии, 2014. – № 5. – С. 74-80.
2. Патент 121362 Российская Федерация, МПК G01B11/00. Лазерное устройство для определения погрешности формы крупногабаритных объектов / Б.С. Четвериков, М.С. Чепчуров, А.Н. Блудов. – № 2012126282/28; заяв. 22.06.2012; опубл. 20.10.2012; бюл. № 29.
3. Chetverikov B.S., Chepchurov M.S., Pogonin D.A. Definition of shape and position of complex geometric surfaces // World Applied Sciences Journal, 2014. – Vol. 31. – № 4. – P. 526-530.
4. Чепчуров М.С. Контроль и регистрация основных параметров резания при обработке крупногабаритных деталей // Технология машиностроения, 2008. – № 3. – С. 11-12.
5. Программа для определения линейных размеров объекта с использованием конвертации цветного изображения в монохромное; программа для ЭВМ / М.С. Чепчуров, Н.А. Табекина, Б.С. Четвериков, Д.А. Погонин, А.Н. Блудов. – № 2014661814. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 20.12.2014. Заявка № 2014619777 от 30.09.2014.

**Четвериков Борис Сергеевич**

ФГБОУ ВПО «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова», г. Белгород  
Аспирант кафедры «Технология машиностроения»  
E-mail: await\_rescue@mail.ru

**Чепчуров Михаил Сергеевич**

ФГБОУ ВПО «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова», г. Белгород  
Доктор технических наук, доцент, профессор кафедры «Технология машиностроения»  
E-mail: avtpost@mail.ru

---

B.S. ChETVERIKOV (*Post-graduate Student of the Department «Technology of mechanical engineering»*)

M.S. ChEPChUROV (*Doctor of Engineering Sciences, Associate Professor, Professor of the Department «Technology of mechanical engineering» Belgorod Shukhov State Technology University, Belgorod*)

**PROCESS AUTOMATION OF ACCURACY APPRAISAL OF FILLING RIFFLE FOR MANUFACTURING DRILLING BIT LEG**

*The article deals with issues related to the use of automated evaluation form accuracy in the preparation of the profile groove skating foot drill bit. The rationale for the choice of non-contact measurement method to control the accuracy of the groove shape skating. Also in the paper presents a block diagram of the assessment procedure roundness groove skating and layout of the instrument and control devices with a fixed him with his paw in the measurement process. Is a timing chart performance monitoring products, and a formula to calculate the time required for inspection. The proposed method the authors evaluate the accuracy of the automated form grooves skating achieves reduce material costs for the production of clutches, provided that the exhaust stroke of products does not exceed the performance of a complex measurement.*

**Keywords:** *precision; automation; measurement; drill bit; riffle.*

**BIBLIOGRAPHY (TRANSLITERATED)**

1. Zhukov E.M., Bludov A.N. Avtomatizirovannoe opredelenie velichiny' pripuska naplavlennogo zheleznodorozhnogo kola // Informacionny'e sistemy' i tehnologii, 2014. – № 5. – S. 74-80.

2. Patent 121362 Rossijskaya Federaciya, MPK G01B11/00. Lazernoe ustrojstvo dlya opredeleniya pogreshnosti formy' krupnogabaritny'x ob''ektov / B.S. Chetverikov, M.S. Chepchurov, A.N. Bludov. – № 2012126282/28; zayav. 22.06.2012; opubl. 20.10.2012; byul. № 29.
3. Chetverikov B.S., Chepchurov M.S., Pogonin D.A. Definition of shape and position of complex geometric surfaces // World Applied Sciences Journal, 2014. – Vol. 31. – № 4. – P. 526-530.
4. Chepchurov M.S. Kontrol' i registraciya osnovny'x parametrov pezaniya pri obrabotke krupnogabaritny'x detal' // Teknologiya mashinostroeniya, 2008. – № 3. – S. 11-12.
5. Programma dlya opredeleniya linejny'x razmerov ob''ekta s ispol'zovaniem konvertacii cvetnogo izobrazheniya v monoxromnoe; programma dlya E'VM / M.S. Chepchurov, N.A. Tabekina, B.S. Chetverikov, D.A. Pogonin, A.N. Bludov. – № 2014661814. Zaregistrirvano v Reestre programm dlya E'VM 20.12.2014. Zayavka № 2014619777 ot 30.09.2014.

УДК 681.3

О.В. КОНЮХОВА, А.А. МИТИН

**ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ  
АЛГОРИТМОВ ПРОВЕРКИ ДЕКОМПОЗИЦИИ  
НА СОЕДИНЕНИЕ БЕЗ ПОТЕРЬ И НА СОХРАНЕНИЕ ЗАВИСИМОСТЕЙ  
НА ЯЗЫКЕ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ HASKELL**

*В статье рассматривается один из возможных вариантов программной реализации алгоритма проверки декомпозиции на соединение без потерь и алгоритма проверки декомпозиции на сохранение зависимостей.*

***Ключевые слова:** отношение; декомпозиция отношений; алгоритм проверки декомпозиции на соединение без потерь; алгоритм проверки декомпозиции на сохранение зависимостей; программная реализация на языке функционального программирования Haskell.*

**ВВЕДЕНИЕ**

В современных базах данных (БД) широко используется реляционная модель данных, представляющая информацию в виде совокупности отношений и связей между ними. Ошибки, допущенные при проектировании схем БД, часто приводят к возникновению различного рода аномалий: вставки, обновления, удаления, избыточности данных.

Частично данную проблему позволяет решить процедура нормализации схем отношений, в частности, первая, вторая, третья нормальные формы (соответственно, 1НФ, 2НФ, 3НФ), использующие формальное понятие функциональной зависимости (ФЗ) [1-4].

Дальнейшее устранение избыточности осуществляется путем декомпозиции отношений на основе зависимостей более общего вида, что подробно изложено в работах [1-4]. Во избежание в процессе разбиения отношений потерь кортежей применяемая декомпозиция должна обладать свойством соединения без потерь, когда исходное отношение может быть восстановлено из его проекций. Кроме того, полезно знать, сохраняет ли используемая декомпозиция зависимости – ограничения, связанные с семантикой атрибутов отношения. В дальнейшем на основе полученных сведений (в случае потери зависимостей) может быть принято решение о реализации соответствующих ограничений на другом программном уровне, например, в виде триггеров или хранимых процедур.

Для проверки декомпозиции отношений на соблюдение указанных выше свойств существуют два алгоритма: алгоритм проверки декомпозиции на соединение без потерь и алгоритм проверки декомпозиции на сохранение зависимостей, которые детально описаны в [1-4]. Увеличение размерности исходных отношений, количества вариантов проекций, количества зависимостей сильно увеличивает рутинность выполняемых действий, что усложняет использование данных алгоритмов вручную. Естественным способом повышения эффективности представленных алгоритмов является автоматизация их применения путем программной реализации на языке программирования.

По мнению авторов, удобно использовать списочные структуры для представления отношений, схем отношений, проекций отношений, множества ФЗ. Тогда очевидным способом для программной реализации алгоритма проверки декомпозиции на соединение без потерь и алгоритма проверки декомпозиции на сохранение зависимостей видится использование языков функционального программирования, в частности, языка Haskell [5-7].

Рассмотрим один из возможных вариантов программной реализации алгоритма проверки декомпозиции на соединение без потерь и алгоритма проверки декомпозиции на сохранение зависимостей на языке функционального программирования Haskell.

### ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ АЛГОРИТМОВ ПРОВЕРКИ ДЕКОМПОЗИЦИИ НА СОХРАНЕНИЕ ЗАВИСИМОСТЕЙ И НА СОЕДИНЕНИЕ БЕЗ ПОТЕРЬ

Поскольку язык функционального программирования Haskell является типизированным [5-7], вначале необходимо указать используемые типы данных для аргументов и результатов функций.

Входными параметрами для указанных выше алгоритмов являются схема отношения, множества ФЗ, множество проекций декомпозиции. Фрагмент описания на языке Haskell используемых типов данных с подробными комментариями представлен на рисунке 1.

--Множество атрибутов – это список строк, в котором имя атрибута – это строка

**type AttrSet=[String]**

-- Схема отношения – это список атрибутов

**type Schem=[String]**

-- ФЗ – это кортеж из двух частей, каждая из которых – это список строк

-- Списки строк представляют собой наборы атрибутов в каждой части ФЗ

**type Fz=([String], [String])**

-- Множество ФЗ – это список кортежей

**type FzSet=[Fz]**

-- Проекция декомпозиции – это список атрибутов

**type Pr=[String]**

-- Множество проекций – это список проекций

**type PrSet=[Pr]**

*Рисунок 1 – Типы данных для входных параметров алгоритмов*

### ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ АЛГОРИТМА ПРОВЕРКИ ДЕКОМПОЗИЦИИ НА СОХРАНЕНИЕ ЗАВИСИМОСТЕЙ

Входными аргументами для алгоритма проверки декомпозиции на сохранение зависимостей, подробно рассмотренного в работах [1-4], являются схема отношения  $R = \{A_1, A_2, \dots, A_n\}$ , множество функциональных зависимостей  $F$ , декомпозиция  $\rho = \{R_1, R_2, \dots, R_k\}$ ; результатом является «Истина», если декомпозиция сохраняет зависимости, и «Ложь» в противном случае.

Суть алгоритма проверки декомпозиции на сохранение зависимостей заключается в том, что для каждой ФЗ вида  $X \rightarrow Y$  из множества ФЗ  $F$ , в частности, для ее левой части, строится замыкание множества атрибутов  $X^+$  относительно  $F$ , которое затем проецируется на элементы декомпозиции  $R_i$ . Если правая часть этой функциональной зависимости является подмножеством спроецированного на все элементы декомпозиции замыкания множества атрибутов  $X^+$ , то, следовательно, зависимость  $X \rightarrow Y$  выводима из  $F$ . Если данное условие выполняется для каждой функциональной зависимости  $X \rightarrow Y$  из  $F$ , то делается вывод о том, что декомпозиция сохраняет зависимости, в противном случае декомпозиция не сохраняет зависимости.

Описание основной функции данного алгоритма на языке Haskell представлено на рисунке 2, а описание вспомогательных функций с подробными комментариями – на рисунках 3 и 4 соответственно.

```
-- На вход подается 4 аргумента: схема отношения R, множество ФЗ, которые будут
-- проверяться на принадлежность замыканию множества атрибутов, множество ФЗ, на
-- котором будет строиться замыкание множества атрибутов, декомпозиция p
isSaveFz :: Schem -> FzSet -> FzSet -> PrSet -> Bool
isSaveFz [] ___ = error "Schema is null"
isSaveFz _ [] = True
isSaveFz ___ [] = True
isSaveFz r1 f1 f2 p1 | inSchem (snd (head f1)) temp = isSaveFz r1 (tail f1) f2 p1
                    | otherwise = False
                    where temp = createCAFz r1 f2 p1 (fst(head f1))
```

*Рисунок 2 – Описание главной функции алгоритма проверки декомпозиции на сохранение зависимостей*

```
-- Функция вычисления замыкания множества атрибутов
-- Вход: схема отношения, множество ФЗ, атрибуты, для которых вычисляется замыкание
closureAtr :: Schem -> FzSet -> AtrSet -> AtrSet
closureAtr [] __ = error "Schema is null"
closureAtr _ [] _ = []
closureAtr ___ [] = []
closureAtr r1 f1 x1 | not (inSchem x1 r1) = error "No"
                    | otherwise = sort (createCA f1 x1)
--
createCAFz1 :: Schem -> FzSet -> PrSet -> AtrSet -> AtrSet
createCAFz1 ___ [] x3 = x3
createCAFz1 r3 f3 (ph:pt) x3 = createCAFz1 r3 f3 pt temp
                    where temp = union x3(intersect ph (closureAtr r3 f3 (intersect x3 ph)))
--
-- Функция построения замыкания множества атрибутов для левой части ФЗ по проекциям
-- декомпозиции
createCAFz :: Schem -> FzSet -> PrSet -> AtrSet -> AtrSet
createCAFz r2 f2 p2 x2 | isEQ x2 temp2 = x2
                    | otherwise = createCAFz r2 f2 p2 temp2
                    where temp2 = createCAFz1 r2 f2 p2 x2
--
-- Вспомогательные функции вычисления множества атрибутов
createCA1 :: FzSet -> AtrSet -> AtrSet
createCA1 [] x3 = x3
createCA1 (fh:ft) x3 | inSchem (fst(fh)) x3 = createCA1 ft (union x3 (snd(fh)))
                    | otherwise = createCA1 ft x3
--
createCA :: FzSet -> AtrSet -> AtrSet
createCA f2 x2 | isEQ x2 temp = x2
                    | otherwise = createCA f2 temp
                    where temp = createCA1 f2 x2
```

*Рисунок 3 – Описание функций для вычисления замыкания множества атрибутов для каждой ФЗ из множества ФЗ*

```
-- Функция проверки принадлежности атрибутов схеме отношения
inSchem :: [String] -> [String] -> Bool
inSchem [] _ = True
inSchem _ [] = False
```

```

inSchem (l:ls) sch | elem l sch = inSchem ls sch
  | otherwise = False
-- Функция проверки множеств атрибутов на равенство
isEQ :: AtrSet -> AtrSet -> Bool
isEQ [] [] = True
isEQ [] _ = False
isEQ _ [] = False
isEQ a1 a2 | (head (sort a1)) == (head (sort a2)) = isEQ (tail(sort a1)) (tail(sort a2))
  | otherwise = False

```

Рисунок 4 – Описание вспомогательных функций для работы с атрибутами

В качестве примера рассмотрим отношение, состоящее из атрибутов  $R = \{\text{Город, Улица, Индекс}\}$  со следующими зависимостями:  $F = \{\text{Город Улица} \rightarrow \text{Индекс, Индекс} \rightarrow \text{Город}\}$ . Предполагается выполнить декомпозицию исходного отношения следующим образом:  $\rho = \{(\text{Город, Индекс}), (\text{Улица, Индекс})\}$ .

Описание входных данных для этого примера на языке Haskell представлено на рисунке 5.

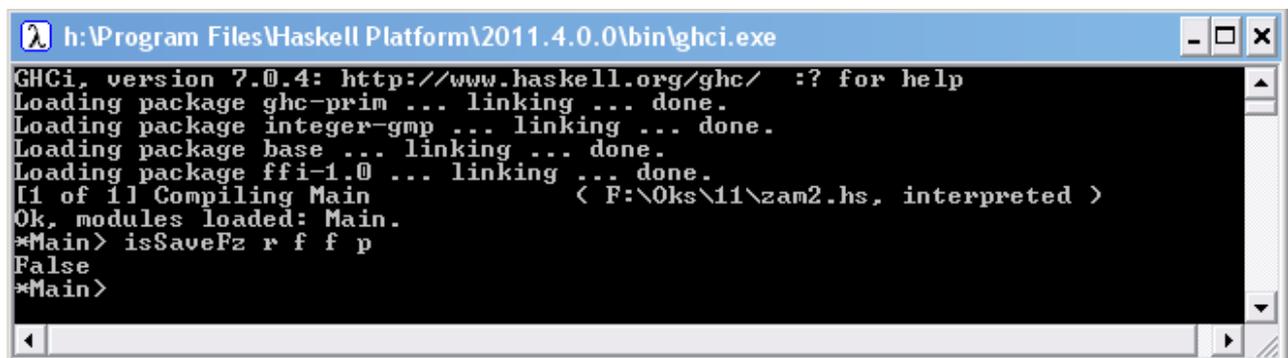
```

r :: Schem
r = ["CITY", "STREET", "INDEX"]
f :: FzSet
f = [{"CITY", "STREET"}, {"INDEX"}], [{"INDEX"}, {"CITY"}]]
p :: PrSet
p = [{"CITY", "INDEX"}, {"STREET", "INDEX"}]

```

Рисунок 5 – Описание входных параметров для вызова функции `isSaveFz`

В результате вычисления функции `isSaveFz r f p` получен отрицательный результат, т.е. указанная декомпозиция не сохраняет зависимости на заданном множестве ФЗ, как показано на рисунке 6.



```

h:\Program Files\Haskell Platform\2011.4.0.0\bin\ghci.exe
GHCi, version 7.0.4: http://www.haskell.org/ghc/  :? for help
Loading package ghc-prim ... linking ... done.
Loading package integer-gmp ... linking ... done.
Loading package base ... linking ... done.
Loading package ffi-1.0 ... linking ... done.
[1 of 1] Compiling Main
                ( F:\0ks\11\zam2.hs, interpreted )
Ok, modules loaded: Main.
*Main> isSaveFz r f p
False
*Main>

```

Рисунок 6 – Демонстрация работы функции, реализующей алгоритм проверки декомпозиции на сохранение зависимостей

## ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ АЛГОРИТМА ПРОВЕРКИ ДЕКОМПОЗИЦИИ НА СОЕДИНЕНИЕ БЕЗ ПОТЕРЬ

Алгоритм проверки декомпозиции на соединение без потерь, который детально рассмотрен в работах [1-4], имеет следующие входные параметры: схема отношения  $R = \{A_1, A_2, \dots, A_n\}$ , множество функциональных зависимостей  $F$ , декомпозиция  $\rho = \{R_1, R_2, \dots, R_k\}$ ; результатом является «Истина», если декомпозиция обладает свойством соединения без потерь, и «Ложь» в противном случае.

Суть данного алгоритма заключается в том, что строится двумерная таблица, которая заполняется символами  $a$  и  $b$  в соответствии с итерациями алгоритма до тех пор, пока в нее нельзя внести больше никаких изменений. Если после этого в таблице находится хотя бы одна строка, состоящая только из символов  $a$ , то делается вывод о том, что указанная декомпозиция обладает свойством соединения без потерь.

Описание дополнительных типов на Haskell для построения двумерной таблицы представлено на рисунке 7, а описание главной функции алгоритма – на рисунке 8.

```
-- Строка таблицы – это список строк
type Stroka=[String]
-- Таблица – это список строк таблицы
type Tabl=[Stroka]
```

*Рисунок 7 – Описание типов для двумерной таблицы*

```
-- На вход подается схема отношения  $R$ , множество ФЗ  $F$ , множество проекций  $p$ 
isSaveData :: Schem -> FzSet -> PrSet -> Bool
isSavaData __ [] = True
isSaveData r1 f1 p1 | isEqA t = True
                    | otherwise = False
where t = updateTable r1 f1 (createTable r1 p1 1 1)
```

*Рисунок 8 – Описание главной функции алгоритма проверки декомпозиции на соединение без потерь*

Описание дополнительных функций для преобразования двумерной таблицы приведены на рисунке 9.

```
-- Вспомогательная функция преобразования строк таблицы
updateTable3 :: Schem -> Fz -> Stroka -> Tabl -> Tabl
updateTable3 ___ [] = []
updateTable3 r1 f1 str1 (strh:strt) =
updateStroka r1 f1 str1 strh:updateTable3 r1 f1 str1 strt
-- Вспомогательная функция, изменяющая каждую строку таблицы в соответствии со значением других строк таблицы
updateTable2 :: Schem -> Fz -> Tabl -> Tabl -> Tabl
updateTable2 __ [] t1 = t1
updateTable2 r1 f1 (th:tl) t1 = updateTable2 r1 f1 tl temp
                        where temp = updateTable3 r1 f1 th t1
-- Вспомогательная функция, осуществляющая обновление таблицы для каждой ФЗ
updateTable1 :: Schem -> FzSet -> Tabl -> Tabl
updateTable1 _ [] t1= t1
updateTable1 r1 (fh:ft) t1 = updateTable1 r1 ft temp
                        where temp = updateTable2 r1 fh t1 t1
-- Функция преобразования таблицы по ФЗ
-- На вход подается схема отношения, множество ФЗ и исходная таблица
-- На выходе формируется измененная таблица
-- Изменения осуществляются, пока старая и новая таблицы не будут одинаковыми
updateTable :: Schem -> FzSet -> Tabl -> Tabl
updateTable r1 f1 t1          | t1==temp = t1
                            | otherwise = updateTable r1 f1 temp
where temp = updateTable1 r1 f1 t1
```

*Рисунок 9 – Описание функций для преобразования таблицы*

Описание на языке Haskell вспомогательных функций для создания двумерной таблицы представлено на рисунке 10, а функций, изменяющих строки таблицы, – на рисунке 11.

```
-- Функция создания строки таблицы
createStroka :: Schem -> Pr -> Int -> Int -> Stroka
createStroka [] _ _ _ = []
createStroka (rh:rl) p1 i j      | (elem rh p1) = ("a"++ (show j)):(createStroka rl p1 i (j+1))
                                | otherwise = ("b"++ (show i) ++ (show j)): (createStroka rl p1 i (j+1))
-- Функция создания таблицы
createTable :: Schem -> PrSet -> Int -> Int -> Tabl
createTable _ [] _ _ = []
createTable r1 (ph:pl) i j = (createStroka r1 ph i j):(createTable r1 pl (i+1) 1)
```

*Рисунок 10 – Описание функций для создания двумерной таблицы*

```
-- Функция получения списка строки символов из таблицы для левой части ФЗ
-- На вход подается схема, левая часть ФЗ и строка таблицы
-- На выходе формируется строка символов, соответствующая левой части ФЗ
getX :: Schem -> [String] -> Stroka -> Stroka
getX _ [] _ = []
getX (rh:rt) (fh:ft) (sh:st)      | rh==fh = sh:(getX rt ft st)
                                    | otherwise = getX rt (fh:ft) st
-- Вспомогательная функция проверки строки таблицы на наличие всех символов а
isEqStrA :: Stroka -> Bool
isEqStrA [] = True
isEqStrA (sh:sl) | (head sh) == 'a' = isEqStrA sl
                  | otherwise = False
-- Функция проверки строк таблицы на наличие всех символов а
isEqA :: Tabl -> Bool
isEqA [] = False
isEqA (th:tl) | isEqStrA th = True
               | otherwise = isEqA tl
-- Функция преобразования одной строки таблицы для правой части ФЗ
putY :: Schem -> [String] -> Stroka -> Stroka -> Stroka
putY [] _ _ _ = []
putY (rh:rt) f1 (sh1:st1) (sh2:st2) | ((elem rh f1) && ((head sh2)=='b'))
= sh1:(putY rt f1 st1 st2)
                                     | otherwise = sh2:(putY rt f1 st1 st2)
-- Вспомогательная функция изменения атрибутов строки по детерминанте ФЗ
updateStroka :: Schem -> Fz -> Stroka -> Stroka -> Stroka
updateStroka r1 f1 s1 s2      | (getX r1 (fst f1) s1) == (getX r1 (fst f1) s2)
= putY r1 (snd f1) s1 s2
                               | otherwise = s2
```

*Рисунок 11 – Описание функций, изменяющих строки таблицы*

В качестве примера рассмотрим приведенное ранее отношение, параметры которого представлены на рисунке 5 настоящей статьи.

В результате вычисления функции **isSaveData r f p** получен положительный результат, т.е. указанная декомпозиция обладает свойством соединения без потерь на заданном множестве ФЗ, как показано на рисунке 12.

```

h:\Program Files\Haskell Platform\2011.4.0.0\bin\ghci.exe
GHCi, version 7.0.4: http://www.haskell.org/ghc/  :? for help
Loading package ghc-prim ... linking ... done.
Loading package integer-gmp ... linking ... done.
Loading package base ... linking ... done.
Loading package ffi-1.0 ... linking ... done.
[1 of 1] Compiling Main                < F:\oks\11\zam2.hs, interpreted >
Ok, modules loaded: Main.
*Main> isSaveData r f p
True
*Main>
    
```

Рисунок 12 – Демонстрация работы функции, реализующей алгоритм проверки декомпозиции на соединение без потерь

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Алгоритмы проверки декомпозиции отношений на сохранение зависимостей и на соединение без потерь позволяют избежать ошибок при проектировании схем БД. Программная реализация этих алгоритмов, в частности, рассмотренный выше вариант реализации на языке Haskell, позволяет свести к минимуму рутинные операции, связанные с проверкой декомпозиций. Как следствие, это позволит ускорить процесс построения корректных схем БД даже при значительном количестве отношений в схемах.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гордиенко А.П. Теория проектирования реляционных баз данных: учебное пособие. – Орел: ОрелГТУ, 1999. – 42 с.; ил.
2. Мейер Д. Теория реляционных баз данных: пер. с англ. – М.: Мир, 1987. – 608 с.; ил.
3. Дейт К.Дж. Введение в системы баз данных. 7-е издание: пер. с англ. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2001. – 1072 с.; ил. – парал. тит. англ.
4. Гарсиа-Молина Г., Ульман Д.Дж., Уидом Дж. Системы баз данных. Полный курс: пер. с англ. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2003. – 1088 с.; ил. – парал. тит. англ.
5. Информация по языку Haskell [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.haskell.ru>.
6. Холomorphic А. Учебник по Haskell [Электронный ресурс]. – URL: <http://anton-k.github.io/ru-haskell-book/files/ru-haskell-book.pdf>.
7. Душкин Р.В. Функциональное программирование на языке Haskell. – М.: ДМК-Пресс, 2007. – 608 с.; ил.

### Конюхова Оксана Владимировна

ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК», г. Орел  
 Кандидат технических наук, доцент кафедры «Информационные системы»  
 Тел.: 8 (4862) 76-19-10  
 E-mail: oks1112@yandex.ru

### Митин Александр Александрович

ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК», г. Орел  
 Кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Информационные системы»  
 Тел.: 8 (4862) 43-49-56, 8 (4862) 55-64-19  
 E-mail: mcc77@yandex.ru

O.V. KONYUXOVA (*Candidate of Engineering Sciences,  
 Associate Professor of the Department «Information Systems»*)

A.A. MITIN (*Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor,  
 Associate Professor of the Department «Information Systems»  
 State University – ESPC, Orel*)

**IMPLEMENTATION OF THE LOSSLESS-JOIN DECOMPOSITION  
VALIDATION ALGORITHM AND DEPENDENCY-PRESERVATION  
DECOMPOSITION VALIDATION ALGORITHM IN HASKELL**

*In this paper there is little description of task one of the possible ways of implementation of the lossless-join decomposition validation algorithm and dependency- preservation decomposition validation algorithm in Haskell.*

**Keywords:** *relation; relation decomposition; lossless-join decomposition validation algorithm; dependency-preservation validation algorithm; implementation in Haskell.*

**BIBLIOGRAPHY (TRANSLITERATED)**

1. Gordienko A.P. Teoriya proektirovaniya relyacionny'x baz danny'x: uchebnoe posobie. – Orel: OrelGTU, 1999. – 42 s.; il.
2. Mejer D. Teoriya relyacionny'x baz danny'x: per. s angl. – M.: Mir, 1987. – 608 s.; il.
3. Dejt K.Dzh. Vvedenie v sistemy' baz danny'x, 7-e izdanie: per. s angl. – M.: Izdatel'skij dom «Vil'yams», 2001. – 1072 s.; il. – paral. tit. angl.
4. Garsia-Molina G., Ul'man D.Dzh., Uidom Dzh. Sistemy' baz danny'x. Polny'j kurs: per. s angl. – M.: Izdatel'skij dom «Vil'yams», 2003. – 1088 s.; il. – paral. tit. angl.
5. Informaciya po yazy'ku Haskell [E'lektronny'j resurs]. – URL: <http://www.haskell.ru>.
6. Xolom'yov, A. Uchebnik po Haskell [E'lektronny'j resurs]. – URL: <http://anton-k.github.io/ru-haskell-book/files/ru-haskell-book.pdf>.
7. Dushkin R.V. Funkcional'noe programmirovaniye na yazy'ke Haskell. – M.: DMK Press, 2007. – 608 s.; il.

Н.А. ОРЕШИН, В.С. ШУМИЛИН, Е.Г. ЗАВОДАЕВ, О.Э. ЕГИН

## МАТЕМАТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ИДЕНТИФИКАЦИИ КАДРА-ВСТАВКИ В МУЛЬТИМЕДИЙНОМ ПОТОКЕ

*В статье рассматриваются математические аспекты идентификации кадра-вставки в мультимедийном потоке на основе использования методики оценки экстремальной суммарной дифференциальной яркости изображений последовательности кадров.*

**Ключевые слова:** мультимедийный поток; кадр-вставка; интенсивность пикселя; яркость изображения кадров.

Социально-политическая и экономическая обстановки в современном мире обуславливают необходимость резкого повышения уровня безопасности функционирования как государственных, так и коммерческих машиностроительных предприятий промышленного комплекса страны.

Одним из возможных направлений решения данной проблемы является модернизация автоматизированных систем управления, которые наряду с управленческими аспектами признаны решать целый класс задач, связанный с автоматизацией процессов, обеспечивающих необходимый уровень контроля и управления доступом персонала при тенденции удаления наблюдаемых объектов от центров управления и существенном увеличении их числа [1, 2].

Увеличение количества контролируемых объектов и зон наблюдения при модернизации систем управления и контроля доступом персонала приводит к значительным затратам материальных средств и технических ресурсов.

Вполне очевидно, что одним из путей снижения расходов является разработка и внедрение в автоматизированные системы управления новых технологий, позволяющих при существующих сетях передачи данных обеспечить передачу информации, необходимой для реализации функций управления и контроля доступом персонала, удовлетворяющих современным требованиям.

Как показали проведенные исследования, повышение эффективности использования пропускной способности существующих вычислительных сетей (сетей передачи данных) возможно при внедрении в автоматизированные системы управления и контроля доступом эксклюзивных методов формирования мультимедийного потока, содержащего как видеокadres, так и кадры-вставки, а также цифровых методов идентификации кадров-вставок в потоке видеоданных [3, 4]. Эти обстоятельства определяют актуальность и содержание данной статьи.

В работе будем различать два класса кадров  $\Psi_1, \Psi_2 \in \Psi$  в мультимедийном потоке, рассматриваемом как последовательность кадров  $K(t) = \left\{ \kappa_{\text{пот } k} \right\} = \kappa_{\text{пот } 1}, \kappa_{\text{пот } 2}, \kappa_{\text{пот } 3}, \dots$ , поступающих от устройств видеонаблюдения.

Класс  $\Psi_1$  объединяет видеокadres  $\kappa_{\text{вид } k} \in \Psi_1$  мультимедийного потока, которые несут сведения о наблюдаемом объекте в период его обычного функционирования (когда вопрос о допуске персонала к объекту не рассматривается).

Класс  $\Psi_2$  объединяет кадры-вставки  $\kappa_{вст k} \in \Psi_2$  мультимедийного потока, которые несут сведения о наблюдаемом объекте в период его активного функционирования (когда решается вопрос о допуске персонала к наблюдаемому объекту).

Для принятия решения о классе кадра мультимедийного потока сопоставим каждую переменную состояния кадра с некоторым конкретным значением и на основании результатов данного сопоставления отнесем это состояние к тому или иному классу.

Выработка и принятие данного решения осуществляются в условиях ограниченного числа наблюдений и сопровождаются ошибками первого  $\alpha$  и второго  $\beta$  родов. При этом ошибку, возникающую при принятии решения о том, что кадр-вставка не определен, когда он есть, назовем ошибкой первого рода, а ошибку, возникающую при принятии решения о том, что кадр-вставка определен, когда его нет, – ошибкой второго рода.

В настоящее время известно множество методик, позволяющих из общего мультимедийного потока  $K(t) = \left\{ \kappa_{пот k} \right\}$  (в котором кроме видеок кадров  $\kappa_{вид k} \in \Psi_1$  содержатся кадры-вставки  $\kappa_{вст k} \in \Psi_2$ ) выделить необходимые для принятия решения о допуске персонала к наблюдаемому объекту кадры-вставки  $\kappa_{вст k} \in \Psi_2$ .

Проведенный в работе анализ существующих методов идентификации кадров-вставок в мультимедийном потоке показывает, что эти методы при выявлении вставки в видеопотоке в основном используют сравнение интегральной яркости двух последовательных кадров с заданным пороговым значением. При таком сравнении ни один из известных методов не позволяет достичь требуемых значений вероятностей ошибок первого  $\alpha$  и второго  $\beta$  рода при принятии решения о классе кадра в видеопотоке. Это обусловлено, прежде всего, тем, что интегральная яркость двух последовательных кадров в разных сюжетах носит вероятностный характер.

Исследования статистических свойств изображений двух последовательных кадров в разных сюжетах и кадров-вставок показывают, что уменьшение значений ошибок первого и второго рода возможно благодаря использованию математического аппарата, основанного на вычислении экстремальной суммарной дифференциальной яркости последовательности кадров.

Исходными данными, необходимыми для идентификации кадра-вставки данным подходом, являются следующие величины:

- $K(t) = \left\{ \kappa_{пот k} \right\} = \kappa_{пот 1}, \kappa_{пот 2}, \kappa_{пот 3}, \dots$  – множество кадров в видеопотоке;
- $\Psi_1, \Psi_2 \in \Psi$  – множество классов кадров видеопотока;
- $\Psi_1$  – класс, включающий кадры видеоизображения  $\kappa_{вид k} \in \Psi_1$ ;
- $\Psi_2$  – класс, включающий кадры-вставки  $\kappa_{вст k} \in \Psi_2$ ;
- $I(t) = \left\{ I_k / k = \overline{1, K} \right\}$  – множество изображений кадров в мультимедийном потоке

$$K(t) = \left\{ \kappa_{пот k} \right\};$$

- $\Delta_1$  – априорно заданная абсолютная погрешность дифференциальной яркости, заданная для определения порога принятия решения о классе наблюдаемого кадра при идентификации кадра-вставки.

Идентификацию видеовставок в мультимедийном потоке будем осуществлять при предположении, что изображения видеок кадров  $\mathcal{K}_{\text{вид}k'} \in \left\{ \mathcal{K}_{\text{вид}k'} / k' = \overline{1, K'} \right\}$  и кадров-вставок  $\mathcal{K}_{\text{вст}k''} \in \left\{ \mathcal{K}_{\text{вст}k''} / k'' = \overline{1, K''} \right\}$  являются растровыми, то есть представляющими собой сетку пикселей – цветных точек на мониторе, бумаге и других отображающих устройствах и материалах.

В статье выбор растрового изображения для решения задачи идентификации кадров-вставок обосновывается основными характеристиками и достоинствами, которыми они обладают.

По результатам проведенного анализа к важным характеристикам растрового изображения кадров можно отнести [5, 6]:

- ограниченное количество пикселей, которое может указываться отдельно как по ширине и высоте (например, 1024×768, 640×480), так и в целом на изображение;
- достаточное для практики количество используемых цветов, то есть глубина цвета;
- возможность использования различных цветовых моделей (цветовых пространств), в частности *RGB*, *СМУК*, *XYZ*, *YCbCr*;
- высокое разрешение.

К основным преимуществам растрового изображения по отношению к векторному изображению можно отнести [7]:

- растровую графику редактируют с помощью эффективных растровых графических редакторов;
- растровая графика создается видеокамерами, регистраторами, фотоаппаратами, сканерами непосредственно в растровом редакторе путем экспорта из векторного редактора или в виде снимков экрана;
- растровая графика позволяет создать практически любой рисунок вне зависимости от сложности (векторная графика не позволяет точно передать эффект перехода от одного цвета к другому без потерь в размере файла);
- распространенность – растровая графика используется сейчас практически везде: от маленьких значков до плакатов;
- высокая скорость обработки сложных изображений, если не нужно масштабирование;
- растровое представление изображения естественно для большинства устройств ввода-вывода графической информации, таких, как мониторы (за исключением векторных устройств вывода), матричные и струйные принтеры, цифровые фотоаппараты, сканеры, а также сотовые телефоны.

При растровом изображении  $k$ -ый кадр мультимедийного потока  $\mathcal{K}(t) = \left\{ \mathcal{K}_{\text{пот}k} \right\} = \mathcal{K}_{\text{пот}1}, \mathcal{K}_{\text{пот}2}, \mathcal{K}_{\text{пот}3}, \dots$  можно представить в виде сетки пикселей  $\pi_{i,j}^k$ , которую математически будем описывать двумерной матрицей

$$\mathcal{K}_{\text{пот}k} = \left\| \pi_{i,j}^k \right\|, i = \overline{1, I}, j = \overline{1, J},$$

где  $k$  – номер наблюдаемого кадра,  $i$  и  $j$  – соответственно номера столбца и строки матрицы, на пересечениях которых расположен пиксель.

Поскольку пиксель  $\pi_{i,j}^k$  характеризуется определенным цветом  $c_{i,j}^k$ , то изображением кадра является множество цветных точек.

При описании цвета пикселя будем использовать аддитивную цветовую модель *RGB* (аббревиатура английских слов *Red, Green, Blue* – красный, зеленый, синий). В основу данной модели положена прямоугольная система координат с осями величин  $r, g$  и  $b$ , значения которых определяют интенсивности соответственно красного, зеленого и синего цветов [8].

Учитывая, что в данной модели цвет  $c_{i,j}^k$  пикселя  $k$ -го кадра характеризуется интенсивностями трех цветовых составляющих  $r_{ij}^k, g_{ij}^k, b_{ij}^k$ , то величину  $c_{ij}^k$  математически будем описывать упорядоченным множеством  $c_{ij}^k = \left( r_{ij}^k, g_{ij}^k, b_{ij}^k \right)$ .

При таком описании цвета цветовое пространство пикселя в модели *RGB* представляет собой куб, показанный на рисунке 1.

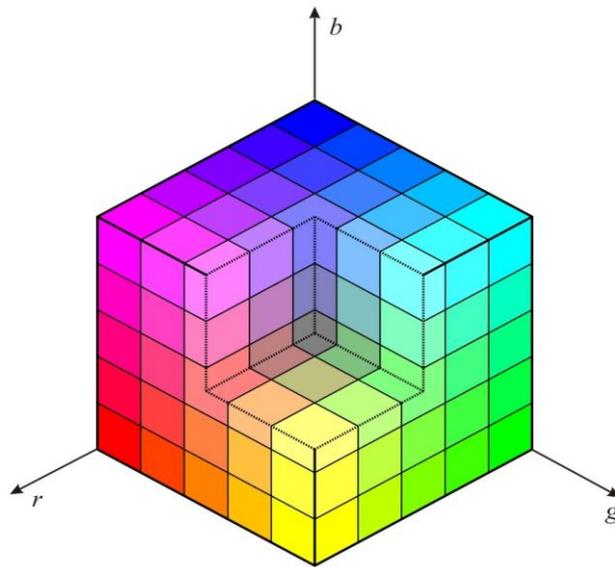


Рисунок 1 – Цветовое пространство пикселя

Точки, соответствующие красному, зеленому и синему цветам, расположены в трех вершинах куба, лежащих на координатных осях  $r, g, b$ . Голубой (зеленый плюс синий), пурпурный (красный плюс синий) и желтый (красный плюс зеленый) цвета расположены в трех других вершинах этого куба. Черный цвет находится в начале координат, а белый – в наиболее удаленной от начала координат вершине.

В рассматриваемой модели оттенки серого цвета (точки с равными  $r, g, b$  значениями) лежат на диагонали, соединяющей черную и белую вершины.

Различные цвета в этой модели представляют собой точки на поверхности или внутри куба и определяются вектором, проведенным в данную точку из начала координат, или упорядоченным множеством (кортежем)  $c_{i,j}^k = \left( r_{i,j}^k, g_{i,j}^k, b_{i,j}^k \right)$ .

С учетом введенных обозначений цвета пикселя  $c_{i,j}^k$  и определения кадра  $k$  изображение  $I_k$   $k$ -го кадра видеопотока представим в форме матрицы размером  $I \times J$ :

$$I_k = \begin{bmatrix} c_{0,0}^k & c_{0,1}^k & \cdots & c_{0,J-1}^k \\ c_{1,0}^k & c_{1,1}^k & \cdots & c_{1,J-1}^k \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ c_{I-1,0}^k & c_{I-1,1}^k & \cdots & c_{I-1,J-1}^k \end{bmatrix}. \quad (1)$$

Предлагаемая методика идентификации кадра-вставки  $K_{\text{вст}} = \left\{ \kappa_{\text{вст},k'} / \sqrt{1, K'} \right\} \in \Psi_2$  основывается на цифровых способах обработки видеоданных. Поэтому процесс обработки начинается с определения последовательности изображений  $I(t) = \left\{ I_k / k = \overline{1, K} \right\}$ , элементами которого являются изображения  $I_k$   $k$ -го кадра, входящего в мультимедийный поток  $K(t) = \left\{ \kappa_{\text{пот},k} / \sqrt{1, K} \right\}$ , по выражению (1). Это действие математически опишем в виде отображения  $Q: K(t) \rightarrow I(t)$ , где  $I(t) = \left\{ I_k / k = \overline{1, K} \right\}$ .

Затем путем цифровой обработки потока изображений кадров  $I(t) = \left\{ I_k / k = \overline{1, K} \right\}$  подходом, основанным на оценке экстремальной суммарной дифференциальной яркости последовательности кадров, определяется по выбранному критерию класс кадров мультимедийного потока.

При этом для каждого изображения  $I_k$   $k$ -го кадра определяется интегральная яркость по выражению

$$C_k = \sum_i^I \sum_j^J \left( r_{i,j}^k, g_{i,j}^k, b_{i,j}^k \right) = \sum_i^I \sum_j^J r_{i,j}^k + \sum_i^I \sum_j^J g_{i,j}^k + \sum_i^I \sum_j^J b_{i,j}^k. \quad (2)$$

В результате цифровой обработки двух изображений  $I_k$  и  $I_l$  наблюдаемых кадров  $\kappa_{\text{пот},k}$ ,  $\kappa_{\text{пот},l}$  находится разностное изображение  $I_{k,l}$  кадра-свертки  $\kappa_{\text{сверт},k,l}$ , выражаемое матрицей

$$I_{k,l} = I_k - I_l = \begin{bmatrix} c_{0,0}^{(k,l)} & c_{0,1}^{(k,l)} & \cdots & c_{0,J-1}^{(k,l)} \\ c_{1,0}^{(k,l)} & c_{1,1}^{(k,l)} & \cdots & c_{1,J-1}^{(k,l)} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ c_{I-1,0}^{(k,l)} & c_{I-1,1}^{(k,l)} & \cdots & c_{I-1,J-1}^{(k,l)} \end{bmatrix}. \quad (3)$$

Элементами данной матрицы являются трехэлементные кортежи  $c_{i,j}^{(kl)} = \left( \left| r_{i,j}^k - r_{i,j}^l \right|, \left| g_{i,j}^k - g_{i,j}^l \right|, \left| b_{i,j}^k - b_{i,j}^l \right| \right)$ , которые в дальнейшем используются для определения интегральной яркости  $C_{k,l}$  разностного изображения  $I_{k,l}$  кадра-свертки:

$$\begin{aligned}
C_{k,l} &= \sum_i^I \sum_j^J \left( \left| r_{i,j}^k - r_{i,j}^l \right|, \left| g_{i,j}^k - g_{i,j}^l \right|, \left| b_{i,j}^k - b_{i,j}^l \right| \right) = \\
&= \sum_i^I \sum_j^J \left| r_{i,j}^k - r_{i,j}^l \right| + \sum_i^I \sum_j^J \left| g_{i,j}^k - g_{i,j}^l \right| + \sum_i^I \sum_j^J \left| b_{i,j}^k - b_{i,j}^l \right|. \quad (4)
\end{aligned}$$

Оценка класса кадра  $\Psi_1, \Psi_2 \in \Psi$  при таком подходе осуществляется путем сравнения величин  $C_{(k,l)_i} \in C_{k,l}$  с пороговым значением  $C_{\text{пор}_1}$ , определяемым (с учетом априорно заданной абсолютной погрешности дифференциальной яркости  $\Delta_1$ ) как среднее арифметическое интегральных яркостей разностных изображений первых трех кадров анализируемого окна кадров-сверток:

$$C_{\text{пор}_1} = \frac{\sum_{i=1}^3 C_{(k,l)_i}}{3} + \Delta_1, \quad (5)$$

где  $C_{(k,l)_i}$  –  $i$ -ая интегральная яркость в окне изображений кадров-сверток.

Таким образом, в статье представлены математические аспекты идентификации кадرا-вставки в мультимедийном потоке на основе использования методики оценки экстремальной суммарной дифференциальной яркости изображений последовательности кадров.

Предложенная методика отталкивается от общепринятых способов решения задач с априорно заданным значением яркости, необходимым для формирования критерия по идентификации видеовставок.

Реализация предложенной методики в системах видеонаблюдения позволит идентифицировать один, два и три кадра-вставки в мультимедийном потоке.

Предлагаемая методика идентификации кадра-вставки позволяет по отношению к известным методам обработки видеоданных уменьшить ошибки первого  $\alpha$  и второго  $\beta$  рода при оценке классов кадров, в которых интегральная яркость изображения кадров характеризуется некоторой стационарностью [9, 10].

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ерош И.Л., Сергеев М.Б., Соловьев Н.В. Обработка и распознавание изображений в системах превентивной безопасности: учебное пособие. – СПб.: ГУАП, 2005. – 154 с.
2. Еременко В.Т. Моделирование процессов информационного обмена в распределенных управляющих системах: монография. – М: Машиностроение-1, 2004. – 224 с.
3. Еременко В.Т. Компьютерная графика: методы, модели и средства преобразования графической информации: монография / В.Т. Еременко, А.П. Фисун, И.С. Константинов, Д.В. Агарков, Е.А. Семашко. – Орел: ОрелГТУ, 2010. – Т. 1. – 364 с.
4. Красильников Н.Н. Цифровая обработка изображений. – М.: Вузовская книга, 2001. – 320 с.
1. Грузман И.С. и др. Цифровая обработка изображений в информационных системах. – НГТУ. Новосибирск, 2000. – 156 с.
5. Потапов А.А. Новейшие методы обработки изображений / А.А. Потапов, А.А. Пахомов, С.А. Никитин, Ю.В. Гуляев. – М.: Физматлит, 2008. – 496 с.

6. Яншин В.В. Анализ и обработка изображений: принципы и алгоритмы. – М.: Машиностроение, 1994. – 112 с.
7. Анисимов Б.В., Курчатов В.Д., Злобин В.К. Распознавание и цифровая обработка изображений: учебное пособие для ВУЗов. – М.: Высшая школа, 1983. – 295 с.
8. Ярославский Л.П. Введение в цифровую обработку изображений. – М.: Советское радио, 1979. – 312 с.
9. Гонсалес Р. Мир цифровой обработки. Цифровая обработка изображений: перевод с англ. под ред. П.А. Чочиа. – М.: Техносфера, 2006. – 1072 с.
10. Визильтер Ю. Обработка и анализ цифровых изображений с примерами на LabVIEW и IMAQ Vision / Ю. Визильтер, С. Желтов, В. Князь, А. Ходарев, А. Моржин. – М.: ДМК Пресс, 2008. – 464 с.

**Орешин Николай Алексеевич**

Академия ФСО России, г. Орел  
Кандидат технических наук, профессор  
Тел.: 8 (4862) 54-96-91

**Шумилин Вячеслав Сергеевич**

Академия ФСО России, г. Орел  
Сотрудник  
Тел.: 8 (4862) 54-96-91

**Заводаев Евгений Геннадьевич**

Академия ФСО России, г. Орел  
Сотрудник

**Егин Олег Эдуардович**

Академия ФСО России, г. Орел  
Сотрудник

---

N.A. OREShIN (*Candidate of Engineering Sciences, Professor*)

V.S. ShUMILIN (*Employee*)

E.G. ZAVODAEV (*Employee*)

O.E'. EGIN (*Employee*)

*Academy of Federal Agency of Protection of the Russian Federation, Orel*

**MATHEMATICAL ASPECTS IDENTIFICATION FRAME-INSERTION INTO THE MEDIA STREAM**

*The article deals with the mathematical aspects of the identification of the frame-insert in a multimedia stream, through the use of valuation techniques extreme total differential brightness image frame sequence.*

**Keywords:** *multimedia stream; the frame insert; the intensity of the pixel; brightness of the image frames.*

**BIBLIOGRAPHY (TRANSLITERATED)**

1. Erosh I.L., Sergeev M.B., Solov'ev N.V. Obrabotka i raspoznavanie izobrazhenij v sistemax preventivnoj bezopasnosti: uchebnoe posobie. – SPb.: GUAP, 2005. – 154 s.
2. Eremenko V.T. Modelirovanie processov informacionnogo obmena v raspredelenny'x upravlyayushhix sistemax: monografiya. – M: Mashinostroenie-1, 2004. – 224 s.
3. Eremenko V.T. Komp'yuternaya grafika: metody, modeli i sredstva preobrazovaniya graficheskoy informacii: monografiya / V.T. Eremenko, A.P. Fisun, I.S. Konstantinov, D.V. Agarkov, E.A. Semashko. – Orel: OrelGTU, 2010. – Т. 1. – 364 s.
4. Krasil'nikov N.N. Cifrovaya obrabotka izobrazhenij. – M.: Vuzovskaya kniga, 2001. – 320 s.

1. Gruzman I.S. i dr. Cifrovaya obrabotka izobrazhenij v informacionny'x sistemax. – NGTU. Novosibirsk, 2000. – 156 s.
5. Potapov A.A. Novejshie metody' obrabotki izobrazhenij / A.A. Potapov, A.A. Paxomov, S.A. Nikitin, Yu.V. Gulyaev. – M.: Fizmatlit, 2008. – 496 s.
6. Yanshin V.V. Analiz i obrabotka izobrazhenij: principy' i algoritmy'. – M.: Mashinostroenie, 1994. – 112 s.
7. Anisimov B.V., Kurchatov V.D., Zlobin V.K. Raspoznavanie i cifrovaya obrabotka izobrazhenij: uchebnoe posobie dlya VUZov. – M.: Vy'sshaya shkola, 1983. – 295 s.
8. Yaroslavskij L.P. Vvedenie v cifrovuyu obrabotku izobrazhenij. – M.: Sovetskoe radio, 1979. – 312 s.
9. Gonsales R. Mir cifrovoj obrabotki. Cifrovaya obrabotka izobrazhenij: perevod s angl. pod red. P.A. Chochia. – M.: Texnosfera, 2006. – 1072 s.
10. Vizil'ter Yu. Obrabotka i analiz cifrovy'x izobrazhenij s primerami na LabVIEW i IMAQ Vision / Yu. Vizil'ter, S. Zheltov, V. Knyaz', A. Xodarev, A. Morzhin. – M.: DMK Press, 2008. – 464 s.

## ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ МОНИТОРИНГА И АНАЛИЗА СОСТОЯНИЯ ИНФОРМАЦИОННО-КОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМ СОВРЕМЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

*Рассмотрены задачи мониторинга и анализа состояния информационно-коммуникационных систем предприятия, решаемые в ходе аудита. Предложено решение, которое позволяет накапливать в виде массивов в базе данных текущие значения параметров информационно-коммуникационных систем, а затем сравнивать их с нормативными значениями для принятия последующих решений об управлении объектами. Мониторинг осуществляется по нижним и верхним пороговым значениям параметров, что существенно снижает количество реагирований системы на изменение состояния.*

*Ключевые слова:* информационно-телекоммуникационная система; мониторинг событий; пороговое значение параметра; нормативное значение параметра.

### ВВЕДЕНИЕ И ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

По мере усложнения и развития бизнеса предприятия его информационно-коммуникационная система (ИКС) становится все более важным компонентом структуры. Она обеспечивает автоматизацию деловых процессов, ее отказ может привести к остановке технологического оборудования и простою всего предприятия, что оборачивается упущенной прибылью. Руководство предприятия должно знать, что происходит в информационно-коммуникационной инфраструктуре организации, сравнить адекватность ее потребностям бизнеса, прогнозировать дальнейшее развитие. В результате получается многомерная матрица взаимосвязей бизнес-процессов, их требований, информационных и смежных технологий, совокупности программно-аппаратных средств, их возможностей или ограничений. В такой системе необходимо поддерживать правильно построенную политику мониторинга ее ресурсов и параметров.

Если ИКС построена неоптимальным образом или не отвечает бизнес-задачам предприятия, то она снижает общую эффективность его деятельности. Опыта и практики аудита и мониторинга в сфере информационных технологий в России мало, поэтому задача разработки адекватной модели мониторинга реального состояния и безопасности сложных ИКС на современных предприятиях становится актуальной [1, 2]. Большие территориально распределенные ERP-системы с гетерогенными сетями и значительным количеством пользователей, ставшие сегодня неотъемлемой частью IT-среды производственных холдингов, концернов, крупных компаний, делают процессы мониторинга жизненно важными для поддержания надежной и эффективной работы ИКС.

### ЗАДАЧИ И МОДЕЛЬ ПОСТРОЕНИЯ МОНИТОРИНГА ИНФОРМАЦИОННО-КОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМ ПРЕДПРИЯТИЯ

При управлении на уровне сетевого взаимодействия обеспечивается: автоматическое построение топологии сети; мониторинг событий и последующее определение работоспособности сетевых устройств; управление сетевыми ресурсами для повышения надежности работы сетевых компонентов, уменьшения времени простоя и улучшения производительности корпоративной сети; учет загруженности каналов связи с фиксацией перегрузок сети; сбор статистики использования ресурсов ИКС и генерация отчетов; управление пользовательским трафиком; управление гетерогенными сетями и

телекоммуникационными сервисами, включающее в себя управление производительностью и конфигурацией, устранение неисправностей, учет и обеспечение безопасности.

Модель аудита, в рамках которой системы информации и телекоммуникационной связи подлежат проверке, включает в себя оценку состояния активного и пассивного телекоммуникационного оборудования, а также среды взаимодействия между этими объектами с определением таких характеристик, как пропускная способность линий связи, время задержки на устройствах сети и др. В процедуру аудита входит также последовательная инвентаризация элементов обработки и передачи информации, осмотр техники и кабельных сооружений на местах, построение маршрутной схемы информационных потоков, создание карт территориального расположения вычислительных комплексов и рабочих мест пользователей, их взаимодействия с модулями ERP-системы через телекоммуникационную сеть.

Далее проводится инструментальное тестирование (определение количественных параметров, текущих и пиковых значений нагрузки на вычислительное и телекоммуникационное оборудование), нагрузочное тестирование (выявление максимальных показателей системы в динамическом режиме) и на этой основе строятся модели функционирования существующей и прогнозируемой систем, дается оценка соответствия прогнозируемой модели уровню вычислительного комплекса и системы связи.

Подсистема мониторинга определяет состояние элементов ИКС путем сбора, измерения и сравнения данных с пороговыми значениями, формирует отчетность путем ведения журналов и составления различных отчетов о функционировании ИКС и работе IT-подразделения, отображает результаты мониторинга в виде карт, диаграмм, информационных панелей с предоставлением механизмов фильтрации для многовариантного выбора показателей. Кроме того, осуществляется идентификация ресурсов и проблем в ИКС. Подсистема производит анализ результатов мониторинга состояния ИКС. Кроме того, подсистема задействуется при управлении устранением неисправностей, осуществляя оценку и анализ данных, которые необходимы для выявления проблемных областей при определении первопричин возникновения неисправностей.

Распределение функций между компонентами рассредоточенной системы аудита определяется топологией и масштабами ИКС предприятия. Так, применение централизованной подсистемы мониторинга может оказаться неприемлемым из-за большого объема генерируемого трафика, в то время как использование региональных серверов системы аудита и агентской технологии позволяет сократить трафик данных мониторинга. С другой стороны, централизация управления сетью, вычислительными ресурсами, сервисами и приложениями позволяет существенно уменьшить эксплуатационные расходы. Все особенности построения системы аудита учитываются на этапе ее проектирования с учетом топологии, масштаба и назначения ИКС предприятия.

Для эффективного управления ИКС необходимо иметь достоверную информацию об управляемой системе. Получение этой информации производится путем непрерывного сбора и обработки данных о функционировании ИКС.

Сложность ИКС и большое количество предоставляемых ею услуг требуют контроля большого числа различных параметров. Для передачи значений параметров используется та же сеть, что и для передачи информации пользователей. Передача большого количества значений параметров, необходимых для принятия решений управления, создает существенную нагрузку на сеть, поэтому уменьшение объема передаваемых данных о параметрах функционирования ИКС является важной задачей. Одним из кардинальных способов сокращения сетевого трафика является применение агентской технологии [2, 3].

Для взаимодействия системы аудита с распределенными подсистемами, объектами аудита и агентами целесообразно использовать единые методы и протоколы. Для обмена информацией между модулями системы аудита в среде Windows следует использовать



анализа администратором ИКС предприятия. У администратора могут быть также документы, регламентирующие нормативные значения параметров и требования к функционированию объектов аудита.

В модуле первичной обработки происходит преобразование и нормирование значений параметров массива  $K$ . Нормирование проводится относительно нормативных значений  $g_m^{(i,j)} \in G^{(i,j)}, m = \overline{1, n}; i = \overline{1, I}; j = \overline{1, J}$  и результаты заносятся в базу данных.

Для каждого параметра  $k_m^{(i,j)}, m = \overline{1, n}$  определяются пороговые значения  $r_m^{(i,j)} \in R^{(i,j)}, m = \overline{1, n}$ , сигнализирующие о выходе режимов функционирования объектов аудита за пределы нормальной работы. Множество пороговых значений параметров

$$R^{(i,j)} = \{r_1^{(i,j)}, r_2^{(i,j)}, \dots, r_n^{(i,j)}\}$$

хранится в базе данных модуля мониторинга и состоит из пороговых значений  $r_m^{(i,j)}$ , каждому из которых ставится в соответствие верхнее и нижнее пороговое значения:

$$\begin{aligned} +r_m^{(i,j)} &= r_m^{(i,j)} + \Delta^+ r_m^{(i,j)} \\ -r_m^{(i,j)} &= r_m^{(i,j)} - \Delta^- r_m^{(i,j)}, \end{aligned}$$

где  $\Delta^+ r_m^{(i,j)}, \Delta^- r_m^{(i,j)}$  – верхнее и нижнее приращения порогового значения соответственно.

Применение пороговых значений позволяет существенно снизить количество срабатываний на выходе модуля сравнения данных, так как при этом система фиксирует только случаи выхода параметра за границы интервала.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Аудит ИКС позволяет эффективно использовать информационные и телекоммуникационные ресурсы ИТ-системы, увеличить производительность труда персонала ИТ-подразделений, повысить отдачу от капиталовложений в ИКС при поддержании гарантированного качества предоставляемых сервисов. Предлагаемые в статье подходы к построению подсистемы мониторинга ИКС позволяют обеспечить предоставление руководству предприятия полномасштабной картины функционирования ее информационно-коммуникационной системы, оперативно реагировать на изменения состояния системы, принимать взвешенные стратегические решения на основе наглядных количественных показателей.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ирзаев Г.Х. Экспертный метод аудита безопасности информационных систем // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки, 2011. – Т. 1. – № 20. – С. 11-15.
2. Губина Е.А., Ирзаев Г.Х., Адеева М.Г. Проектирование информационной системы на основе связывания CASE-инструментария и реляционной базы данных // Наука и бизнес: пути развития, 2014. – № 4(934). – С. 75-79.

3. Ачкасов А.В., Кравец О.Я. Система мобильных программных агентов для обслуживания территориально-распределенных сетей // Информационные технологии моделирования и управления, 2014. – № 5(89). – С. 416-422.
4. Владимиров А.В. Моделирование взаимодействия агентов в адаптивной агентно-ориентированной информационной системе // Системы управления и информационные технологии, 2013. – Т. 53. – № 3.1. – С. 201-104.

**Ирзаев Гамид Хайбулаевич**

ФГБОУ ВПО «Дагестанский государственный технический университет», г. Махачкала  
Кандидат технических наук, доцент кафедры «Информационные технологии и прикладная информатика в экономике»  
Тел.: 8 928 504 56 84  
E-mail: irzajev@mail.ru

**Гаджиева Наида Магомедовна**

ФГБОУ ВПО «Дагестанский государственный технический университет», г. Махачкала  
Кандидат экономических наук, старший преподаватель кафедры «Информационные технологии и прикладная информатика в экономике»  
Тел.: 8 928 249 78 45  
E-mail: gnm-19@mail.ru

---

G.X. IRZAEV (*Candidate of Engineering Sciences,  
Associate Professor of the Department «Information technology and Applied Informatics in Economics»*)

N.M. GADZHIEVA (*Candidate of Engineering Sciences,  
Senior Teacher of the Department «Information technology and Applied Informatics in Economics»  
Daghestan State Technical University, Makhachkala*)

**FUNCTIONAL MODEL OF MONITORING AND ANALYSIS  
OF COMMUNICATION AND INFORMATION SYSTEMS OF MODERN ENTERPRISES**

*Are considered tasks of monitoring and analysis of information and communication systems of the enterprise, which are solved in the during the audit. Offers a solution that allows accumulating in the database arrays current parameter values information and communication systems, and then compare them with standard values for the subsequent decisions on the management of objects. Monitoring is carried out by the lower and upper threshold values of parameters, which significantly reduces the number of system response to changes in the state.*

**Keywords:** *information and telecommunication system; monitoring of events; threshold value of parameter; standard value of parameter.*

**BIBLIOGRAPHY (TRANSLITERATED)**

1. Irzaev G.X. E'kspertnyj metod audita bezopasnosti informacionny'x sistem // Vestnik Dagestanskogo gosudarstvennogo texnicheskogo universiteta. Texnicheskie nauki, 2011. – Т. 1. – № 20. – С. 11-15.
2. Gubina E.A., Irzaev G.X., Adeeva M.G. Proektirovanie informacionnoj sistemy' na osnove svyazyvaniya CASE-instrumentariya i relyacionnoj bazy' danny'x // Nauka i biznes: puti razvitiya, 2014. – № 4(934). – С. 75-79.
3. Achkasov A.V., Kravec O.Ya. Sistema mobil'ny'x programmny'x agentov dlya obsluzhivaniya territorial'no-raspredelennyx' setej // Informacionny'e tehnologii modelirovaniya i upravleniya, 2014. – № 5(89). – С. 416-422.
4. Vladimirov A.V. Modelirovanie vzaimodejstviya agentov v adaptivnoj agentno-orientirovannoj informacionnoj sisteme // Sistemy' upravleniya i informacionny'e tehnologii, 2013. – Т. 53. – № 3.1. – С. 201-104.

## МЕТОД НЕЧЕТКОЙ ОЦЕНКИ КРИТИЧНОСТИ АКТИВОВ КОРПОРАТИВНОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СЕТИ

*В статье предлагается метод оценки критичности активов в корпоративной информационной сети (КИС). Метод использует разработанную модель КИС, учитывает взаимодействие активов различных видов, а также способен работать в условиях разброса экспертных мнений и качественного характера частных показателей ущерба. Для формирования оценок критичности активов используются методы теории нечетких множеств и метод анализа иерархий. Метод может быть использован для оценки ущерба от реализации угроз при оценке рисков информационной безопасности в КИС*

**Ключевые слова:** информационная безопасность; оценка ущерба; нечеткое множество; метод анализа иерархий.

### ВВЕДЕНИЕ

Эффективность функционирования современных предприятий напрямую зависит от степени защищенности их корпоративных информационных сетей (КИС). При этом растущая сложность КИС только усугубляет ситуацию. В связи с этим вопросы защиты информации в КИС должны рассматриваться в качестве неотъемлемой их составляющей. В настоящее время существует два основных подхода к обеспечению информационной безопасности (ИБ) КИС – обеспечение базового уровня ИБ [1], а также подход, основанный на оценке и управлении рисками ИБ [2-4]. Второй подход приобретает особую значимость при построении эффективных систем защиты информации с позиции ожидаемого ущерба. Высокую актуальность в настоящее время приобретают методы количественной оценки и управления рисками ИБ в связи с их хорошей интерпретируемостью в рамках экономических моделей и простотой применения для формирования оптимальной совокупности защитных мер. Количественная оценка рисков ИБ предполагает количественную оценку следующих факторов риска – ущерба от реализации угроз, возможности их реализации, возможности использования соответствующей уязвимости. В связи с этим актуальным является разработка методов количественной оценки факторов риска, в частности, ущерба от реализации угроз. Данные оценки часто формируются экспертным путем.

Для определения уровня ущерба от реализации угроз в КИС требуется решение важнейшей задачи количественной оценки критичности активов. Решению данной задачи посвящено множество публикаций [2-6], однако данное решение часто осложняется следующими обстоятельствами:

- качественным характером большинства частных показателей, влияющих на критичность активов КИС;
- неопределенностью и нечеткостью исходной информации;
- противоречивостью оценок критичности активов, даваемых экспертами.

В данной статье предлагается метод количественной оценки критичности активов КИС, преодолевающий перечисленные выше сложности.

### МОДЕЛИРОВАНИЕ КОРПОРАТИВНОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СЕТИ

Под активом понимают все, что имеет ценность для организации и требует защиты. Будем в дальнейшем рассматривать следующие виды активов КИС: АРМ, сервера, телекоммуникационное оборудование, информационные активы и ИТ-сервисы КИС. Для оценки их критичности проведено моделирование КИС в виде (1).

$$M_{КИС} = \left\langle \left\langle A_{инф}, C_{инф} \right\rangle, TO, \left\langle A_{ИТС}, C_{ИТС} \right\rangle, G_{ЛС}, M_{ИО}, M_{ИТС} \right\rangle, \quad (1)$$

где  $A_{инф}$  – множество информационных активов;

$C_{инф}$  – уровни их критичности;

$$C_{инф} = \left\{ \left\langle cc_{инф}^i, ci_{инф}^i, cd_{инф}^i \right\rangle \right\}_{i=1}^{N_{инф}},$$

где  $cc_{инф}^i$  – уровень конфиденциальности информационного актива  $a_{инф}^i$ ;

$ci_{инф}^i$  – уровень его целостности;

$cd_{инф}^i$  – уровень доступности;

$TO = \left\langle \left\langle A_{АРМ}, C_{АРМ} \right\rangle, \left\langle A_{серв}, C_{серв} \right\rangle, \left\langle A_{ТК}, C_{ТК} \right\rangle \right\rangle$  – компонент технического обеспечения КИС, включающий в себя АРМ, сервера, телекоммуникационное оборудование и уровни их критичности.

Компонент АРМ КИС включает в себя множество АРМ  $A_{АРМ} = \left\{ a_{АРМ}^i \right\}_{i=1}^{N_{АРМ}}$  и множество соответствующих им уровней критичностей  $C_{АРМ} = \left\{ \left\langle cc_{АРМ}^i, ci_{АРМ}^i \right\rangle \right\}_{i=1}^{N_{АРМ}}$ , где  $cc_{АРМ}^i$  – уровень конфиденциальности АРМ  $a_{АРМ}^i$ ,  $ci_{АРМ}^i$  – уровень целостности.

Компонент серверов КИС включает в себя множество серверов  $A_{серв} = \left\{ a_{серв}^i \right\}_{i=1}^{N_{серв}}$  и соответствующих им уровней критичностей  $C_{серв} = \left\{ \left\langle cc_{серв}^i, ci_{серв}^i, cd_{серв}^i \right\rangle \right\}_{i=1}^{N_{серв}}$ , где  $cc_{серв}^i$ ,  $ci_{серв}^i$ ,  $cd_{серв}^i$  – уровни конфиденциальности, целостности и доступности сервера соответственно.

Компонент телекоммуникационного оборудования КИС включает в себя множество телекоммуникационного оборудования  $A_{ТК} = \left\{ a_{ТК}^i \right\}_{i=1}^{N_{ТК}}$  и соответствующих им уровней критичностей  $C_{ТК} = \left\{ cd_{ТК}^i \right\}_{i=1}^{N_{ТК}}$ , где  $cd_{ТК}^i$  – уровень доступности.

Компонент ИТ-сервисов  $\left\langle A_{ИТС}, C_{ИТС} \right\rangle$  включает в себя множество ИТ-сервисов  $A_{ИТС} = \left\{ a_{ИТС}^i \right\}_{i=1}^{N_{ИТС}}$  и соответствующих им уровней доступности  $C_{ИТС} = \left\{ cd_{ИТС}^i \right\}_{i=1}^{N_{ИТС}}$ .

Логическая структура КИС выглядит следующим образом:

$$G_{ЛС} = (V, E),$$

где  $V = V_1 \cup V_2$  – множество вершин графа;

$V_1 = \{v_i\}, v_i \subseteq A_{АРМ} \cup A_{серв}$  – сегменты КИС, включающие в себя АРМ и сервера;

$V_2 = A_{ТК}$  – телекоммуникационное оборудование, через которое взаимодействуют сегменты КИС;

$E \subseteq V \times V$  – ребра графа, определяющие каналы связи между сегментами и телекоммуникационным оборудованием в КИС.

При этом в графе присутствуют ребра (петли) в каждой из вершин  $v_i \in V_1$ , то есть  $\exists e_i = (v_i, v_i) \in E \forall i, v_i \in V_1$ . Пример логической структуры КИС представлен на рисунке 1.

Модель использования информационного обеспечения КИС представляется в виде

$$M_{ИО} = \left\langle A_{инф}, A_{АС}, A_{ИТС}, R_{инф}^{АС}, R_{ИТС}^{инф}, IP \right\rangle, \quad (2)$$

где  $A_{инф}$  – множество информационных ресурсов КИС;

$A_{AC}$  – множество активов технического обеспечения, на котором осуществляется хранение или обработка информационных активов;

$A'_{ИТС}$  – множество ИТ-сервисов КИС, участвующих в предоставлении информационных ресурсов;  $A'_{ИТС} \subseteq A_{ИТС}$ ;

$R_{инф}^{AC} : A_{инф} \times A_{AC} \rightarrow \{0,1\}$  – отношение, определяющее факт хранения или обработки информации, принадлежащей  $A_{инф}$ , на АРМ или сервере, принадлежащем  $A_{AC}$ ;

$R_{ИТС}^{инф} : A'_{ИТС} \times A_{инф} \rightarrow \{0,1\}$  – отношение, определяющее факт предоставления информации из  $A_{инф}$  посредством конкретного ИТ-сервиса;

$IP$  – информационные потоки в КИС, определенные на графе  $G_{ЛС}$ .

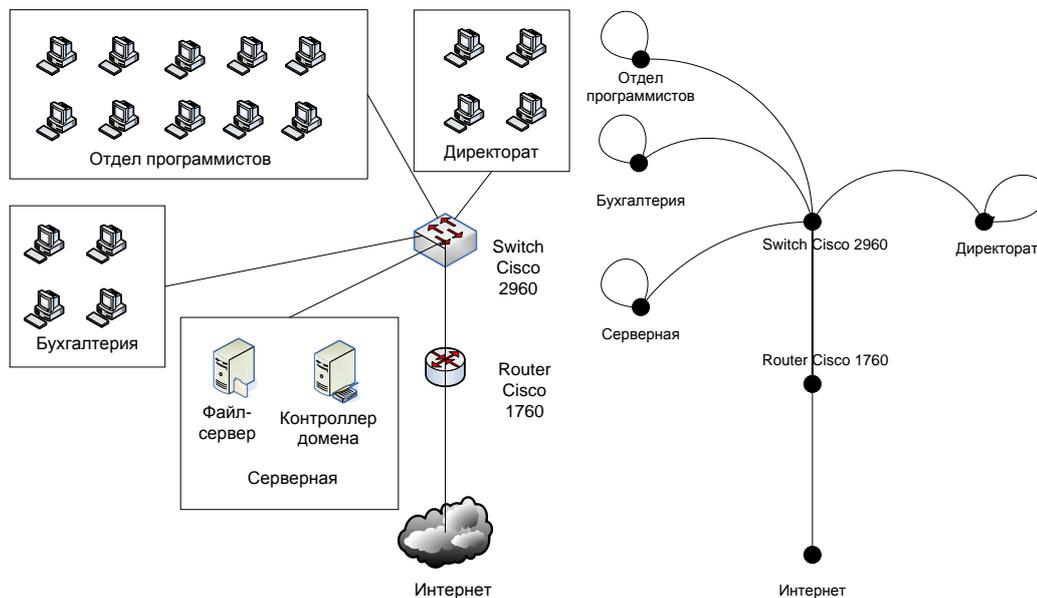


Рисунок 1 – Пример КИС и формализация ее логической структуры в виде графа

$$IP = \langle a_{инф}, a_{ИТС}, \{Path_i\}_{i=1}^h \rangle,$$

где  $a_{инф} \in A_{инф}$  – информационный актив;  $a_{ИТС} \in A'_{ИТС}$  – ИТ-сервис КИС, предоставляющий информационный актив  $a_{инф}$ , при этом  $R_{ИТС}^{инф}(a_{ИТС}, a_{инф}) = 1$ ;  $Path_i$  – маршрут

$(e_1^i, \dots, e_{q_i}^i)$ ,  $e_j^i \in E$ ,  $e_{j_1}^i \neq e_{j_2}^i$  для  $j_1 \neq j_2$  в графе  $G_{ЛС}$ , отражающий движение информации в логической структуре КИС. При этом  $e_j^i = (v_{1j}^i, v_{2j}^i)$ ,  $v_{1j}^i, v_{2j}^i \in V$ , а начало и конец любого из маршрутов  $v_{11}^i, v_{2q_i}^i \in V_1$ .

Модель предоставления ИТ-сервисов представим виде

$$M_{ИТС} = \langle A_{ИТС}, G_{ИТС}, R_{ИТС}^{AO} \rangle, \quad (3)$$

где  $A_{ИТС}$  – множество ИТ-сервисов КИС;

$G_{ИТС} = \langle A_{ИТС}, E_{ИТС} \rangle$  – ориентированный граф, представляющий совокупность деревьев зависимостей ИТ-сервисов с точки зрения доступности.

Вершинами графа являются ИТ-сервисы множества  $A_{ИТС}$ . Вершины графа  $a_{ИТС}^1, a_{ИТС}^2 \in A_{ИТС}$  связаны направленным ребром  $e_{ИТС} = (a_{ИТС}^1, a_{ИТС}^2) \in E_{ИТС}$ , если работоспособность ИТ-сервиса  $a_{ИТС}^2$  напрямую зависит от работоспособности ИТ-сервиса  $a_{ИТС}^1$ .  $R_{ИТС}^{AO} : A_{ИТС} \times A_{ТО} \rightarrow \{0,1\}$  – отношение, определяющее факт реализации ИТ-сервиса на базе конкретного технического обеспечения. На рисунке 2 представлен пример графа  $G_{ИТС}$  для КИС, изображенной на рисунке 1.

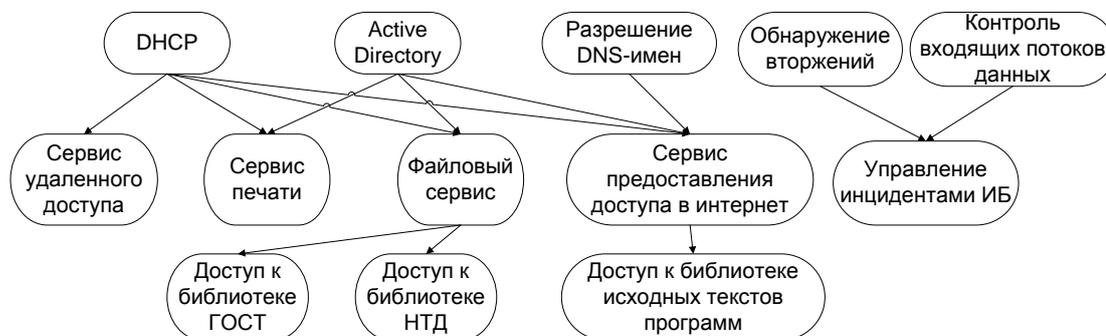


Рисунок 2 – Пример графа  $G_{ИТС}$

### МЕТОД НЕЧЕТКОЙ ОЦЕНКИ КРИТИЧНОСТИ АКТИВОВ

В соответствии с особенностями функционирования КИС предлагаемый метод нечеткой оценки критичности активов реализует следующую последовательность шагов:

1. Оценка критичности информационных активов.
2. Оценка критичности АРМ.
3. Оценка критичности ИТ-сервисов.
4. Оценка критичности серверов.
5. Оценка критичности телекоммуникационного оборудования.

#### Метод нечеткой оценки критичности информационных активов

Метод заключается в последовательной реализации следующих этапов.

**Этап 1. Составление перечня информационных активов на основе анализа бизнес-процессов.** Отметим, что информационные активы обязательно участвуют в реализации определенных бизнес-процессов организации. Информационный актив всегда имеет единственного владельца, характеризуется известным месторасположением; имеет самостоятельное значение как для своего владельца, так и для использующего ресурс бизнес-процесса; логически неделим с точки зрения использующего его бизнес-процесса.

**Этап 2. Определение множества частных показателей, влияющих на ущерб от реализации угроз.** Будем рассматривать три вида критичности информационных активов: конфиденциальность, целостность, доступность. Их оценка осуществляется, исходя из размера ущерба, наносимого организации угрозой нарушения соответствующих свойств. При этом ущерб от реализации угроз может быть выражен в различном виде – как количественном, так и качественном, что требует введения множества частных показателей, влияющих на ущерб от реализации угроз. Обозначим через  $\{\gamma_1, \dots, \gamma_l\}$  множество частных показателей, характеризующих различные виды ущерба, наносимые угрозами. Общий состав частных показателей ущерба включает в себя 29 элементов, распределенных по трем группам: внешний социополитический ущерб, внутренний ущерб, финансовый ущерб. Примерами частных показателей ущерба являются: ущерб авторитету организации,

судебные издержки, возможность свершения техногенных катастроф, дезорганизация деятельности, снижение цен на продукцию, снижение объемов продаж и т.д.

Основная сложность количественной оценки частных показателей ущерба заключается в том, что большинство из них имеет качественный характер. Кроме этого, различные частные показатели могут вносить различный вклад в общий ущерб. Для преодоления данных сложностей при оценке ущерба предлагается использовать подход, основанный на методе анализа иерархий (МАИ). Была построена четырехуровневая иерархия в виде дерева декомпозиции ущербов по категории актива. На верхнем уровне иерархии находится исследуемый вид ущерба (конфиденциальность, целостность или доступность). На втором уровне размещаются группы частного показателя ущерба. На третьем уровне – частный показатель ущерба, на четвертом уровне – исследуемые активы.

**Этап 3. Нечеткая количественная оценка критичности информационных активов.** Наличие нескольких экспертов и нечеткий характер их знаний относительно ценности активов и частных показателей приводит к необходимости количественной оценки критичности информационных активов в виде нечетких чисел. Предлагается алгоритм, позволяющий формировать функцию принадлежности нечеткого числа на основе множества экспертных оценок.

Пусть  $N$  – количество экспертов. Эксперту с номером  $k$  назначен вес важности  $\delta_k$ . Эксперты выполняют оценку требуемого показателя, при этом формируется множество экспертных оценок  $\{x_i\}$  показателя на универсальном множестве  $U$ . Требуется найти функцию принадлежности  $\mu_{\tilde{A}}(x)$  для нечеткого множества  $\tilde{A}$ , элементами которого являются экспертные оценки  $\{x_i\}$ .

**Алгоритм 1. FZ\_STAT**

1. Осуществим равномерное разбиение множества  $U$  на  $n$  интервалов  $[u_j, u_{j+1}]$ .  
 2. Осуществим подсчет количества попаданий элементов множества  $\{x_i\}$  в каждый из интервалов  $[u_j, u_{j+1}]$ ,  $j = \overline{1, n}$ . Каждое из таких попаданий взвесим весом эксперта  $\delta_k$ . Общее количество попаданий для интервала  $[u_j, u_{j+1}]$  обозначим через  $k_j = \sum_t \delta_t$ , где сумма берется по всем значениям  $x_t \in \{x_i\}$ , попавшим в интервал  $[u_j, u_{j+1}]$ .

3. В качестве степени принадлежности элемента множеству принимается нормализованная взвешенная оценка частоты попадания значения в соответствующий интервал. Зададим функцию принадлежности  $\mu_{\tilde{A}}(x)$  дискретно в серединах интервалов

$$\frac{u_j + u_{j+1}}{2} \text{ следующим образом: } \mu_{\tilde{A}}(x_j) = \frac{k_j}{\max_j k_j}.$$

4. Осуществим линейную сплайновую аппроксимацию функции принадлежности  $\mu_{\tilde{A}}(x)$  по известным точкам.

Разработан алгоритм, основанный на методе анализа иерархий и алгоритме FZ\_STAT, позволяющий количественно определить уровни критичности (конфиденциальности, целостности, доступности) активов в виде нечетких чисел.

**Алгоритм 2. Нечеткая экспертная оценка критичности активов**

1. Формируется экспертная группа, включающая в себя  $N$  экспертов с весами  $\delta_k$ .  
 2. Для исследуемой категории активов формируется дерево декомпозиции ущерба, на нижнем уровне которого размещаются исследуемые активы  $a^1, \dots, a^{N_a}$ .

3. Для построенного дерева декомпозиции ущерба применяется МАИ.

3.1. Выполняются всевозможные парные сравнения исследуемых активов  $a^i$  по отношению частным показателям ущерба  $\gamma_j^i, j = 1, l$ . При условии согласованности экспертных мнений вычисляется вектор количественных приоритетов активов в виде собственного вектора матрицы парных сравнений, соответствующего ее максимальному собственному значению. Элементами данного вектора являются количественные оценки  $w_{4i}^{3j} \in [0,1], \sum_{i=1}^{N_a} w_{4i}^{3j} = 1$  приоритетов исследуемых активов  $a^i$ .

3.2. Выполняются всевозможные парные сравнения частных показателей ущерба  $\gamma_j^i$  в трех группах II уровня и вычисляются 3 вектора количественных приоритетов частных показателей ущерба. В результате формируются количественные оценки  $w_{3i}^{2j} \in [0,1], \sum_{i=1}^{l_j} w_{3i}^{2j} = 1$  приоритетов частных показателей ущерба в группе II уровня.

3.3. Выполняются всевозможные парные сравнения трех групп частных показателей ущерба по отношению к общему ущербу и вычисляется вектор количественных приоритетов групп частных показателей ущерба II уровня. Элементами данного вектора являются количественные оценки  $w_{2i}^1 \in [0,1], \sum_{i=1}^3 w_{2i}^1 = 1$ .

4. Для каждого из экспертов вычисляются количественные оценки  $w_i^C \in [0,1], \sum_{i=1}^{N_a} w_i^C = 1$  приоритетов исследуемых активов  $a^i$  по исследуемой категории активов  $C$  следующим образом:

$$\left( w_1^C, \dots, w_{N_a}^C \right)_k = \left( w_{31}^{21} \cdot w_{21}^1, \dots, w_{3p}^{21} \cdot w_{21}^1, w_{3p+1}^{22} \cdot w_{22}^1, \dots, w_{3q}^{22} \cdot w_{22}^1, w_{3q+1}^{23} \cdot w_{23}^1, \dots, w_{3l}^{23} \cdot w_{23}^1 \right)_k \cdot \begin{pmatrix} w_{41}^{31} & \dots & w_{4N_a}^{31} \\ \dots & \dots & \dots \\ w_{41}^{3l} & \dots & w_{4N_a}^{3l} \end{pmatrix}_k,$$

где  $N_a$  – количество исследуемых активов;

$C$  – исследуемая категория активов;

$k$  – номер эксперта;

$p$  – количество частных показателей ущерба в 1 группе;

$q - p$  – количество частных показателей ущерба во 2 группе;

$l - q$  – количество частных показателей ущерба в 3 группе.

5. Нечеткий приоритет  $\tilde{w}_i^C$  актива  $a^i$  вычисляется на основе оценок  $\left( w_i^C \right)_k, k = \overline{1, N}$ , данных экспертами, с помощью алгоритма *FZ\_STAT*.

6. Выбирается актив  $a^i$ , для которого эксперты количественно оценивают критичность  $\tilde{I}^C(a^i)$  в условных единицах (например, в рублях) по исследуемой категории  $C$ . Оценка критичности осуществляется в виде нечетких треугольных чисел.

7. Вычисляется критичность в условных единицах всех остальных активов  $a^j$  по исследуемой категории  $C$  следующим образом:  $\tilde{I}^C(a^j) = \left( \frac{\tilde{I}^C(a^i)}{\tilde{w}_i^C} \right) \cdot w_j^C$ .

#### Нечеткая количественная оценка критичностей информационных активов

С помощью алгоритма 2 «Нечеткая экспертная оценка критичности активов» выполняется нечеткая оценка критичностей информационных активов по конфиденциальности  $\tilde{c}c_{инф}^i = \tilde{I}^{конфиденциальность}(a_{инф}^i)$ ,  $i = \overline{1, N_{инф}}$ , целостности  $\tilde{c}c_{инф}^i = \tilde{I}^{целостность}(a_{инф}^i)$ , доступности  $\tilde{c}d_{инф}^i = \tilde{I}^{доступность}(a_{инф}^i)$ .

### Метод нечеткой оценки критичности АРМ, серверов, ИТ-сервисов

Данный метод предполагает последовательную реализацию следующих алгоритмов.

#### Алгоритм 3. Нечеткая количественная оценка критичностей АРМ $a_{АРМ}^j$

1. На модели  $M_{ИО}$  определяется множество информационных активов  $A_j = \{a_{инф}^i\}_j$ , хранимых и обрабатываемых на конкретном  $a_{АРМ}^j$  (для которых выполняется условие  $R_{инф}^{AC}(a_{инф}^i, a_{АРМ}^j) = 1$ ).
2. Определяются нечеткие количественные оценки конфиденциальности  $\tilde{c}c_{АРМ}^j$ , целостности  $\tilde{c}i_{АРМ}^j$  и доступности  $\tilde{c}d_{АРМ}^j$  для АРМ  $a_{АРМ}^j$  путем суммирования соответствующих нечетких количественных оценок критичностей информационных активов множества  $A_j$ , хранимых и обрабатываемых на АРМ.

#### Алгоритм 4. Нечеткая количественная оценка критичности (по доступности)

##### ИТ-сервиса $a_{ИТС}^j$

1. В соответствии с алгоритмом 2 «Экспертная оценка критичности активов» выполняется нечеткая количественная оценка критичности ИТ-сервисов по доступности  $\tilde{c}d_{ИТС}^{j,МАИ} = \tilde{I}^{доступность}(a_{ИТС}^j)$ ,  $j = \overline{1, N_{ИТС}}$ .
2. На модели  $M_{ИО}$  определяется множество информационных активов  $A_j = \{a_{инф}^i\}_j$ , предоставляемых ИТ-сервисом  $a_{ИТС}^j$  (выполняется условие  $R_{ИТС}^{инф}(a_{ИТС}^j, a_{инф}^i) = 1$ ).
3. Определяется нечеткая количественная оценка доступности  $\tilde{c}d_{ИТС}^{j,инф}$  для ИТ-сервиса  $a_{ИТС}^j$  путем суммирования нечетких количественных оценок критичности информационных активов множества  $A_j$  по доступности.
4. Определяется нечеткая количественная оценка доступности  $\tilde{c}d_{ИТС}^{j,tree}$  для ИТ-сервиса  $a_{ИТС}^j$  согласно дереву зависимостей ИТ-сервисов  $G_{ИТС}$ .
  - 4.1. Если из вершины  $a_{ИТС}^j$  графа  $G_{ИТС}$  не выходит ребер (то есть нарушение доступа ИТ-сервису  $a_{ИТС}^j$  не влечет за собой нарушение доступа к другим ИТ-сервисам), то  $\tilde{c}d_{ИТС}^{j,tree} = 0$ , и переходим к шагу 5, иначе выполняем шаги 4.2, 4.3.
  - 4.2. Определяется множество ИТ-сервисов  $S_j = \{a_{ИТС}^i\}_j$ , смежных с ИТ-сервисом  $a_{ИТС}^j$  в графе  $G_{ИТС}$ . Нарушение доступности ИТ-сервиса  $a_{ИТС}^j$  приводит к нарушению доступности множества сервисов  $S_j$ .
  - 4.3. Рекурсивно определяется доступность множества ИТ-сервисов  $S_j$  согласно Алгоритму 4 «Нечеткая количественная оценка критичности (по доступности) ИТ-сервиса».  $\tilde{c}d_{ИТС}^i = \text{Алгоритм4}(a_{ИТС}^i)$ .

4.4. Определяется количественная оценки доступности  $\tilde{c}d_{ИТС}^{j,tree} = \sum_{a_{ИТС}^i \in S_j} \tilde{c}d_{ИТС}^i$ .

5. Определяется количественная оценка доступности ИТ-сервиса  $a_{ИТС}^j$ :

$$\tilde{c}d_{ИТС}^j = \max\left(\tilde{c}d_{ИТС}^{j,МАИ}, \tilde{c}d_{ИТС}^{j,инф}, \tilde{c}d_{ИТС}^{j,tree}\right).$$

**Алгоритм 5. Нечеткая количественная оценка критичностей сервера  $a_{серв}^j$**

1. На модели  $M_{ИО}$  определяется множество информационных активов  $A_j = \{a_{инф}^i\}_j$  хранимых и обрабатываемых на конкретном  $a_{серв}^j$  (для которых выполняется условие  $R_{инф}^{AC}(a_{инф}^i, a_{серв}^j) = 1$ )

2. На модели  $M_{ИТС}$  предоставления ИТ-сервисов определяется множество ИТ-сервисов  $B_j = \{a_{ИТС}^i\}$ , реализуемых на базе сервера  $a_{серв}^j$  (для которых выполняется условие  $R_{ИТС}^{AO}(a_{ИТС}^i, a_{серв}^j) = 1$ ).

3. Определяются нечеткие количественные оценки конфиденциальности  $\tilde{c}c_{серв}^j$  и целостности  $\tilde{c}i_{серв}^j$  для сервера  $a_{серв}^j$  путем суммирования соответствующих нечетких количественных оценок критичностей информационных активов множества  $A_j$ .

4. Определяется нечеткая количественная оценка доступности  $\tilde{c}d_{серв}^j$  для сервера  $a_{серв}^j$  путем суммирования соответствующих нечетких количественных оценок критичностей информационных ресурсов множества  $A_j$  и ИТ-сервисов множества  $B_j$  по доступности.

**Алгоритм 6. Нечеткая количественная оценка критичности (по доступности) телекоммуникационного оборудования  $a_{ТК}^j$**

1. На модели  $M_{ИТС}$  определяется множество ИТ-сервисов  $A_j = \{a_{ИТС}^i\}_j$ , реализуемых на базе телекоммуникационного оборудования  $a_{ТК}^j$  (для которых выполняется условие  $R_{ИТС}^{AO}(a_{ИТС}^i, a_{ТК}^j) = 1$ )

2. На модели  $M_{ИО}$  определяется множество ИТ-сервисов  $B_j = \{a_{ИТС}^k\}_j$ , которые используют телекоммуникационное оборудование  $a_{ТК}^j$  как посредника при передачи информации, то есть  $a_{ТК}^j \in Path_r$  для  $IP = \left\langle a_{инф}^i, a_{ИТС}^k, \{Path_i\}_{i=1}^h \right\rangle_i$ .

3. Определяется нечеткая количественная оценка доступности  $\tilde{c}d_{ТК}^j$  телекоммуникационного оборудования  $a_{ТК}^j$  путем суммирования нечетких количественных оценок критичностей ИТ-сервисов множества  $A_j$  и ИТ-сервисов множества  $B_j$ .

**РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ**

Рассмотрим в качестве примера КИС и дерево ИТ-сервисов, изображенные на рисунке

1. В качестве примера произведена оценка критичности следующих ИТ-сервисов:

- 1С Бухгалтерия;
- библиотека ГОСТ;

- библиотека научно-технической документации;
- предоставление доступа к исходным текстам программ;
- предоставление доступа в Интернет;
- файловый сервис;
- DHCP;
- Active Directory.

Результаты оценки критичности ИТ-сервисов представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Оценка критичности ИТ-сервисов

ИТ-сервис	Критичность (доступность)
1С Бухгалтерия	1614
Библиотека ГОСТ	500
Библиотека научно-технической документации	500
Предоставление доступа к исходным текстам программ	3722
Предоставление доступа в Интернет	243
Файловый сервис	$500 + 500 + 3722 = 4722$
DHCP	$6579 = 1614 + 4722 + 243$
Active Directory	$4965 = 4722 + 243$

## ВЫВОДЫ

Разработанный метод нечеткой оценки критичности активов КИС способен работать в условиях качественного характера большинства частных показателей, влияющих на ущерб, неопределенности и нечеткости исходной информации, противоречивости оценок критичности активов, даваемых экспертами. Для преодоления данных сложностей используется моделирование КИС, методы теории нечетких множеств и метод анализа иерархий.

Разработанный метод может быть использован непосредственно для количественной оценки ущерба от реализации угроз и количественной оценки рисков.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аникин И.В., Ляшко Д.А. Проблемы обеспечения базового уровня информационной безопасности для автоматизированных систем // Информационные технологии в системе социально-экономической безопасности России и ее регионов: сборник трудов IV Всероссийской научной конференции, Казань, 23-26 апреля. – Казань, КФУ, 2012 – С. 125-128.
2. Петренко С.А., Симонов С.В. Управление информационными рисками. Экономически оправданная безопасность. – М.: АйТи, 2004. – 392 с.
3. Аникин И.В. Управление внутренними рисками информационной безопасности корпоративных информационных сетей // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Серия «Информатика, телекоммуникации, управление», 2009. – Т. 3. – № 80. – С. 35-40.
4. Аникин И.В. Метод оценки внутренних рисков информационной безопасности корпоративных информационных сетей // Информация и безопасность, 2014. – Т. 17. – № 2. – С. 320-323.
5. Аникин И.В. Метод количественной оценки уровня ущерба от реализации угроз на корпоративную информационную сеть // Информационные технологии, 2010. – № 1. – С. 2-6.

6. Коптенков М.М. Категорирование информации – первый шаг к обеспечению информационной безопасности организации // Безопасность информационных технологий, 2011. – № 4. – С. 117-119.

**Аникин Игорь Вячеславович**

Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ,  
г. Казань

Кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой систем информационной безопасности

Тел.: 8 (843) 231-00-56

Email: anikinigor777@mail.ru

---

I.V. ANIKIN (*Candidate of Engineering Sciences, Head of the Department of Information Security Systems*)  
*Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan*

**FUZZY ASSESSMENT OF ASSETS IN TELECOMMUNICATION NETWORKS**

*We suggest a method for fuzzy assessment of assets in telecommunication networks. This method uses a model of network. It can work under the uncertainty of data and qualitative character of particular indicators of risk. We use fuzzy sets and analytic hierarchy process. This method can be used for impact and risk assessment in telecommunication networks.*

**Keywords:** *information security; impact assessment; fuzzy set; analytic hierarchy process.*

**BIBLIOGRAPHY (TRANSLITERATED)**

1. Anikin I.V., Lyashko D.A. Problemy' obespecheniya bazovogo urovnya informacionnoj bezopasnosti dlya avtomatizirovanny'x sistem // Informacionny'e texnologii v sisteme social'no-e'konomicheskoy bezopasnosti Rossii i ee regionov: sbornik trudov IV Vserossijskoj nauchnoj konferencii, Kazan', 23-26 aprelya. – Kazan', KFU, 2012 – S. 125-128.
2. Petrenko S.A., Simonov S.V. Upravlenie informacionny'mi riskami. E'konomicheskii opravdannaya bezopasnost'. – M.: AjiTi, 2004. – 392 s.
3. Anikin I.V. Upravlenie vnutrennimi riskami informacionnoj bezopasnosti korporativny'x informacionny'x setej // Nauchno-texnicheskie vedomosti SPbGPU. Seriya «Informatika, telekommunikacii, upravlenie», 2009. – T. 3. – № 80. – S. 35-40.
4. Anikin I.V. Metod ocenki vnutrennix riskov informacionnoj bezopasnosti korporativny'x informacionny'x setej // Informaciya i bezopasnost', 2014. – T. 17. – № 2. – S. 320-323.
5. Anikin I.V. Metod kolichestvennoj ocenki urovnya ushherba ot realizacii ugroz na korporativnuyu informacionnuyu set' // Informacionny'e texnologii, 2010. – № 1. – S. 2-6.
6. Koptenkov M.M. Kategorirovanie informacii – pervyj shag k obespecheniyu informacionnoj bezopasnosti organizacii // Bezopasnost' informacionny'x texnologij, 2011. – № 4. – S. 117-119.

## ЛИНЕЙНЫЕ МОДУЛЯЦИЯ И ДЕМОДУЛЯЦИЯ ДЛЯ БЕСПРОВОДНОГО КАНАЛА СВЯЗИ С ЗАМИРАНИЯМИ НАКАГАМИ

*Синтезированы дискретные отображения беспроводного канала связи в соответствии с критерием минимума среднеквадратической ошибки между сигналами на входе и на выходе образуемого дискретного канала при ограничении на энергию передаваемых сигналов. Вычислены матрицы модуляции и демодуляции для исследуемой модели беспроводного канала связи с использованием математического пакета MathCad. Проведена оценка технического эффекта линейных согласованных модуляции и демодуляции для беспроводного канала связи с замираниями, распределенными по закону Накагами. В качестве канала связи рассматривался канал с импульсной характеристикой идеального полосового фильтра в диапазоне от 1 ГГц до 1,1 ГГц и аддитивным белым гауссовским шумом. Продемонстрировано наличие энергетического выигрыша до 0,68 дБ предлагаемых решений относительно стандартной модуляции гармоническими несущими. Причем наибольший энергетический выигрыш, в том числе и по среднеквадратическому отклонению, наблюдается в области средних отношений средней энергии к спектральной плотности шума (около 10-30 дБ). Отмечено снижение среднеквадратической ошибки вследствие стабилизации коэффициента передачи канала связи и как результат – увеличение отношения сигнал-помеха на выходе демодулятора при заданной средней энергии к спектральной плотности шума.*

**Ключевые слова:** *беспроводный канал связи; дискретное отображение непрерывного канала связи; модуляция; демодуляция; распределение Накагами; замирания; среднеквадратическая ошибка.*

Известно [1-5], что наиболее популярные существующие, а также перспективные беспроводные системы связи используют достаточно широкую полосу частот для передачи сигналов по радиоканалу. Вызвано это, прежде всего, значительными скоростями передачи данных, а также схемами множественного доступа. Следовательно, современные беспроводные системы существенно отличаются от узкополосных и обладают рядом специфических свойств. Так, для беспроводных систем характерно значительное влияние межсимвольной интерференции на передаваемые сигналы, но в то же время не столь пагубное воздействие замираний сигнала вследствие частотной зависимости коэффициента передачи канала по сравнению с узкополосными системами позволяет рассчитывать на рост надежности связи.

Подобные свойства достаточно хорошо описываются моделью случайного линейного фильтрового канала связи с аддитивным шумом [6-8]. Сигнал на выходе такой модели  $x'(t')$  определяется как сумма свертки сигнала на входе  $x(t)$  и ее импульсной характеристики  $h(t, t')$ , которая в данном случае оказывается случайной функцией двух аргументов и некоторого шума  $n(t')$ :

$$x'(t') = \int_t h(t, t') x(t) dt + n(t').$$

При этом подразумевается, что в представлении системной характеристики канала пространственная координата  $r$  всего одна и для простоты ее описание опущено. Кроме того, подобный канал является линейным при нулевых начальных условиях, следовательно, учитываемое число слагаемых ряда Вольтерра всего одно. В то же время импульсная характеристика случайна, а значит, она представима в виде произведения:

$$h(t, t') = \alpha(t) \cdot h_0(t - t'),$$

где  $\alpha(t)$  – случайная функция, описывающая замирания в канале (далее – функция замираний);

$h_0(t-t')$  – детерминированная функция, описывающая искажения в канале, вызванные его частотной селективностью (далее – функция искажений).

Синтез дискретного отображения подобного непрерывного канала связи (более детально – совместно модулятора и демодулятора) осуществляется в соответствии с критерием минимума среднеквадратической ошибки между сигналами на входе и на выходе образуемого дискретного канала при ограничении на энергию передаваемых сигналов [9-11]. С целью оценки технического эффекта от применения полученных линейных операторов модуляции и демодуляции проведено вычисление матриц модуляции и демодуляции для исследуемого случайного линейного фильтрового канала связи с аддитивным гауссовским шумом с использованием пакета MathCad. В качестве канала связи рассматривался канал с импульсной характеристикой идеального фильтра высоких частот в диапазоне от 1 ГГц до 1,1 ГГц и аддитивным белым гауссовским шумом. В качестве параметров замираний использовались коэффициенты разложения функции замираний  $\alpha(t)$  по системе базисных функций  $\psi(t)$ :

$$\alpha_i = \int_t \alpha(t) \psi_i(t) dt, \quad i = \overline{1, \infty}.$$

При этом предполагается их статистическая независимость относительно друг друга и распределенность по одинаковому закону Накагами [7]:

$$\omega_\alpha(\alpha) = \frac{2}{\Gamma(\kappa/2)} \left( \frac{\kappa}{2\Omega} \right)^{\kappa/2} \alpha^{\kappa-1} e^{-\frac{\kappa\alpha^2}{2\Omega}}, \quad \alpha \geq 0, \quad (1)$$

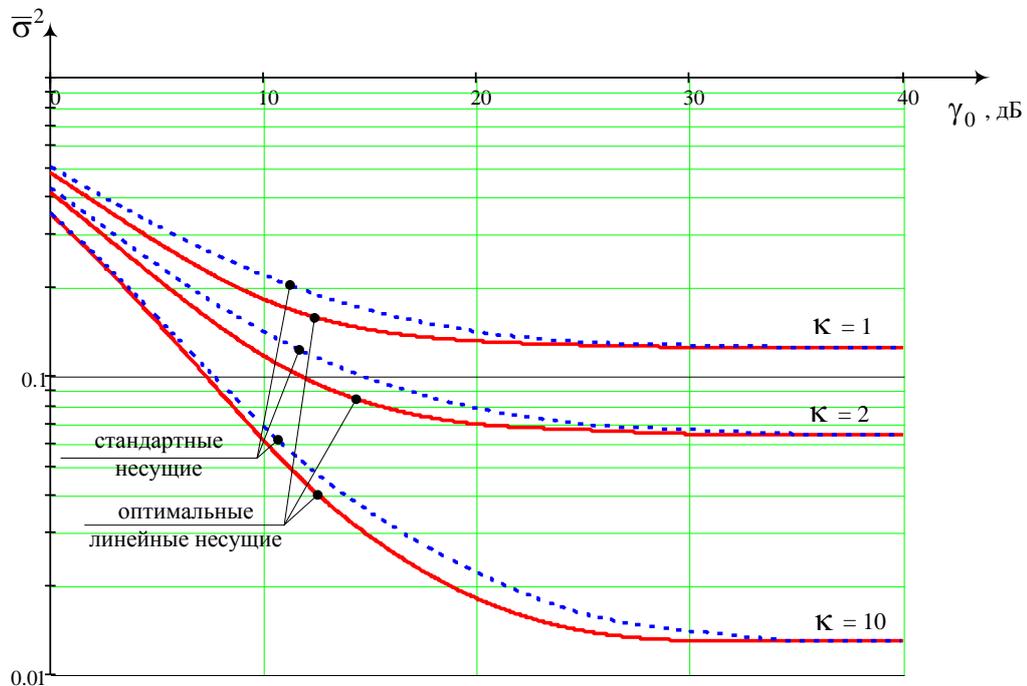
где  $\Omega = M(\alpha^2)$  – начальный момент второго порядка распределения Накагами;  $\kappa$  – параметр замираний [4].

Следует пояснить, что для краткости в (1) индекс у коэффициента замираний опущен, то есть  $\omega_{\alpha_i}(\alpha) = \omega_{\alpha_j}(\alpha) = \omega_\alpha(\alpha)$ ,  $i, j = \overline{1, \infty}$ .

В работе рассматривается вариант  $\Omega = 1$  и три различных значения параметра замираний  $\kappa = 1, 2$  и  $10$ . При  $\kappa = 2$  коэффициенты замираний оказываются распределенными по закону Релея [4, 7]. Меньшая величина  $\kappa = 1$  приводит к более протяженным хвостам распределения, а также к высокой вероятности близких к нулю значений коэффициента замираний, то есть подобное распределение соответствует более нестабильному каналу (глубокие замирания). Увеличение параметра замираний до  $\kappa = 10$  существенно укорачивает хвосты распределений, а кроме того, делает дрожания коэффициента замираний достаточно локализованными в области единичных значений. В результате данные статические свойства оказываются сопоставимыми с характером мелких замираний. Естественно, что дальнейший рост параметра замираний  $\kappa$  в пределе до бесконечности формирует дельтаобразное распределение, соответствующее детерминированной величине равной, единице, следовательно, и случайный канал вырождается в канал связи с постоянными параметрами.

Длительность тактового интервала составляет 100 мкс. При этом в качестве системы базисных функций  $\psi(t)$  использованы гармонические колебания, согласованные по полосе пропускания с каналом связи. Число отсчетов (комбинаций базисных функций) для вычисления оптимальных операторов модуляции равно 4. При этом естественно, что число отсчетов, равное 1, соответствует случаю фиксированных стандартных гармонических несущих, которые и использованы в работе в качестве аналога. Предполагалось, что энергия сигналов (точек сигнальных созвездий), поступающих на вход модулятора, равна единице.

Вычисленные зависимости среднеквадратической ошибки  $\bar{\sigma}^2$  от отношения средней энергии к спектральной плотности шума  $\gamma_0$  в канале связи для случая передачи одномерных двухпозиционных амплитудно-модулированных сигналов представлены на рисунке 1. Графики наглядно демонстрируют наличие энергетического выигрыша оптимального модулятора относительно стандартного. При этом наибольший энергетический выигрыш наблюдается в области средних отношений средней энергии к спектральной плотности шума  $\gamma_0 \sim 10-30$  дБ.



**Рисунок 1 – Зависимость среднеквадратической ошибки  $\bar{\sigma}^2$  от отношения средней энергии к спектральной плотности шума  $\gamma_0$  при оптимальной линейной модуляции и модуляцией гармоническими несущими в условиях оптимальной линейной демодуляции для случая передачи одномерных двухпозиционных амплитудно-модулированных сигналов**

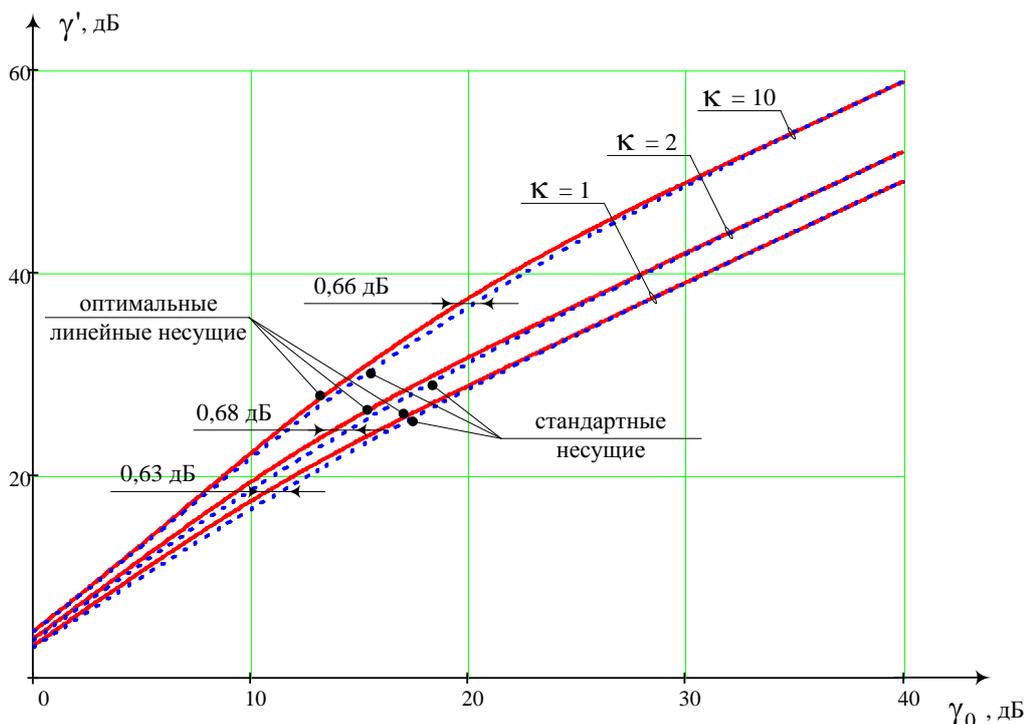
Следует отметить, что разность между принятым сигналом на выходе демодулятора и поданным на вход модулятора, по сути, является реализацией интегральной помехи (мультипликативных и аддитивных шумов) на выходе демодулятора. Следовательно, среднеквадратическое отклонение эквивалентно энергии помехи, содержащейся в сигнале на выходе демодулятора. В результате для заданной энергии передаваемых сигналов целесообразно рассматривать не просто среднеквадратическое отклонение как энергию неустранимой помехи, а отношение энергии полезного сигнала к помехе (отношение сигнал-помеха  $\gamma'$ ). Кроме того, при подобной трактовке показателя технического эффекта появляется возможность прогнозировать помехоустойчивость последующих схем обработки (при переходе от непрерывного выхода к дискретному), поскольку для них наиболее часто исследуемыми являются зависимости достоверности именно от отношения сигнал-помеха, а не просто от энергии вредной составляющей.

В работе были получены зависимости отношения сигнал-помеха на выходе демодулятора  $\gamma'$  от отношения средней энергии к спектральной плотности шума  $\gamma_0$  при единичной спектральной плотности аддитивного шума, представленные на рисунке 2.

Данные зависимости также демонстрируют наличие энергетического выигрыша, достигающего величин порядка 0,68 дБ, оптимального модулятора относительно стандартного. Причем наибольший энергетический выигрыш (аналогично среднеквадратическому отклонению) наблюдается в области средних отношений средней энергии к спектральной плотности шума  $\gamma_0 \sim 10-30$  дБ.

Так, при сопоставимости энергий передаваемых сигналов и аддитивного шума ( $\gamma_0 \approx 0$  дБ) наибольшее влияние на надежность передачи информации оказывает именно аддитивный шум, а мультипликативная помеха достаточно слаба, поскольку мала и энергия передаваемых сигналов. В результате варьирование формы передаваемых сигналов вызывает незначительный эффект (порядка 0,1 дБ), усиливающийся по мере роста отношения средней энергии к спектральной плотности шума  $\gamma_0$ . Однако при значительной энергии передаваемых сигналов ( $\gamma_0 > 30$  дБ) роль замираний оказывается господствующей, а влияние аддитивного шума ничтожным. В итоге ни варьирование формы сигнала, ни дальнейшее увеличение его энергии не приводит к снижению среднеквадратического отклонения и, как следствие, зависимость между отношениями сигнал-помеха на выходе демодулятора  $\gamma'$  и средней энергии к спектральной плотности шума  $\gamma_0$  становится линейной. Кроме того, технические эффекты и оптимальной модуляции, и стандартной оказываются сопоставимыми.

Следует также отметить снижение среднеквадратической ошибки вследствие стабилизации коэффициента передачи канала связи и, как результат, – увеличение отношения сигнал-помеха на выходе демодулятора  $\gamma'$  при заданной средней энергии к спектральной плотности шума  $\gamma_0$ .



**Рисунок 2 – Зависимость отношения сигнал–помеха на выходе демодулятора  $\gamma'$  от отношения средней энергии к спектральной плотности шума  $\gamma_0$  при оптимальной линейной модуляции и модуляцией гармоническими несущими в условиях оптимальной линейной демодуляции для случая передачи одномерных двухпозиционных амплитудно-модулированных сигналов**

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ali-Yahiya T. Understanding LTE and its Performance. – NY: Springer, 2011. – 250 p.

2. Hanzo L. and others. MIMO-OFDM for LTE, WiFi, and WiMAX: Coherent Versus Non-coherent and Cooperative Turbo-transceivers / L. Hanzo, J. Akhtman, L. Wang, M. Jiang. – UK: John Wiley & Sons Ltd, 2011. – 658 p.
3. Fazel K., Kaiser S. Multi-carrier and Spread Spectrum Systems: from OFDM and MC-CDMA to LTE and WiMAX. – 2nd ed. – Chichester: John Wiley & Sons Ltd, 2008. – 260 p.
4. Kaiser T., Zheng F. Ultra Wideband Systems with MIMO. – Chichester: John Wiley & Sons Ltd, 2010. – 254 p.
5. Molisch A.F. Wireless Communications. – 2nd ed. – Chichester: John Wiley & Sons Ltd, 2011. – 827 p.
6. Зюко А.Г. и др. Теория электрической связи: учеб. для ВУЗов / А.Г. Зюко, Д.Д. Кловский, В.И. Коржик, М.В. Назаров; под ред. Д.Д. Кловского. – М.: Радио и связь, 1999. – 432 с.
7. Прокис Дж. Цифровая связь: пер. с англ. под ред. Д.Д. Кловского. – М.: Радио и связь, 2000. – 800 с.
8. Батенков К.А. Математическое моделирование непрерывных многопараметрических каналов связи в операторной форме // Телекоммуникации, 2013. – № 10. – С. 2-4.
9. Батенков К.А. Необходимые условия оптимальности операторов модуляции и демодуляции // Многоядерные процессоры, параллельное программирование, ПЛИС, системы обработки сигналов: сб. ст. / сост. А.В. Калачев, В.В. Белозерских. – Барнаул, 2013. – С. 58-62.
10. Батенков К.А. Обобщенный пространственно-матричный вид энергетических ограничений систем связи // Известия Тульского государственного университета. Технические науки, 2013. – № 3. – С. 238-245.
11. Батенков К.А. Дискретные отображения непрерывного канала связи на основе обобщенного ряда Фурье // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. – Рязань, 2013. – № 1 (выпуск 43). – С. 12-20.

**Батенков Кирилл Александрович**

Академия ФСО, г. Орел

Кандидат технических наук, сотрудник

E-mail: pustur@yandex.ru

---

K.A. BATENKOV (*Candidate of Engineering Sciences, Employee*)  
*Academy of Federal Agency of Protection of the Russian Federation, Orel*

#### **LINEAR MODULATION AND DEMODULATION FOR WIRELESS CHANNEL WITH NACAGAMI FADING**

*Wireless channel discrete mappings under the minimal average squared error criterion between signals on generated discrete channel input and output on limit of transmitted signals. Matrixes of modulation and demodulation for wireless channel model analyzed with utilizing of mathematical software suite MathCad. Performance evaluation of linear matched modulation and demodulation for wireless channel with Nacagami fading is carried out. Channel with pulse response of 1–1,1 GHz pass-band filter and additive white Gaussian noise is considered. Energy gain to 0,68 dB of proposed settlements in regard to standard modulation by harmonic oscillation is shown. Energy gain maximum (and also under the average squared error) is watched in and around mean ratios of energy to noise power spectral density (near 10–30 dB). Average squared error decrease as a result of channel transmission gain stabilization and consequently signal–noise growth on desired ratios of energy to noise power spectral density is marked.*

**Keywords:** *wireless channel; continuous channel discrete mappings; modulation; demodulation; Nacagami distribution; fading; average squared error.*

#### **BIBLIOGRAPHY (TRANSLITERATED)**

1. Ali-Yahiya T. Understanding LTE and its Performance. – NY: Springer, 2011. – 250 p.

2. Hanzo L. and others. MIMO-OFDM for LTE, WiFi, and WiMAX: Coherent Versus Non-coherent and Cooperative Turbo-transceivers / L. Hanzo, J. Akhtman, L. Wang, M. Jiang. – UK: John Wiley & Sons Ltd, 2011. – 658 p.
3. Fazel K., Kaiser S. Multi-carrier and Spread Spectrum Systems: from OFDM and MC-CDMA to LTE and WiMAX. – 2nd ed. – Chichester: John Wiley & Sons Ltd, 2008. – 260 p.
4. Kaiser T., Zheng F. Ultra Wideband Systems with MIMO. – Chichester: John Wiley & Sons Ltd, 2010. – 254 p.
5. Molisch A.F. Wireless Communications. – 2nd ed. – Chichester: John Wiley & Sons Ltd, 2011. – 827 p.
6. Zyuko A.G. i dr. Teoriya e'lektricheskoy svyazi: ucheb. dlya VUZov / A.G. Zyuko, D.D. Klovskiy, V.I. Korzhik, M.V. Nazarov; pod red. D.D. Klovslogo. – M.: Radio i svyaz', 1999. – 432 s.
7. Prokis Dzh. Cifrovaya svyaz': per. s angl. pod red. D.D. Klovslogo. – M.: Radio i svyaz', 2000. – 800 s.
8. Batenkov K.A. Matematicheskoe modelirovanie nepreryvny'x mnogoparametricheskix kanalov svyazi v operatornoj forme // Telekommunikacii, 2013. – № 10. – S. 2-4.
9. Batenkov K.A. Neobxodimy'e usloviya optimal'nosti operatorov modulyacii i demodulyacii // Mnogoyaderny'e processory', parallel'noe programmirovaniye, PLIS, sistemy' obrabotki signalov: sb. st. / sost. A.V. Kalachev, V.V. Belozerskix. – Barnaul, 2013. – S. 58-62.
10. Batenkov K.A. Obobshhenny'j prostranstvenno-matrichny'j vid e'nergeticheskix ogranichenij sistem svyazi // Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Texnicheskie nauki, 2013. – № 3. – S. 238-245.
11. Batenkov K.A. Diskretny'e otobrazheniya nepreryv'nogo kanala svyazi na osnove obobshhennogo ryada Fur'e // Vestnik Ryazanskogo gosudarstvennogo radiotexnicheskogo universiteta. – Ryazan', 2013. – № 1 (vy'pusk 43). – S. 12-20.

**ТРЕБОВАНИЯ**  
**к оформлению статьи для опубликования в журнале**  
**«Информационные системы и технологии»**

**ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ**

Объем материала, предлагаемого к публикации, измеряется страницами текста на листах **формата А4** и содержит от **4 до 9 страниц**; все страницы рукописи должны иметь сплошную нумерацию.

В одном сборнике может быть опубликована только **одна статья одного** автора, включая соавторство.

Плата с аспирантов за публикацию рукописей не взимается.

Аннотации всех публикуемых материалов, ключевые слова, информация об авторах, списки литературы будут находиться в свободном доступе на сайте соответствующего журнала и на сайте Российской научной электронной библиотеки – РУНЭБ (Российский индекс научного цитирования).

**ТРЕБОВАНИЯ К СОДЕРЖАНИЮ НАУЧНОЙ СТАТЬИ**

Научная статья, предоставляемая в журналы, должна иметь следующие **обязательные** элементы:

- постановка проблемы или задачи в общем виде;
- анализ достижений и публикаций, в которых предлагается решение данной проблемы или задачи, на которые опирается автор, выделение научной новизны;
- исследовательская часть;
- обоснование полученных результатов;
- выводы по данному исследованию и перспективы дальнейшего развития данного направления;
- библиография.

**ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ НАУЧНОЙ СТАТЬИ**

Статья должна быть набрана шрифтом Times New Roman, размер 12 pt с одинарным интервалом, текст выравнивается по ширине; абзацный отступ – 1,25 см, правое поле – 2 см, левое поле – 2 см, поля внизу и сверху – 2 см.

**Обязательные элементы:**

- **УДК**
- **заглавие (на русском и английском языках)**
- **аннотация (на русском и английском языках)**
- **ключевые слова (на русском и английском языках)**
- **список литературы**, на которую автор ссылается в тексте статьи.

**ТАБЛИЦЫ, РИСУНКИ, ФОРМУЛЫ**

Все таблицы, рисунки и основные формулы, приведенные в тексте статьи, должны быть пронумерованы.

**Формулы** следует набирать в редакторе формул Microsoft Equation 3.0 с размерами: обычный шрифт – 12 pt, крупный индекс – 10 pt, мелкий индекс – 8 pt. **Формулы, внедренные как изображение, не допускаются!** Русские и греческие буквы, а также обозначения тригонометрических функций набираются прямым шрифтом, латинские буквы – *курсивом*.

**Рисунки** и другие иллюстрации (чертежи, графики, схемы, диаграммы, фотоснимки) следует располагать непосредственно после текста, в котором они упоминаются впервые. Рисунки, число которых должно быть логически оправданным, представляются в виде отдельных файлов в формате \*.eps (Encapsulated PostScript) или TIF размером не менее 300 dpi.

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ**

В конце статьи приводятся набранные 10 pt сведения об авторах в такой последовательности: фамилия, имя, отчество (полуужирный шрифт); учреждение или организация, ученая степень, ученое звание, должность, адрес, телефон, электронная почта (обычный шрифт). Сведения об авторах также предоставляются отдельным файлом и обязательно дублируются на английском языке.