

№ 5/55(568) сентябрь-октябрь 2009

Издается с 2002 года. Выходит шесть раз в год

Учредитель - ГОУ ВПО «Орловский государственный технический университет»

Редакционный совет:Голенков В.А., *председатель*Радченко С.Ю., *зам. председателя*Борзенков М.И., Константинов И.С.,  
Новиков А.Н., Попова Л.В., Степанов Ю.С.Главный редактор:**Константинов И.С.**Редколлегия:Архипов О.П., Аверченков В.И.,  
Гайндрик К.Г., Еременко В.Т.,  
Иванов Б.Р., Иванников А.Д.,  
Ипатов О.С., Колоколов Ю.В.,  
Корндорф С.Ф., Коськин А.В.,  
Подмастерьев К.В., Поляков А.А.,  
Распопов В.Я., Сотников В.В.,  
Шкатов П.Н.Адрес учредителя журнала:302020, г. Орел, Наугорское шоссе, 29  
(4862) 43-48-90; www.ostu.ru; E-mail:  
nmu@ostu.ruАдрес редакции:302020, г. Орел, Наугорское шоссе, 40  
(4862) 43-40-49; www.ostu.ru; E-mail: isit@ostu.ruСдано в набор 01.10.2009 г. Подписано в печать  
20.10.2009 г.Формат 70x108 1/16. Бумага офсетная. Печать  
офсетная.

Усл. печ. л. 7,5. Тираж 300 экз.

Заказ № \_\_\_\_\_

Отпечатано с готового оригинал-макета  
на полиграфической базе ОрелГТУ  
302030, г. Орел, ул. Московская, 65Журнал входит в перечень ведущих рецензируемых  
научных журналов и изданий, определенных ВАК,  
для публикации трудов на соискание ученых степе-  
ней кандидатов и докторов наук.Рубрики номера:

1. Математическое  
и программное обеспечение  
вычислительной техники  
и автоматизированных  
систем.....5-34
2. Компьютерное  
моделирование.....35-55
3. Информационные технологии  
в социально-экономических  
и организационно-  
технических системах.....56-94
4. Автоматизация и управление  
технологическими процессами  
и производствами.....98-124
5. Телекоммуникационные  
системы  
и компьютерные сети.....125-131

Редакция:Г.А. Константинова  
А.И. Колонистова  
А.А. МитинДо второго полугодия 2009 г.  
журнал выходил под названием  
«Известия ОрелГТУ».  
Серия «Информационные системы и  
технологии».Подписной индекс 15998  
по объединенному каталогу  
«Пресса России»

© ОрелГТУ, 2009

№ 5/55(568) September-October 2009

The journal is published since 2002, leaves six times a year

The founder – Orel State Technical University

*Editorial council:*Golenkov V.A., *president*Radchenko S.Y., *vice-president*Borzenkov M.I., Konstantinov I.S.,  
Novikov A.N., Popova L.V., Stepanov Y.S.*Editor-in-chief:*

Konstantinov I.S.

*Editorial Committee:*Arhipov O.P., Averchenkov V.I.,  
Gaindrik K.G., Eremenko V.T.,  
Ivanov B.R., Ivannikov A.D.,  
Ipatov O.S., Kolokolov J.V.,  
Korndorf S.F., Koskin A.V.,  
Podmasteriev K.V., Polyakov A.A.,  
Raspopov V.Ya., Sotnikov V.V.,  
Shkatov P.N.*The address of the founder of magazine:*302020, Orel, Highway Naugorskoye, 29  
(4862) 43-48-90; www.ostu.ru;  
E-mail: nmu@ostu.ru*The address of the edition:*302020, Orel, Highway Naugorskoye, 40  
(4862) 43-40-49; www.ostu.ru; E-mail: isit@ostu.ruIt is handed over in a set of 01.10.2009,  
20.10.2009 are sent for the press  
Format 70x108 1/16. A paper offset.

The press offset

Press conditions L. 7,5. Circulation 300 copies

The order № \_\_\_\_\_

It is printed from a ready dummy  
on polygraphic base of OrelSTU  
302030, Orel, street Moscow, 65Journal is included into the list of the Higher  
Examination Board for publishing the results of theses  
for competition the academic degrees.In this number:

1. Software of the computer facilities and the automated systems.....5-34
2. Computer simulation.....35-55
3. An information technology in social and economic and organizational-technical systems.....56-94
4. Automation and management of technological processes and manufactures.....98-124
5. Telecommunication systems and computer networks .....125-131

*The edition:*Konstantinova G.A.  
Kolonistova A.I.  
Mitin A.A.Before the second half of the year 2009  
the magazine was leave under the name  
«Izvestia Orel State Technical University.  
Information systems and technologies».Index on the catalogue  
of the «Pressa Rossii» 15998

© OrelSTU, 2009

## СОДЕРЖАНИЕ

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

Архипов О.П., Зыкова З.П. Минимизация погрешности отображения отпечатков цветных пикселей в цветовое пространство сканера.....	5
Муромцев В.В. Установка для исследования алгоритмов цифровой обработки звуковых сигналов.....	12
Созонова Т.Н., Титова Н.С. Обработка изображений на основе вариационных алгоритмов интерполяции и оценки первой производной.....	18
Чижев И.И. О новом методе сжатия речевых данных на основе прореживания.....	26

### **КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ**

Белокуров С.В., Скрыль С.В., Белокуров В.П., Мотузка Д.А. Векторные схемы выбора решений в оптимизационных транспортных задачах.....	35
Попко Е.А., Вайнштейн И.А., Смирнов Г.Б. Настройка операторов генетического моделирования методом полного факторного эксперимента...	42
Слепущин В.В. Моделирование движения и восстановления скорости ступенчатого стержня при ударе о жесткую преграду.....	48

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

Жилияков Е.Г., Белов С.П., Девыцына С.Н., Игрунова С.В., Путивцева Н.П. Системная модель направлений профессиональной деятельности в сфере информационно-коммуникационных технологий.....	56
Каратаев О.А., Ковылин А.Н. Технология разработки системы учета документооборота.....	66
Тараканов О.В., Лашко А.Н. Методика прогнозирования значения признаков вектора террористической активности на основе анализа временных рядов в задаче оценки террористической ситуации в регионе.....	75
Якимов И.С., Якимов С.П. Система поддержки принятия решений в организации профессионального самообразования педагогов.....	87

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

Бондарь М.С., Бондарь С.Н. Разработка измерительно-вычислительного комплекса контроля уровня напряжения с возможностью коррекции погрешностей входящего в его состав цифрового вольтметра.....	95
Радченко С.Ю., Михайлов В.Н., Киселев А.В. Моделирование системы управления машины для изготовления медной стренги способом SZ-скрутки.....	105
Суздальцев А.И., Петров С.П. Алгоритмы автоматизированного управления подсистемой пиковой нагрузки в КСЦТ.....	111
Шевляков А.Н. Применение методов проектного управления в технологической подготовке производства.....	118

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

Логинов И.В., Иванов И.В. Прогнозирование времени обработки запроса в гетерогенных вычислительных системах.....	125
---	-----

## CONTENT

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

- Arhipov O.P., Zikova Z.P.* Minimisation of an error of display of prints of colour pixels in colour space of the scanner.....5
- Muromcev V.V.* The device for research of algorithms of digital processing of audio-signals.....12
- Sozonova T.N., Titova N.S.* Image progressing based on variational algorithms of the interpolation and the estimation of the first derived.....18
- Chizhov I.I.* The new method of speech compression based on decimation.....26

### **COMPUTER SIMULATION**

- Belokurov S.V., Skril S.V., Belokurov V.P., Motuzka D.A.* The vectorial diagrams of decisions' choice in the optimization transport tasks.....35
- Popko E.A., Vainshtein I.A., Smirnov G.B.* Adjustment of operators of genetic modelling by a method of full factorial experiment.....42
- Slepukhin V.V.* Modeling of motion and restitution velocity of rod during impact at rigid barrier.....48

### **AN INFORMATION TECHNOLOGY IN SOCIAL AND ECONOMIC AND ORGANIZATIONAL-TECHNICAL SYSTEMS**

- Zhyliakov E.G., Belov S.P., Devitsyna S.N., Igrunova S.V., Putivtseva N.P.* System model of directions of professional activity in the field of information – communication technologies (ICT).....56
- Karataev O.A., Kovilin A.N.* Technology development of system documentation.....66
- Tarakanov O.V., Lapko A.N.* The technique of forecasting the sign values of the terrorist activity vector based on the time series analysis in order to assess a terrorist situation in the region.....75
- Yakimov I.S., Yakimov S.P.* Decision support system for pedagogue's professional self-education.....87

### **AUTOMATION AND MANAGEMENT OF TECHNOLOGICAL PROCESSES AND MANUFACTURES**

- Bondar M.S., Bondar S.N.* Development of the measurement-calculation complex of the control of a level of voltage, with an opportunity of correction the errors of the digital voltmeter, included in its structure.....95
- Radchenko S.U., Mihailov V.N., Kiselev A.V.* Modelling of the control system of the car for manufacturing copper shroud line in the way SZ-stranding.....105
- Suzdalcev A.I., Petrov S.P.* Algorithms of automated management by a subsystem of peak loading in cogeneration to system of the centralized heat supply.....111
- Shevlyakov A.N.* Application of methods of design management in technological preparation of manufacture.....118

### **TELECOMMUNICATION SYSTEMS AND COMPUTER NETWORKS**

- Loginov I.V., Ivanov I.V.* Query processing time prognostication in the heterogeneous computer systems.....125

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ  
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ И АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ

УДК 004.9

О.П. АРХИПОВ, З.П. ЗЫКОВА

МИНИМИЗАЦИЯ ПОГРЕШНОСТИ ОТОБРАЖЕНИЯ  
ОТПЕЧАТКОВ ЦВЕТНЫХ ПИКСЕЛЕЙ  
В ЦВЕТОВОЕ ПРОСТРАНСТВО СКАНЕРА

В общем случае при сканировании цветных изображений не удается избежать грубых искажений в установлении попиксельного соответствия оригинала и скана отпечатка. Предлагается информационная технология, позволяющая минимизировать ошибки при вычислении отображений отпечатков цветных пикселей в цветовое пространство сканера.

**Ключевые слова:** цветное изображение; оригинал; скан; отпечаток; цветной пиксель; цветовое пространство сканера.

*Color image scanning is prone to rough misstatements in establishment of pixel accordance original and print scan usually. The information technology that allows minimum errors while calculating print reflections of color pixels in color space of a scanner is proposed.*

**Keywords:** color image; original; scan; imprint; color pixel; color space of scanner.

## ВВЕДЕНИЕ

В ряде практических важных приложений, например, при организации оборота машиночитаемых объектов, при управлении цветопередачей, при тестировании цветового восприятия пользователей компьютерных систем с цветной периферией необходимо решать задачу вычисления отображений отпечатков цветных пикселей, являющихся компонентами произвольных цветных изображений, в цветовое пространство сканера [1-6].

Пусть имеется произвольное RGB-изображение:

$$Image = \{(R_{I,J}, G_{I,J}, B_{I,J})\}.$$

При выполнении определенных условий после процедуры печати и сканирования можно получить скан  $Scan_{Image}$  отпечатка  $Print_{Image}$  изображения  $Image$  такого же размера:

$$Scan_{Image} = \{(R'_{I,J}, G'_{I,J}, B'_{I,J})\}$$

и установить попиксельное соответствие:

$$(R_{I,J}, G_{I,J}, B_{I,J}) \Rightarrow (R'_{I,J}, G'_{I,J}, B'_{I,J}).$$

Если  $Print_{I,J}$  является фрагментом отпечатка  $Print_{Image}$ , который соответствует пикселю  $(R_{I,J}, G_{I,J}, B_{I,J})$ , то пиксель  $(R'_{I,J}, G'_{I,J}, B'_{I,J})$  является отображением отпечатка пикселя в цветовое пространство сканера:

$$Print_{I,J} \Rightarrow (R'_{I,J}, G'_{I,J}, B'_{I,J}). \quad (1)$$

Как известно, результаты двух разных процедур получения отображения (1):

$$Print_{I,J} \Rightarrow (R'_{I,J}, G'_{I,J}, B'_{I,J}), Print_{I,J} \Rightarrow (R''_{I,J}, G''_{I,J}, B''_{I,J})$$

будут различны между собой:

$$(R'_{I,J}, G'_{I,J}, B'_{I,J}) \neq (R''_{I,J}, G''_{I,J}, B''_{I,J}).$$

За меру близости двух отображений (пикселей в RGB-пространстве сканера) одного отпечатка пикселя примем расстояние между пикселями, вычисляемое следующим образом:

$$\rho((R'_{I,J}, G'_{I,J}, B'_{I,J}), (R''_{I,J}, G''_{I,J}, B''_{I,J})) = \sqrt{\frac{(R'_{I,J} - R''_{I,J})^2 + (G'_{I,J} - G''_{I,J})^2 + (B'_{I,J} - B''_{I,J})^2}{3}}.$$

Соответственно за меру близости двух отображений (пикселей в RGB-пространстве сканера) одного отпечатка изображений примем следующую величину:

$$\delta = \max_{I,J} \rho((R'_{I,J}, G'_{I,J}, B'_{I,J}), (R''_{I,J}, G''_{I,J}, B''_{I,J})).$$

Чем меньше погрешность  $\delta$ , тем более точные и стабильные результаты можно получить на практике при выполнении связанных вычислительных процедур.

Вероятностный (случайный) характер процедур печати и сканирования является источником неустранимых погрешностей отображений отпечатков в цветное пространство сканера. Нами предлагается информационная технология, позволяющая минимизировать часть общей погрешности путем устранения ошибки при вычислении отображений отпечатков цветных пикселей в цветное пространство сканера за счет применения нового метода получения и обработки скана отпечатков изображения и пикселей.

## МОДЕЛЬ ДАННЫХ ВЫЧИСЛЕНИЯ ОТОБРАЖЕНИЯ

Пусть RGB-изображение  $Image = \{(R_{I,J}, G_{I,J}, B_{I,J})\}$  напечатано на цветном принтере так, что каждому пикселю соответствует отпечаток  $Print_{I,J}$  одной растровой точки  $RASTR_{I,J}$  размером  $N \times N$ :

$$(R_{I,J}, G_{I,J}, B_{I,J}) \Rightarrow RASTR_{I,J} \rightarrow Print_{I,J},$$

$$RASTR_{I,J} = \{rastr_{I,J}, k, n\}, 1 \leq k, n \leq N,$$

$$rastr_{I,J}, k, n = (R_{I,J}, G_{I,J}, B_{I,J}), 1 \leq k, n \leq N.$$

Обозначим  $d_{I,J}$ -вектор, координаты которого определяют плотности первичных красителей принтера при запечатке фрагмента области печати, соответствующего растровой точке:

$$(R_{I,J}, G_{I,J}, B_{I,J}) \Rightarrow d_{I,J}.$$

При растривании вектору  $d_{I,J}$  сопоставляется битовая карта отпечатка растровой точки:

$$d_{I,J} \Rightarrow \{(r_{I,J,k,n}, g_{I,J,k,n}, b_{I,J,k,n})\}, 1 \leq k, n \leq N,$$

где  $(r_{i,j,k,n}, g_{i,j,k,n}, b_{i,j,k,n})$  – RGB-пиксель, с помощью которого закодирована комбинация первичных красителей соответствующего дота битовой карты растровой точки.

Рассмотрим далее фрагмент изображения из девяти пикселей и соответствующую ему битовую карту:

$$\begin{pmatrix} (R_{I-1,J-1}, G_{I-1,J-1}, B_{I-1,J-1}) & (R_{I-1,J}, G_{I-1,J}, B_{I-1,J}) & (R_{I-1,J+1}, G_{I-1,J+1}, B_{I-1,J+1}) \\ (R_{I,J-1}, G_{I,J-1}, B_{I,J-1}) & (R_{I,J}, G_{I,J}, B_{I,J}) & (R_{I,J+1}, G_{I,J+1}, B_{I,J+1}) \\ (R_{I+1,J-1}, G_{I+1,J-1}, B_{I+1,J-1}) & (R_{I+1,J}, G_{I+1,J}, B_{I+1,J}) & (R_{I+1,J+1}, G_{I+1,J+1}, B_{I+1,J+1}) \end{pmatrix} \Rightarrow \{(r_{I+i,J+j,k,n}, g_{I+i,J+j,k,n}, b_{I+i,J+j,k,n})\}, -1 \leq i, j \leq 1, 1 \leq k, n \leq N.$$

После печати битовой карты указанного фрагмента ей соответствует множество отпечатков дотов растровой точки:

$$(r_{I+i,J+j,k,n}, g_{I+i,J+j,k,n}, b_{I+i,J+j,k,n}) \Rightarrow p_{I+i,J+j,k,n}, -1 \leq i, j \leq 1, 1 \leq k, n \leq N,$$

а после сканирования с разрешением, равным разрешению принтера, – множество сканов отпечатков дотов растровой точки:

$$(r_{I+i,J+j,k,n}, g_{I+i,J+j,k,n}, b_{I+i,J+j,k,n}) \Rightarrow S_{I+i,J+j,k,n}, -1 \leq i, j \leq 1, 1 \leq k, n \leq N.$$

Поскольку при запечатке красочные пятна соседних дотов частично перекрывают друг друга, то цвет отпечатка  $p_{I+i,J+j,k,n}$  зависит не только от соответствующего компонента  $(r_{I+i,J+j,k,n}, g_{I+i,J+j,k,n}, b_{I+i,J+j,k,n})$ , но и от значений соседних компонентов.

В силу специфики технологии сканирования значение координат RGB-пикселя  $s_{I+i,J+j,k,n}$  зависит уже не только от непосредственных соседей соответствующего компонента  $(r_{I+i,J+j,k,n}, g_{I+i,J+j,k,n}, b_{I+i,J+j,k,n})$ , но и от значений соответствующих компонентов в некоторой его окрестности.

Это означает, что во множестве  $\{S_{I,J,k,n}\} 1 \leq k, n \leq N$  только часть внутренних пикселей:

$$\{S_{I,J,k,n}\} = \{(r'_{I,J,k,n}, g'_{I,J,k,n}, b'_{I,J,k,n})\}, 1 + \tau \leq k, n \leq N - \tau, \quad (2)$$

где число  $\tau$  обозначает количество отброшенных приграничных столбцов и строк растровой точки и удовлетворяет условию  $0 < \tau < N/2$ , зависит от компонентов битовой карты данного пикселя и не зависит от компонентов битовых карт соседних пикселей. Следовательно, для уменьшения погрешности  $\delta$  при вычислении отображения в (1) следует использовать исключительно компоненты из (2):

$$\{\{S_{I,J,k,n}\}, 1 + \tau \leq k, n \leq N - \tau\} \Rightarrow (R'_{I,J}, G'_{I,J}, B'_{I,J}). \quad (3)$$

## АЛГОРИТМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ВЫЧИСЛЕНИЯ ОТОБРАЖЕНИЯ

Для вычисления отображения отпечатков пикселей в цветовое пространство сканера необходимо разработать следующие алгоритмы:

- алгоритм вычисления сканов отпечатков дотов растровых точек:

$$\{S_{I,J,k,n}\}, 1 \leq k, n \leq N;$$

- алгоритм вычисления координат  $(R'_{I,J}, G'_{I,J}, B'_{I,J})$  из (3);

- алгоритм вычисления значения величины  $\tau$ .

*Алгоритм вычисления сканов отпечатков дотов.* При сканировании отпечатка  $Print_{Image}$  изображения  $Image$  в общем скане отпечатка прямоугольнику исходных пикселей соответствует некоторый многоугольник из пикселей цветового пространства сканера.

Если при печати *Image* изображение снабжается метками позиционирования, то применим алгоритм, допускающий автоматическую реализацию. Чтобы выделить многоугольник из общего скана, необходимо:

- определить месторасположение меток позиционирования;
- вычислить отображения координат реперных точек меток позиционирования.

Это позволяет представить многоугольник как определенную совокупность четырехугольников, внутри которых находятся отображения растровых точек пикселей и соответственно отображения сканов отпечатков дотов растровых точек. Затем вычисляется местоположение скана отпечатка каждого дота и его цветные координаты.

Местоположение меток позиционирования в общем скане отпечатка определяется при распознавании изображения метки позиционирования, осуществляемого путем сличения идеального изображения метки и фрагментов общего скана. Отображение координат реперных точек меток позиционирования вычисляются, исходя из значений координат пикселей метки позиционирования и значений координат реперной точки внутри метки позиционирования.

Координаты местоположения скана отпечатка дота рассчитываются путем определения функции отображения прямоугольника (или квадрата) с реперными точками в вершинах на четырехугольник с вершинами из отображений реперных точек. Координаты скана отпечатка дота растровой точки определяются равными координатам пикселя скана, местоположение которого совпадает с местоположением скана отпечатка дота.

Если при печати *Image* изображение не удается снабдить метками позиционирования, то описанный выше алгоритм не применим. Необходимо модифицировать общий скан отпечатка, отредактировав его в каком-либо графическом редакторе с целью:

- разделения скана на подходящие фрагменты;
- генерирования нового изображения, состоящего из выделенных фрагментов и идеальных изображений меток позиционирования в зарезервированных полях промежутков между фрагментами общего скана.

После завершения редактирования к новому изображению применим изложенный выше алгоритм, результатом реализации которого является множество определенных значений RGB-координат сканов отпечатков дотов растровых точек:

$$S_{I,J,k,n} = (r'_{I,J,k,n}, g'_{I,J,k,n}, b'_{I,J,k,n}), 1 \leq k, n \leq N.$$

Алгоритм вычисления координат  $(R'_{I,J}, G'_{I,J}, B'_{I,J})$  из (3). Для вычисления координат  $(R'_{I,J}, G'_{I,J}, B'_{I,J})$  достаточно применить формулу:

$$(R'_{I,J}, G'_{I,J}, B'_{I,J}) = \left( \frac{\sum_{k=1+\tau}^{N-\tau} \sum_{n=1+\tau}^{N-\tau} r'_{I,J,k,n}}{(N-2\tau)^2}, \frac{\sum_{k=1+\tau}^{N-\tau} \sum_{n=1+\tau}^{N-\tau} g'_{I,J,k,n}}{(N-2\tau)^2}, \frac{\sum_{k=1+\tau}^{N-\tau} \sum_{n=1+\tau}^{N-\tau} b'_{I,J,k,n}}{(N-2\tau)^2} \right). \quad (4)$$

Алгоритм вычисления значения величины  $\tau$ . Определение величины  $\tau$  является нетривиальной задачей и предполагает проведение предварительного тестирования для каждого из пикселей  $(R_{I,J}, G_{I,J}, B_{I,J})$ .

Предлагается следующая последовательность действий:

- определение эталонного значения  $(R_{I,J}^{\ominus}, G_{I,J}^{\ominus}, B_{I,J}^{\ominus})$  отображения пикселя  $(R_{I,J}, G_{I,J}, B_{I,J})$  в цветовое пространство сканера и коэффициента нестабильности отображения;

- подбор экспериментальным путем наименьшего из возможных значений  $\tau$ , при котором отклонение  $(R'_{I,J}, G'_{I,J}, B'_{I,J})$  от эталонного значения  $(R_{I,J}^{\ominus}, G_{I,J}^{\ominus}, B_{I,J}^{\ominus})$  невелико (удовлетворяет соответствующему критерию допустимости).

Для определения эталонного значения  $(R_{I,J}^{\ominus}, G_{I,J}^{\ominus}, B_{I,J}^{\ominus})$  отображения пикселя  $(R_{I,J}, G_{I,J}, B_{I,J})$  в цветовое пространство сканера предлагается:

- напечатать однотонное изображение, состоящее из одинаковых пикселей  $(R_{I,J}, G_{I,J}, B_{I,J})$ ;

- отсканировать полученный отпечаток;

- в полученном скане вырезать полезную часть, состоящую из сканов отпечатков внутренних растровых точек изображения;

- случайным образом выделить из полезной части скана несколько (пусть  $M$ ) растровых точек и вычислить их цветовые характеристики (средние значения координат составляющих их пикселей):

$$(r''_m, g''_m, b''_m), 1 \leq m \leq M;$$

- определить эталонное значение  $(R_{I,J}^{\ominus}, G_{I,J}^{\ominus}, B_{I,J}^{\ominus})$  как среднее значение вычисленных цветовых характеристик:

$$(R_{I,J}^{\ominus}, G_{I,J}^{\ominus}, B_{I,J}^{\ominus}) = \left( \frac{\sum_{m=1}^M r''_m}{M}, \frac{\sum_{m=1}^M g''_m}{M}, \frac{\sum_{m=1}^M b''_m}{M} \right).$$

Для определения коэффициента нестабильности  $\sigma$  необходимо вычислить наибольшее отклонение из рассмотренных цветовых характеристик от эталонного значения:

$$\sigma = \max_m \rho((r''_m, g''_m, b''_m), (R_{I,J}^{\ominus}, G_{I,J}^{\ominus}, B_{I,J}^{\ominus})).$$

Для подбора значений  $\tau$  предлагается создать несколько (пусть  $M'$ ) RGB-изображений размером  $3 \times 3$  пикселя со специальной структурой. В центре таких изображений разместить пиксель  $(R_{I,J}, G_{I,J}, B_{I,J})$ , а остальным восьми пикселям придать случайным образом выбранные значения, отличные от  $(R_{I,J}, G_{I,J}, B_{I,J})$ .

Из таких изображений составляется большее тестовое изображение  $Image_{Test}$ , куда дополнительно включаются метки позиционирования. Затем  $Image_{Test}$  печатается и сканируется. К полученному скану применяется алгоритм вычисления сканов отпечатков дотов.

Рассматриваются сканы отпечатков дотов растровых точек, соответствующих пикселю  $(R_{I,J}, G_{I,J}, B_{I,J})$ :

$$S_{m,I,J,k,n} = (r'_{m,I,J,k,n}, g'_{m,I,J,k,n}, b'_{m,I,J,k,n}), 1 \leq k, n \leq N, 1 \leq m \leq M'.$$

Выполняется итерационная процедура. На первом шаге полагаем:

$$\tau = 1.$$

При выбранном значении  $\tau$  и в соответствии с (4) вычисляем отображения:

$$(R'_{m,I,J}(\tau), G'_{m,I,J}(\tau), B'_{m,I,J}(\tau)), 1 \leq m \leq M'.$$

Проверяем допустимость  $\tau$  по следующему критерию:

$$\rho((R'_{m,I,J}(\tau), G'_{m,I,J}(\tau), B'_{m,I,J}(\tau)), (R_{I,J}^{\ominus}, G_{I,J}^{\ominus}, B_{I,J}^{\ominus})) \leq \sigma, 1 \leq m \leq M'. \quad (5)$$

Если условие (5) выполнено, то задача подбора  $\tau$  решена. Иначе увеличиваем значение  $\tau$  на единицу и повторяем процедуру.

Итерации прекращаются или при успешном подборе значения  $\tau$ , или при превышении пробного значения  $\tau$  максимально допустимого значения  $(N/2)$ . В последнем случае задача в пользовательских условиях печати и сканирования решения не имеет, поскольку периферийное оборудование или соответствующие расходные материалы не обеспечивают достаточно стабильной и точной цветопередачи.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложена информационная технология, позволяющая минимизировать часть общей погрешности путем устранения ошибки при вычислении отображений отпечатков цветных пикселей в цветовое пространство сканера. Это обеспечивает получение более точных количественных характеристик цветопередачи в условиях пользовательской компьютерной системы, что важно для выработки заключения о пригодности (непригодности) данных условий для решения различных прикладных задач.

Например, результаты применимы при организации оборота машиночитаемых объектов, поскольку позволяют генерировать алфавиты машиночитаемых объектов, с помощью которых в отпечатках цветных изображений кодируются, а в сканах отпечатков декодируются произвольные пользовательские данные.

Предложенная ИТ применима также при решении задач управления цветопередачей в компьютерных системах с цветной периферией, поскольку позволяет уточнить результаты преобразования графических данных при переходе от одного цветового пространства в другое.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Архипов О.П. Преобразование форм представления цветных графических изображений в офисной компьютерной системе//Научные технологии, 2004. – Т.5. – № 7. – С. 36-42.
2. Архипов О.П., Архипов П.О., Зыкова З.П. Один класс машиночитаемых цветных графических изображений//Вестник компьютерных и информационных технологий, 2005.– №8. – С.8-13.
3. Архипов О.П. Алгоритмы идентификации визуально не различаемых по цвету пикселей//Научные технологии, 2005. – Т.6. – № 6. – С. 70-75.
4. Архипов О.П., Архипов П.О., Захаров В.Н., Зыкова З.П. Аппроксимация цветных изображений для получения машиночитаемых объектов//Информационные технологии, 2007. – № 7. – С. 53-57.
5. Архипов О.П. Неустраняемые погрешности цветовоспроизведения на лазерных принтерах//Информационные технологии, 2007. – № 4. – С. 24-27.

6. Архипов О.П., Архипов П.О., Захаров В.Н., Зыкова З.П., Соколов И.А. Патент RU 2295767 С1, МПК G06K 9/80. Способ компьютерного распознавания и визуального воспроизведения цветных изображений. – № 2005130683; Заявлено 04.10.05; Оpubл. 20.03.07, Бюл. № 8; Приоритет 04.10.05.

**Архипов Олег Петрович**

Орловский филиал Учреждения Российской академии наук Института проблем информатики РАН

Директор ОФ ИПИ РАН

Старший научный сотрудник, кандидат технических наук

Тел.: 8(4862)33-57-41

E-mail: ofran@orel.ru

**Зыкова Зоя Петровна**

Орловский филиал Учреждения Российской академии наук Института проблем информатики РАН

Заведующая лабораторией ОФ ИПИ РАН

Старший научный сотрудник, кандидат физико-математических наук

Тел.: 8(4862)36-86-88

УДК 004.3

В.В. МУРОМЦЕВ

## УСТАНОВКА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ АЛГОРИТМОВ ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКИ ЗВУКОВЫХ СИГНАЛОВ

*Рассмотрены возможности, основные технические характеристики и особенности программного обеспечения установки для исследования алгоритмов цифровой обработки звуковых сигналов, созданной на базе оценочного комплекта ADSP-21262 EZ-KIT Lite, включающего цифровой сигнальный процессор ADSP-21262 SHARC. Программное обеспечение установки разработано в среде VisualDSP++ и LabVIEW.*

**Ключевые слова:** цифровая обработка сигналов; цифровой сигнальный процессор; ADSP-21262 EZ-KIT Lite; ADSP-21262 SHARC; VisualDSP++; LabVIEW.

*Possibilities, the main technical characteristics and features of the software of the device for research of algorithms of digital processing of the audio-signals created on the basis of evaluation kit ADSP-21262 EZ-KIT Lite, including digital signal processor ADSP-21262 SHARC are considered. The device Software is developed in the environment of VisualDSP ++ and LabVIEW.*

**Keywords:** digital signal processing; digital signal processor; ADSP-21262 EZ-KIT Lite; ADSP-21262 SHARC; VisualDSP++; LabVIEW.

### ВВЕДЕНИЕ

Для аппаратной реализации алгоритмов цифровой обработки сигналов (ЦОС) широко используются цифровые сигнальные процессоры (ЦСП). Основное преимущество ЦСП перед программируемыми логическими интегральными схемами, заказными интегральными схемами и другими аппаратными средствами, использующимися для реализации алгоритмов ЦОС, в их универсальности. ЦСП позволяют достаточно эффективно реализовать алгоритмы, содержащие как обработку данных, так и ветвления. Это приводит к тому, что затраты на аппаратную реализацию алгоритмов ЦОС на базе ЦСП, как правило, меньше, чем затраты на их реализацию на базе других аппаратных средств. Однако создание законченного цифрового устройства, осуществляющего ЦОС, даже на базе ЦСП довольно сложная задача. Поэтому вначале, как правило, создается не само устройство, а его прототип. Под прототипом следует понимать опытный образец устройства, т.е. некоторое изделие, построенное на тех же элементах, которые планируется применять для реализации самого устройства, и способное выполнять все функции устройства. Допустимо, что прототип будет выполнен по более простой технологии, будет иметь большие размеры, упрощенный дизайн и др. Основным назначением прототипа является детальное исследование устройства перед его созданием.

Для облегчения задачи создания прототипов существуют так называемые оценочные комплекты, представляющие собой плату с ЦСП и основными устройствами, необходимыми для его работы. Такие комплекты выпускают как фирмы, производящие ЦСП, так и сторонние производители. Также в оценочные

комплекты может входить программное обеспечение, необходимое для создания исполняемых программ для выбранного (целевого) процессора. Как правило, такое программное обеспечение имеет ограниченный срок лицензии и стоит недорого.

Использование оценочных комплектов позволяет создать прототип за приемлемое время, затратив при этом незначительные средства. Часто использование оценочных комплектов позволяет создать прототип без использования дополнительных устройств. Но несмотря на это, процессы исследования алгоритмов ЦОС на конкретной аппаратной платформе и создания прототипов зачастую затягиваются на длительный срок. Ускорить этот процесс позволяет рассматриваемая в данной статье установка, представляющая собой двухуровневую программно-аппаратную систему. Установка позволяет реализовывать алгоритмы цифровой обработки звуковых сигналов на базе ЦСП ADSP-21262 SHARC компании Analog Devices и проводить исследование этих алгоритмов. Установка создана на базе оценочного комплекта ADSP-21262 EZ-KIT Lite компании Analog Devices.

Оценочный комплект ADSP-21262 EZ-KIT Lite включает:

1. Плату, содержащую следующие элементы:

- 32-разрядный ЦСП ADSP-21262 SHARC;
- 24-разрядный стерео кодек AD1835, позволяющий производить оцифровку сигналов с частотой до 96 КГц;
- Flash-память объема 1МБ;
- SRAM-память объема 512КБ;
- интерфейс USB;
- 2 конфигурируемых аудио-входа (линейный вход или вход для подключения конденсаторного микрофона);
- 8 линейных аудио-выходов;
- выход на стерео-наушники;
- 4 кнопки;
- 8 светодиодов и др.

2. Инструментальное средство разработки VisualDSP++5.0.

3. Блок питания и необходимые соединительные шнуры.

Более детальное описание процессора ADSP-21262 SHARC, оценочной платы и инструментального средства VisualDSP++ можно найти на сайте производителя [1].

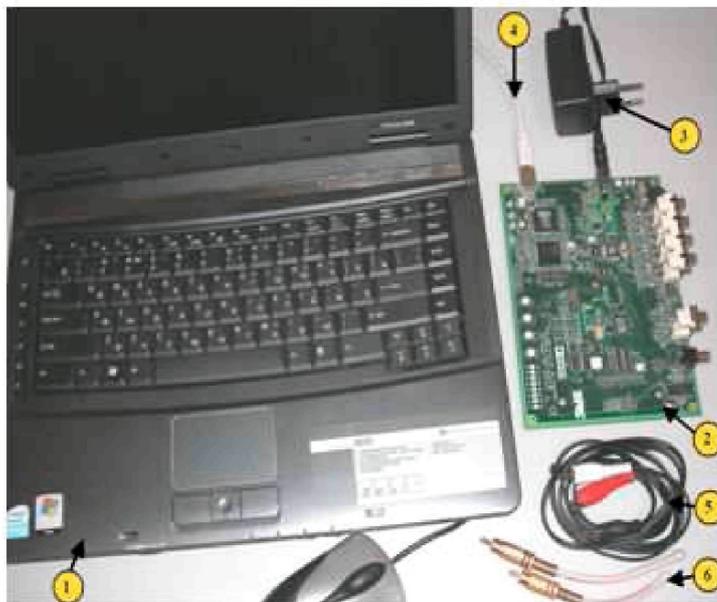
## АППАРАТНОЕ И СИСТЕМНОЕ ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

Внешний вид установки для исследования алгоритмов цифровой обработки звуковых сигналов представлен на рисунке 1. Установка состоит из следующих аппаратных средств:

- персональный компьютер (ПК) – позиция 1 на рисунке1;
- оценочная плата ADSP-21262 EZ-KIT Lite – позиция 2 на рисунке1;
- блок питания оценочной платы – позиция 3 на рисунке1;
- соединительный шнур USB – позиция 4 на рисунке1;
- шнур для подачи входного сигнала – позиция 5 на рисунке1;
- набор конденсаторных микрофонов – позиция 6 на рисунке1.

Минимальные требования к ПК:

- процессор – Intel Pentium 32-bit, 1ГГц;
- RAM-память объема 512 МБ;
- свободный объем жесткого диска – 2 ГБ;
- 1 свободный USB порт.



**Рисунок 1 – Внешний вид установки**

Системное программное обеспечение установки:

- Возможные операционные системы: Windows 2000 SP4, Windows XP SP2, Windows Vista Business edition, Windows Vista Enterprise edition, Windows Vista Ultimate edition.
- Инструментальное средство разработки VisualDSP++5.0.
- Инструментальное средство разработки LabVIEW7.0. Ознакомиться с возможностями LabVIEW можно на сайте производителя [2].

### **ПРИКЛАДНОЕ ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ**

Прикладное программное обеспечение состоит из программы для ЦСП и программы для ПК. Программа для ЦСП создается в среде VisualDSP++. Для облегчения разработки программы создана библиотека, включающая функции организации работы с аппаратурой и типовой проект. Используя эти средства, программист невысокой квалификации может легко создать программу для ЦСП. Программа для ПК создается в среде LabVIEW. Она служит для детального исследования результатов работы алгоритма ЦОС. Для облегчения разработки этой программы создана библиотека функциональных модулей, позволяющих принимать данные от оценочной платы и анализировать их в среде LabVIEW.

В типовом проекте реализована программа для ЦСП, работа которой заключается в выполнении в реальном времени последовательности тактов. Каждый такт состоит из следующих действий:

1. Прием данных с аналого-цифрового преобразователя (АЦП) кодека AD1835. Данные с АЦП представляют собой массив из  $N$  24-разрядных чисел (отсчетов входного сигнала). Отсчеты входного сигнала поступают с АЦП с интервалом  $\Delta t = 1/f_{\partial}$  с., где  $f_{\partial}$  – частота дискретизации, которая может принимать следующие значения: 96, 48, 32, 16, 8, 4 КГц. Цифруемый входной сигнал может поступать со стандартного линейного выхода некоторого устройства или с конденсаторных микрофонов, входящих в комплект установки.

2. Обработка данных принятых с АЦП на предыдущем такте.

3. Формирование выходного сигнала путем передачи обработанных на предыдущем такте данных на цифро-аналоговый преобразователь (ЦАП) кодека AD1835. Выходной сигнал может прослушиваться с помощью наушников или подаваться на стандартный линейный вход некоторого устройства.

Перечисленные действия выполняются параллельно. Для этого организован циклический буфер, состоящий из трех сегментов  $S_0, S_1, S_2$ , каждый из которых состоит из  $N$  ячеек. При этом данные сегмента  $S_i, i = r \bmod 3$  передаются на ЦАП, данные сегмента  $S_k, k = (r + 1) \bmod 3$  обрабатываются, а сегмент  $S_j, j = (r + 2) \bmod 3$  заполняется данными с АЦП. Здесь  $r$  – номер такта. Работа циклического буфера на первых четырех тактах проиллюстрирована на рисунке 2.

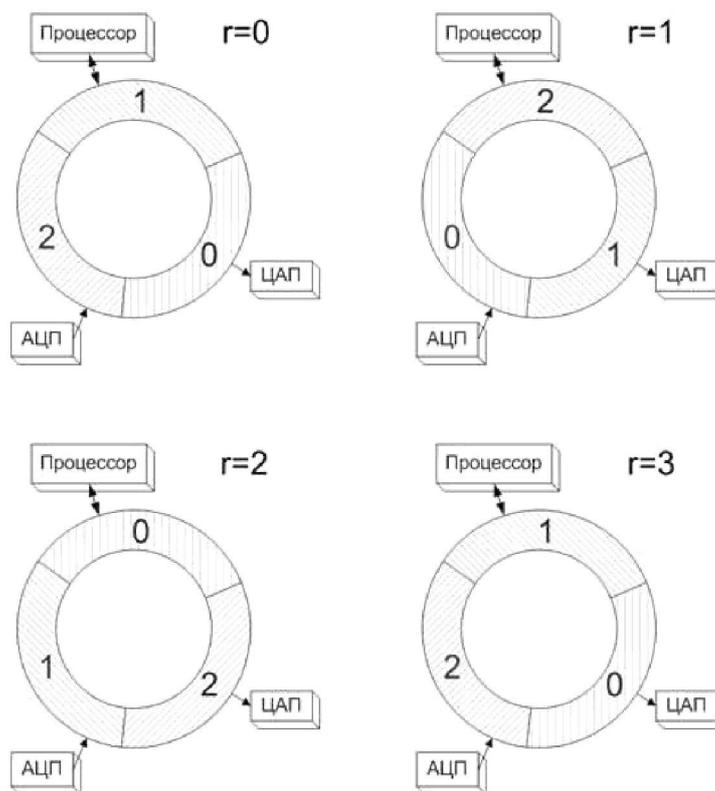


Рисунок 2 – Работа циклического буфера на тактах 0-3

Функция, осуществляющая обработку данных, принятых с АЦП, в типовом проекте не имеет реализации. Параметрами функции является массив, содержащий данные сегмента  $S_k$  и код режима обработки данных, заданный пользователем.

В процессе обработки данных отслеживаются следующие ошибки:

1. Временная ошибка – время обработки превысило  $t = \Delta t \cdot N$ , с.
2. Переполнение разрядности кодека – данные, полученные в результате обработки, вышли за пределы 24-х разрядной сетки.

В типовом проекте при возникновении ошибок загорается соответствующий светодиод на оценочной плате. Также реализована обработка прерываний от кнопок, расположенных на плате. С помощью кнопок выполняются следующие действия:

1. Регулировка уровня сигнала (кнопки 1 и 2).
2. Запись анализируемых данных (отладочной информации) в SRAM-память оценочной платы (кнопка 3).
3. Передача записанных анализируемых данных в ПК по интерфейсу USB (повторное нажатие кнопки 3).
4. Установка режима обработки данных (кнопка 4). При нажатии на кнопку устанавливается режим с номером  $m = w \bmod Q$ , где  $w$  – число нажатий кнопки,  $Q$  – заданное число режимов работы.

Технология создания программы для ЦСП в среде VisualDSP++ на базе типового проекта состоит в следующем:

1. Выбрать частоту дискретизации.
2. Установить значения констант  $N$  и  $K$ .
3. Описать данные, которые требуется передавать в ПК для анализа в среде LabVIEW.
4. Реализовать тело функции, в которой осуществляется ЦОС. Для реализации функции может использоваться язык Си или ассемблер целевого процессора.
5. Выполнить компиляцию программы в среде VisualDSP++ и запустить ее на оценочной плате.

Использование типового проекта избавляет программиста от необходимости вникать в особенности программирования аппаратуры. Это позволяет существенно сократить затраты на создание программы для целевого ЦСП.

Пункт 3 может быть опущен. В этом случае отладка программы для ЦСП должна будет проводиться средствами VisualDSP++. Следует отметить, что VisualDSP++ имеет очень хорошие средства отладки программ. Эти средства позволяют выполнять программу в пошаговом и непрерывном режимах. При выполнении программы в непрерывном режиме можно остановить программу, также можно задать точки останова. Когда программа остановлена, можно просмотреть значения данных в регистрах и памяти ЦСП и др. Данные могут быть представлены в виде графиков.

Однако существующих в VisualDSP++ отладочных средств может оказаться недостаточно. Такая ситуация может возникнуть в том случае, когда для отладки алгоритма ЦОС требуется анализировать данные на нескольких тактах работы. Памяти ЦСП обычно хватает только для сохранения данных, требующихся для выполнения текущего такта. Поэтому для сохранения отладочной информации необходимо использовать Flash- или SRAM-память, расположенную на оценочной плате. Обычно такая информация имеет значительный объем и ее анализ средствами VisualDSP++ затруднен. Трудности обусловлены необходимостью разграничения отдельных единиц информации, сложностью графического отображения информации в требуемом виде и др.

Для преодоления этих проблем в программном обеспечении установки предусмотрены средства описания отладочной информации записываемой в память оценочной платы, а также средства передачи записанной информации в ПК и ее считывания в среде LabVIEW для анализа.

Описание отладочной информации осуществляется следующим образом: данные, необходимые для отладки, объявляются глобальными, создаются функции `writel` и `write2`, записывающие анализируемые данные в память оценочной платы. Функция `writel` записывает данные, которые не меняются в зависимости от такта работы. Данная функция вызывается один раз после нажатия кнопки 3 на оценочной плате. Функция `write2` записывает данные, которые меняются в процессе работы. Данная функция вызывается на каждом такте после нажатия кнопки 3. Запись данных в память оценочной платы производится до тех пор, пока не будет заполнен заданный объем памяти или пока вся память не будет заполнена. Окончание записи индицируется путем зажигания соответствующего светодиода. При повторном нажатии кнопки 3 записанная информация передается в ПК. Процесс передачи данных отображается на экране ПК в виде процента переданных данных. Программный код функций `writel` и `write2` представляют собой последовательность вызовов функции `write_block`, которая входит в состав типового проекта. Заголовок следующий: `write_block (<указатель на записываемые данные>, <размер данных>)`.

Данные, переданные в ПК, записываются в файл специального формата. Данный файл может быть загружен в LabVIEW. Для этого разработана библиотека функциональных блоков LabVIEW. Анализ записанных данных осуществляется средствами LabVIEW.

Такой подход позволяет создать отладочную среду, учитывающую особенности конкретного алгоритма ЦОС, и тем самым ускорить процесс отладки и исследования алгоритма.

## ВЫВОДЫ

Рассмотренная установка позволяет избавиться от программирования на низком уровне и предоставляет хорошие средства отладки программ для ЦСП ADSP-21262 SHARC. Это позволяет снизить временные и материальные затраты на исследование алгоритмов ЦОС и их реализацию на конкретной аппаратной платформе. Также установка может использоваться для обучения программированию ЦСП.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Analog Devices [Электронный ресурс]: официальный сайт компании Analog Devices. - Режим доступа: <http://www.analog.com/>, свободный.
2. National Instruments [Электронный ресурс]: официальный сайт компании National Instruments. - Режим доступа: <http://www.ni.com/>, свободный.

### Муромцев Виктор Владимирович

Белгородский государственный университет

Кандидат технических наук, доцент кафедры прикладной информатики

308015, г.Белгород, ул. Победы, 85

Тел.: (4722) 30-13-61

E-mail: [muromtsev@bsu.edu.ru](mailto:muromtsev@bsu.edu.ru)

УДК 336.153

Т.Н. СОЗОНОВА, Н.С. ТИТОВА

## ОБРАБОТКА ИЗОБРАЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ ВАРИАЦИОННЫХ АЛГОРИТМОВ ИНТЕРПОЛЯЦИИ И ОЦЕНКИ ПЕРВОЙ ПРОИЗВОДНОЙ

*В настоящее время в различных областях науки и техники широкое развитие получили системы, ориентированные на получение, обработку и хранение информации, представленной в виде изображений. В данной работе рассмотрены некоторые аспекты обработки изображений, в частности, передискретизация и увеличение четкости, на основе вариационных алгоритмов интерполяции и оценивание первой производной на основе частотных представлений.*

**Ключевые слова:** интерполяция; оценка производной; частотное представление; передискретизация; четкость изображения.

*Nowadays in different areas of the science and technology broad development have got the systems, oriented on reception, processing and keeping the information, presented as the images. In the article some aspects of the image processing are considered, in particular, resampling and the sharpness increase, on the variational algorithms of interpolation and estimation of the first derived on the frequency presentations base.*

**Keywords:** interpolation; derivative estimation; frequency representation; redigitization; image sharpness.

Многие отрасли науки и техники, имеющие отношение к получению, обработке, хранению и передаче информации, в значительной степени ориентируются в настоящее время на развитие систем, в которых информация имеет характер изображений. Изображение, которое рассматривается как двухмерный сигнал, является значительно более емким носителем информации, чем обычный одномерный (временной) сигнал. Вместе с тем, при решении многих научных и инженерных задач при работе с визуальными данными требуется в качестве промежуточного этапа проводить пересчет цифровых изображений на другую растровую сетку. В качестве примера таких задач можно привести коррекцию погрешностей аппаратуры, перевод аэрокосмических изображений в географические проекции, приведение нескольких изображений к единому размеру, устранение перспективных искажений.

Одной из задач обработки изображений является передискретизация. К задаче передискретизации предъявляются высокие требования по точности, т.к. каждое преобразование ведет к накоплению ошибки. Таким образом, наилучшим является алгоритм, который производит набор необходимых преобразований за один этап и использует наиболее точный для данной задачи метод аппроксимации. В настоящее время во многих редакторах обработки изображений используются в основном билинейная и бикубическая интерполяция. Отметим, что интерполяция изображения может привести к сильному размытию последнего.

Еще одной из задач обработки изображений является увеличение четкости. Недостаточная четкость изображения может иметь множество объяснений: недостаточное разрешение используемой фототехники, увеличение или уменьшение размера изображения и др.

Таким образом, возникает необходимость при помощи обработки придать изображению такие качества, благодаря которым его восприятие человеком было бы по возможности комфортным. Часто бывает полезным подчеркнуть, усилить какие-то черты, особенности, нюансы наблюдаемой картины с целью улучшения ее субъективного восприятия.

Последнее – субъективность восприятия – сильно усложняет применение формализованного подхода в достижении данных целей. Поэтому при обработке изображений для визуализации получили распространение методы, в которых часто отсутствуют строгие математические критерии оптимальности. Их заменяют качественные представления о целесообразности той или иной обработки, опирающиеся на субъективные оценки результатов.

В данной работе предлагается использование новых вариационных алгоритмов интерполяции (для увеличения размера изображения) и оценивания производных (для увеличения четкости изображения), основанных на использовании класса целых аппроксимирующих функций ограниченной степени роста. К ним, в частности, относятся функции с финитной областью определения трансформант Фурье, то есть с финитными спектрами.

Учитывая, что изображение можно рассматривать как двухмерный сигнал, интерполяция изображения может производиться в два этапа: вдоль оси  $Ox$  и вдоль оси  $Oy$ .



Рисунок 1 – Исходное изображение

Рассмотрим математические основы предлагаемых алгоритмов интерполяции и оценивания производных по одному направлению (вдоль оси  $Ox$ ).

Пусть в эквидистантных точках  $t_i = i\Delta t$ ,  $i = 0, \dots, N$  дан вектор значений сигнала:

$$\begin{aligned} \vec{u} &= (u_0, \dots, u_N)^T, \\ u_i &= u(i\Delta t), \quad i = 0, \dots, N, \end{aligned} \quad (1)$$

где символ  $T$  означает транспонирование.

Представляется целесообразным областью определения аппроксимирующей функции считать всю числовую ось, т.е.:

$$-\infty \leq t \leq \infty. \quad (2)$$

При этом потребуем, чтобы в любой точке области определения существовали и были непрерывными производные любого порядка, причем выполнялись неравенства:

$$\int_{-\infty}^{\infty} |\hat{u}^{(k)}(t)|^2 dt < \infty, k = 0, 1, \dots \quad (3)$$

В основе дальнейших построений используется представление:

$$\hat{u}(t) = u_0 + \int_0^t f(\tau) d\tau, \quad (4)$$

которое позволяет по производной вычислить интерполирующую функцию. Очевидно, что при этом должны выполняться интерполяционные равенства:

$$\hat{u}_i = \hat{u}(i\Delta t) = u_i, i = 0, 1, \dots, N. \quad (5)$$

Для оценки производной будем использовать класс моделей целых функций, которые представимы в виде:

$$f(\tau) = \frac{1}{2\pi} \int_{\omega \in \Omega} F(\omega) e^{j\omega\tau} d\omega, \quad (6)$$

где:

$$\Omega = [-\Omega_2, -\Omega_1) \cup [\Omega_1, \Omega_2); \Omega_1 < \infty; \Omega_2 < \infty,$$

$F(\omega)$  – трансформанта Фурье, связанная с модельной функцией дуальным соотношением:

$$F\omega = \int_{-\infty}^{+\infty} f(\tau) e^{-j\omega\tau} d\tau. \quad (7)$$

Выбор области определения  $\Omega$  трансформанты Фурье может быть продиктован априорными сведениями о свойствах сигнала.

Подстановка представления (7) в правую часть (6) позволяет получить соотношение для вычисления интерполирующей функции на основе трансформанты Фурье производной:

$$\hat{u}(t) = u_0 + \frac{1}{2\pi} \int_{\omega \in \Omega} F(\omega) \frac{\sin(\frac{\omega t}{2})}{\omega/2} e^{\frac{j\omega t}{2}} d\omega, \quad (8)$$

так что условиям интерполяции (5) нетрудно придать вид:

$$\frac{1}{2\pi} \int_{\omega \in \Omega} F(\omega) \frac{\sin\left(\frac{\omega\Delta t i}{2}\right)}{\omega\Delta t/2} e^{\frac{j\omega\Delta t i}{2}} d\omega = \nu_i/\Delta t, \quad (9)$$

где:

$$\nu_1 = (u_1 - u_0), i = 1, \dots, N. \quad (10)$$

Для отбора интерполирующей функции из класса целых предлагается использовать вариационный принцип минимизации евклидовой нормы производной. На основе представления (7) и равенства Планшереля (Парсевалея) этому принципу нетрудно придать вид:

$$\int_{-\infty}^{+\infty} f^2(\tau) d\tau = \frac{1}{2\pi} \int_{\omega \in \Omega} |F(\omega)|^2 d\omega = \min. \quad (11)$$

Таким образом, задача сводится к поиску решения вариационной изопериметрической задачи, определяемой условием (11) и ограничениями вида (9). В работе показано, что искомое решение представимо в виде:

$$F(\omega) \equiv \sum_{i=1}^N \beta_i \frac{\sin(\frac{\omega \Delta t i}{2})}{\omega \Delta t / 2} e^{-\frac{j\omega \Delta t}{2} i}, \quad (12)$$

когда  $\omega \in \Omega$  и  $F(\omega) = 0$  в противном случае.

Для вычисления вектора множителей Лагранжа  $\vec{\beta} = (\beta_1, \dots, \beta_N)^T$  следует воспользоваться подстановкой представления (12) в левые части равенств (9). В результате нетрудно получить систему линейных алгебраических уравнений (СЛАУ), которым должен удовлетворять набор коэффициентов:

$$A\vec{\beta} = \vec{\nu} = (\nu_1, \dots, \nu_N)^T, \quad (13)$$

где:

$$A = \{a_{ki}\}; a_{ik} = \frac{1}{\pi} \int_{\bar{\Omega}_1}^{\bar{\Omega}_2} \frac{\sin(\frac{xk}{2})\sin(\frac{xi}{2})}{(\frac{x}{2})^2} \cos\left[\frac{x}{2}(k-i)\right] dx; \bar{\Omega}_r = \Delta t \Omega_r, r = 1, 2. \quad (14)$$

В строгом смысле симметричная матрица с элементами вида (14) является положительно определенной. Отметим, что, если интервал интегрирования в (14) удовлетворяет условию:

$$\bar{\Omega}_2 - \bar{\Omega}_1 = N\Delta t(\Omega_2 - \Omega_1) \geq 2\pi, \quad (15)$$

то определитель матрицы  $A$  будет заметно больше нуля, следовательно, решение СЛАУ вида (13) будет устойчивым. Отметим, что неравенство вида (15) всегда можно выполнить за счёт соответствующего определения размеров области определения трансформанты Фурье моделирующей (аппроксимирующей производную) целой функции. Иными словами, в указанном смысле решение сформулированных задач оценивания производной и интерполяции на основе соотношения (8) всегда существует.

Если же интервал интегрирования удовлетворяет условию:

$$N(\bar{\Omega}_2 - \bar{\Omega}_1) < \pi, \quad (16)$$

то значения элементов матрицы  $A$  будут близки к нулю, следовательно, решение СЛАУ вида (13) будет неустойчивым. В этом случае при вычислении вектора  $\vec{\beta}$  предлагается использовать вычисляемые ненулевые собственные числа и соответствующие им собственные векторы псевдообратную матрицу  $A^+$ :

$$A^+ = Q_1 L_1^{-1} Q_1^T, \quad (17)$$

где:

$$L_1 = \text{diag}(\lambda_1, \dots, \lambda_J), \lambda_1 > \lambda_2 > \dots > \lambda_J > 0, Q_1 = (\vec{q}_1, \dots, \vec{q}_J).$$

На основе соотношений (12) и (14) нетрудно получить вычислительные формулы для интерполирующей функции (18) и оценки производной (19):

$$\hat{u}(\tau) = u_0 + \frac{\tau}{\pi} \sum_{i=1}^N \beta_i \int_{\bar{\Omega}_1}^{\bar{\Omega}_2} \frac{\sin(\frac{\omega \tau}{2})\sin(\frac{\omega \Delta t i}{2})}{(\omega \tau / 2)(\omega \Delta t / 2)} \cos\left[\frac{\omega}{2}(\tau - i\Delta t)\right] d\omega; \quad (18)$$

$$f(\tau) = \frac{1}{\pi} \sum_{i=1}^N \beta_i \int_{\Omega_1}^{\Omega_2} \frac{\sin(\frac{\omega \Delta t}{2} i)}{\omega \Delta t / 2} \cos [\omega(\tau - i \Delta t / 2)] d\omega. \quad (19)$$

Отметим еще одну возможность организации вычислений. Если заранее известен набор  $\tau_k, k = 1, \dots, L$  интервала  $[0, N \Delta t]$ , в которых предполагается в дальнейшем вычисление интерполирующих функций, тогда, используя (18) и (19) с учетом СЛАУ (13), можно получить следующие вычислительные формулы:

для интерполирующей функции:

$$\hat{u} = (\hat{u}(\tau_1), \dots, \hat{u}(\tau_L))^T = u_0 \vec{e}_L + CA^+ \vec{v}, \quad (20)$$

где:  $\vec{e}_L = (1, \dots, 1)^T$ ;

$$C = \{C_{ki}\};$$

$$c_{ki} = \frac{\tau_k}{\pi} \int_{\Omega_1}^{\Omega_2} \frac{\sin(\frac{\omega \tau_k}{2}) \sin(\frac{\omega \Delta t}{2} i)}{(\omega \tau_k / 2)(\omega \Delta t / 2)} \cos \left[ \frac{\omega}{2} (\tau_k - i \Delta t) \right] d\omega; \quad (21)$$

для оценки производной:

$$\vec{f} = (f(\tau_1), \dots, f(\tau_L))^T = BA^+ \vec{v}, \quad (22)$$

где:  $B = \{b_{ki}\}; k = 1, \dots, L; i = 1, \dots, N$ ;

$$b_{ki} = \frac{1}{\pi} \int_{\Omega_1}^{\Omega_2} \frac{\sin(\frac{\omega \Delta t}{2} i)}{\omega \Delta t / 2} \cos [\omega(\tau_k - i \Delta t / 2)] d\omega. \quad (23)$$

Удобство применения этих формул заключается в том, что матрицы А, В и С могут быть вычислены заранее, храниться в памяти ПК и многократно использоваться.

Рассмотрим применение предложенных алгоритмов интерполяции и оценки производной для обработки изображений. Пусть в качестве исходных данных имеем изображение размером  $N(y = N, x = M)$  пикселей.

### УВЕЛИЧЕНИЕ ИЗОБРАЖЕНИЙ В k РАЗ

Для увеличения изображения будем использовать предложенный вариационный алгоритм интерполяции.

Вычисление матриц  $A_x = \{a_{ij}\}, i = (1 : N - 1), j = (1 : N - 1)$  с элементами вида (14) и  $C_x = \{c_{ij}\}, i = (1 : (M - 1)K), j = (1 : M - 1)$  с элементами вида (21) осуществляем на первом этапе.

Затем осуществляем интерполяцию исходного изображения предложенным вариационным методом вдоль оси ОХ по выражению:

$$\hat{f}_x = C_x A_x^+,$$

где  $\hat{f}_x$  – изображение, интерполированное вдоль оси ОХ,

$f$  – исходное изображение.

В результате получаем изображение, интерполированное вдоль оси  $Ox$ , приведенное на рисунке 2.



Рисунок 2 – Интерполяция изображения вдоль оси  $Ox$

На втором этапе эксперимента осуществляем интерполяцию изображения, приведенного на рисунке 2 вдоль оси  $Oy$ , для чего предварительно производим вычисление матриц  $A_y = \{a_{ij}\}, i = (1 : M - 1), j = (1 : M - 1)$  с элементами вида (14) и  $C_y = \{c_{ij}\}, i = (1 : (M - 1)K), j = (1 : M - 1)$  с элементами вида (21). Интерполяцию осуществляем по выражению:

$$\hat{f} = C_y A_y^+ \hat{f}_x,$$

где  $\hat{f}$  – интерполированное изображение.

В результате получим изображение размером  $5N \times 5M$  пикселей. Результаты эксперимента представлены на рисунке 3.



Рисунок 3 – Интерполированное изображение

## ГРАДИЕНТНАЯ ОБРАБОТКА НА ОСНОВЕ ВАРИАЦИОННОГО АЛГОРИТМА ЧИСЛЕННОГО ДИФФЕРЕНЦИРОВАНИЯ

Для проведения экспериментов исходное изображение подвергалось размытию, т.е. на изображение достаточной четкости накладывался шум с нормальным распределением, в итоге получалось не четкое изображение, а размытое.

Для обработки градиентным методом подвергалось размытое изображение.

На первом этапе эксперимента производилось вычисление матриц  $B_x = \{b_{ki}\}; k = 1, \dots, N; i = 1, \dots, N$  и  $B_y = \{b_{ki}\}; k = 1, \dots, M; i = 1, \dots, M$  с элементами вида (23), и осуществлялось вычисление второй смешанной производной по выражению:

$$\frac{\partial^2 f}{\partial x \partial y} = B_x A^{-1} \cdot f \cdot B_y A^{-1},$$

где  $A_y = \{a_{ij}\}$  – матрица с элементами вида (14);

$f$  – размытое изображение.

Затем к размытому изображению добавлялось значение второй смешанной производной, то есть:

$$\hat{f} = f + \frac{\partial^2 f}{\partial x \partial y},$$

что позволило получить более четкое, в смысле субъективного восприятия, изображение.

Результаты эксперимента приведены на рисунках 4–6.

После обработки изображения наблюдается увеличение четкости границ перехода от светлого тона к более темному.

По результатам эксперимента видно, что предлагаемый алгоритм увеличения четкости изображений позволяет повысить детальность наблюдаемой картины, дает возможность наблюдения мелких деталей на всех участках изображения. А также позволяет получить более четкие границы отдельных объектов, то есть производить оконтуривание, что может быть полезно в геологии, при обработке аэроснимков земной поверхности и т.д.

Очевидным достоинством предлагаемого алгоритма увеличения четкости изображений является его предельная простота. Следует отметить быстрдействие предлагаемого алгоритма, которое достигается за счет предварительного вычисления используемых матриц и хранения их в памяти компьютера. Вместе с тем, предлагаемый алгоритм обработки изображений приводит к очевидному субъективному улучшению визуального качества.



**Рисунок 4 – исходное изображение**



**Рисунок 5 – Размытое изображение**



*Рисунок 6 – Изображение после градиентной обработки*

### ЛИТЕРАТУРА

1. Ланцош К. Практические методы прикладного анализа: справ. рук. / пер. с англ. М. З. Кайнера. – М. : Физматгиз, 1961. – 524 с.
2. Хургин Я. И., Яковлев В. П. Фinitные функции в физике и технике. – М. : Наука, 1971. – 408 с. : ил.
3. Жиляков Е.Г., Созонова Т.Н., Мисливец И.Ю. Вариационный метод оценивания производных и интерполяции сигналов по эмпирическим данным // Вестник Воронежского государственного университета, Серия: Системный анализ и информационные технологии. – Воронеж, 2006. – выпуск 2. – С.70-73.

#### **Созонова Татьяна Николаевна**

Белгородский государственный университет  
Россия, 308015 г. Белгород ул. Победы, 85  
Ассистент кафедры информационно-телекоммуникационных систем и технологий  
Тел.: (4722)30-13-54  
E-mail: sozonova@bsu.edu.ru

#### **Титова Нина Сергеевна**

Белгородский государственный университет  
Россия, 308015 г. Белгород ул. Победы, 85  
Ассистент кафедры математического  
и программного обеспечения информационных систем  
E-mail: NTitova@bsu.edu.ru

УДК 621.391

И.И. ЧИЖОВ

## О НОВОМ МЕТОДЕ СЖАТИЯ РЕЧЕВЫХ ДАННЫХ НА ОСНОВЕ ПРОРЕЖИВАНИЯ

*В статье предложен новый метод уменьшения битовых представлений речевых данных на основе прореживания. Данный метод может быть применен в любых приложениях, связанных с компрессией речевого сигнала, например, в IP-телефонии. В основе метода лежат оригинальные математические методы цифровой обработки сигналов, что делает его принципиально не схожим с существующими на сегодняшний день методами сжатия речевых данных с потерями.*

**Ключевые слова:** речевой сигнал; сжатие данных; прореживание; интерполяция; среднеквадратическое отклонение.

*In the article the new method of speech compression is given. This method can be used in such applications as IP-telephony and so on. This method is based on the own mathematical methods this is why it is completely different from the other methods of speech compression.*

**Keywords:** speech signal; data compression; decimation; interpolation; the relative error.

В настоящее время во всем мире получили широкое распространение технологии сжатия речевых сигналов с потерями. Подобные технологии применяются в системах IP-телефонии, конференц-связи, голосовой почты, мобильной связи и т.д. Общий алгоритм работы подобных технологий сводится к следующему: оцифрованный с помощью АЦП (аналого-цифрового преобразователя) речевой сигнал сжимается при помощи одного из методов компрессии. Стоит отметить, что в кодеке G.711 сжатия голоса не происходит, но полоса пропускания при этом не может быть менее 64 Кбит/с. Для сравнения, наиболее популярный алгоритм кодирования – G.723.1 – занимает полосу 5,3/6,3 Кбит/с.

Кроме G.711 и G.723.1, стандартизованы звуковые кодеки (кодеры-декодеры) G.722, G.723, MPEG1, G.728 и G.729, из которых кодек G.729 подходит для использования в Интернете, т.к. его битрейт равен 8 Кбит/с. Напомним, что битрейтом принято называть количество бит необходимых для кодирования секунды мультимедиа потока.

В условиях публичной сети интернет почти все используемые в настоящее время кодеки оказались весьма восприимчивы как к задержкам, так и к потерям пакетов. Так, по оценкам MOS (Mean Opinion Score — усредненное мнение экспертов) при задержках более 150-200 мс начинается заметное ухудшение качества связи, а при «массовых потерях» IP-пакетов, когда теряется существенная часть предыстории временного ряда (оцифрованных голосовых отсчетов), в канале можно услышать характерное искажение сигнала – «бульканье». В таких случаях, как правило, применяют кодек G.711 и дополнительно используют так называемый алгоритм

сокрытия потерь (PLC, Packet Loss Concealment). Но и в этом случае многие эксперты оказываются не удовлетворены результатами работы алгоритма сжатия.

Общая характеристика современных методов сжатия речевого сигнала с потерями (кодеков) приведена в таблице 1.

Таблица 1 – Современные кодеки

<b>Кодек</b>	<b>Качество</b>	<b>Битрейт, Кбит/с</b>	<b>Устойчивость к потерям пакетов</b>	<b>Задержка, вносимая кодеком, мс</b>
G.117	высокое	64	низкая	0.125
G.729	среднее	8	очень низкая	15
G.723.1	среднее	6.3/5.3	очень низкая	37.5
GSM-FR/EFR	среднее	13/12.2	очень низкая	20

Несложно заключить, что для приближения восстановленного речевого сигнала к оригиналу существующим методам сжатия речевого сигнала с потерями необходимо увеличивать битрейт, что создает дополнительную нагрузку на каналы передачи данных и, как следствие, приводит к увеличению потери пакетов. Таким образом, необходимо снизить объем битовых представлений речевых сигналов без существенной потери субъективного качества, что позволит производить резервирование передаваемого сигнала в режиме реального времени без дополнительной нагрузки на канал связи, т.к. степень сжатия каждого их потоков выше, и существенно снизит риск потери пакетов при передаче по сети Интернет.

Данные предложения позволяют говорить о необходимости разработки нового метода сжатия речевых данных с потерями.

Целью предлагаемого метода является уменьшение битовых представлений речевого сигнала за счет удаления неинформативной, в психоакустическом смысле (удаление которых не отражается на субъективном качестве сигнала), составляющей сигнала (шумов, пауз и т.д.) со степенью сжатия в 1,5-2 раза, превышающей аналогичный параметр у кодеков G723.1 (которые обладают наименьшим битрейтом из стандартизованных в настоящее время). Для достижения данной цели на этапе кодирования решаются две последовательные задачи:

- прореживание исходного речевого сигнала с оставлением значимых в психоакустическом смысле составляющих;
- снижение энтропии полученных последовательности путем блочной комбинации по принципу подобия выбранных в ходе решения первой задачи значений и их статистическое сжатие арифметическим методом.

Рассмотрим предлагаемый метод уменьшения битовых представлений речевого сигнала более подробно.

На первом этапе кодирования речевого сигнала осуществляется оценка первой производной по вариационному методу.

Данный метод численного дифференцирования был выбран из соображения повышения устойчивости получаемых оценок производных, т.к. существенным недостатком существующих подходов к численному дифференцированию сигнала по его дискретным значениям является неустойчивость получаемых оценок производных.

Путем использования вариационного принципа минимизации квадрата евклидовой нормы можно повысить устойчивость оценок производных  $\|f\|^2 = \int_{-\infty}^{\infty} f^2(x)dx$ , оценки первой производной аппроксимирующей функции  $f(t) = d\hat{u}(t)/dt$  при выполнении интерполяционных условий:

$$\hat{u}_i = \hat{u}(i\Delta t) = u_i, i = 0, 1, \dots, N, \quad (1)$$

где  $\Delta t$  – интервал дискретизации.

С позиций повышения устойчивости оценок производных предлагается использовать класс аппроксимирующих функций с финитными областями определения трансформант Фурье (с финитными спектрами Фурье), что вместе с тем позволяет получать устойчивые оценки производных высших порядков как результат дифференцирования частотного представления для первой производной:

$$f(t) = \int_{\omega \in \Omega} F(\omega) \exp(j\omega t) d\omega / 2\pi, \Omega = [-\Omega_2, -\Omega_1) \cup [\Omega_1, \Omega_2); 0 \leq \Omega_1 < \Omega_2 < \infty,$$

где предполагается, что соотношение для трансформанты Фурье первой производной  $F(\omega)$  получается в результате минимизации её нормы с учётом интерполяционных условий (1). Ясно, что правая часть последнего соотношения является дифференцируемой произвольное количество раз.

Рассмотрим более подробно математические основы метода.

Пусть в результате измерений в эквидистантных точках  $t_1 = i\Delta t, i = 0, \dots, N$  интервала:

$$t \in [0, N\Delta t], \quad (2)$$

области определения некоторого сигнала  $u(t)$  получен набор дискретных значений сигнала:

$$\vec{u} = (u_0, \dots, u_N)^T, u_i = u(i\Delta t), i = 0, \dots, N, \quad (3)$$

где символ  $T$  означает транспонирование.

Из соображений адекватности представляется целесообразным областью определения аппроксимирующей функции считать всю числовую ось, т.е.:

$$-\infty \leq t \leq \infty. \quad (4)$$

При этом на основе физических соображений можно утверждать, что речевые сигналы являются непрерывными со всеми своими производными. Таким образом, для достижения адекватности необходимо, чтобы в любой точке области определения существовали и были непрерывными производные любого порядка, причем выполнялись неравенства:

$$\int_{-\infty}^{\infty} |\hat{u}^{(k)}(t)|^2 dt < \infty, k = 0, 1, \dots \quad (5)$$

В основе дальнейших построений используется представление:

$$\hat{u}(t) = u_0 + \int_0^t f(\tau) d\tau, \quad (6)$$

которое позволяет по оценке производной вычислить интерполирующую функцию. Очевидно, что при этом должны выполняться интерполяционные равенства вида (3).

Для повышения устойчивости вычислений оценок производных речевого сигнала по регистрируемым дискретным значениям предлагается использовать аппроксимирующие функции с финитными спектрами Фурье, которые представимы в виде:

$$f(\tau) = \frac{1}{2\pi} \int_{\omega \in \Omega} F(\omega) e^{j\omega\tau} d\omega, \quad (7)$$

где  $\Omega$  – интервал оси частот:

$$\Omega = [-\Omega_2, -\Omega_1) \cup [\Omega_1, \Omega_2); \Omega_1 < \infty; \quad \Omega_2 < \infty,$$

$F(\omega)$  – трансформанта Фурье, связанная с модельной функцией дуальным соотношением:

$$F(\omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(\tau) e^{-j\omega\tau} d\tau. \quad (8)$$

Выбор области определения  $\Omega$  трансформанты Фурье определяется, исходя из статистических свойств речевого сигнала.

Подстановка представления (7) в правую часть (6) позволяет получить соотношение для интерполирующей функции на основе трансформанты Фурье производной:

$$\hat{u}(t) = u_0 + \frac{1}{2\pi} \int_{\omega \in \Omega} F(\omega) \frac{\sin(\frac{\omega t}{2})}{\omega/2} e^{\frac{j\omega t}{2}} d\omega, \quad (9)$$

так что условиям интерполяции (1) нетрудно придать вид:

$$\frac{1}{2\pi} \int_{\omega \in \Omega} F(\omega) \frac{\sin\left(\frac{\omega \Delta t i}{2}\right)}{\omega \Delta t / 2} e^{\frac{j\omega \Delta t}{2} i} d\omega = \nu_1 / \Delta t', \quad (10)$$

где:

$$\nu_1 = (u_i - u_0), i = 1, \dots, N. \quad (11)$$

Для отбора конкретной аппроксимации из класса (7) предлагается использовать вариационный принцип минимизации евклидовой нормы оценки производной, что также повышает устойчивость вычислений. На основе представления (7) и равенства Планшереля этому принципу нетрудно придать вид:

$$\int_{-\infty}^{\infty} f^2(\tau) d\tau = \frac{1}{2\pi} \int_{\omega \in \Omega} |F(\omega)|^2 d\omega = \min. \quad (12)$$

Таким образом, задача сводится к поиску решения вариационной изопериметрической задачи, определяемой условием (12) и ограничениями вида (10). В работе показано, что искомое решение представимо в виде:

$$F(\omega) \equiv \sum_{i=1}^N \beta_i \frac{\sin(\frac{\omega \Delta t i}{2})}{\omega \Delta t / 2} e^{-\frac{j\omega \Delta t}{2} i}, \quad (13)$$

когда  $\omega \in \Omega$  и  $F(\omega) = 0$  в противном случае.

Подстановкой представления (13) в левые части равенств (10) следует воспользоваться для вычисления вектора множителей Лагранжа  $\vec{\beta} = (\beta_1, \dots, \beta_N)^T$ . В результате нетрудно получить систему линейных алгебраических уравнений (СЛАУ), которым должен удовлетворять набор коэффициентов в (13):

$$A\vec{\beta} = \vec{\nu} = (\nu_1, \dots, \nu_N)^T, \quad (14)$$

где:

$$A = \{a_{ki}\}; a_{ik} = \frac{1}{\pi} \int_{\bar{\Omega}_1}^{\bar{\Omega}_2} \frac{\sin(\frac{xk}{2}) \sin \frac{xi}{2}}{(\frac{x}{2})^2} \cos \left[ \frac{x}{2}(k-i) \right] dx; \bar{\Omega}_r = \Delta t \Omega_r, r = 1, 2. \quad (15)$$

В строгом смысле симметричная матрица с элементами вида (15) является положительно определенной. Отметим, что если интервал интегрирования в (15) удовлетворяет условию:

$$\bar{\Omega}_2 - \bar{\Omega}_1 = N\Delta t(\Omega_2 - \Omega_1) \geq 2\pi, \quad (16)$$

то определитель матрицы  $A$  будет заметно больше нуля, следовательно, решение СЛАУ вида (14) будет устойчивым. Если же в целях повышения гладкости решения интервал интегрирования удовлетворяет условию:

$$N(\bar{\Omega}_2 - \bar{\Omega}_1) < \pi, \quad (17)$$

то определитель матрицы  $A$  будет близок к нулю, следовательно, решение СЛАУ вида (14) будет неустойчивым. В этом случае при вычислении вектора  $\vec{\beta}$  предлагается использовать псевдообратную матрицу  $A^+$ .

$$A^+ = Q_1 L_1^{-1} Q_1^T,$$

$$L_1 = \text{diag}(\lambda_1, \dots, \lambda_J), \lambda_1 > \lambda_2 > \dots > \lambda_J > 0, Q_1 = (\vec{q}_1, \dots, \vec{q}_J). \quad (18)$$

Отметим, что с позиций рассматриваемой проблемы неравенство (16) позволяет управлять параметрами интерполяционного процесса, чем обеспечивается его сходимость при любом шаге дискретизации  $\Delta t$ . На основе соотношений (13) и (15) нетрудно получить вычислительную формулу для оценивания производной сигнала по его дискретным значениям:

$$f(\tau) = \frac{1}{\pi} \sum_{i=1}^N \beta_i \int_{\Omega_1}^{\Omega_2} \frac{\sin(\frac{\omega \Delta t}{2} i)}{\omega \Delta t / 2} \cos [\omega(\tau - i\Delta t / 2)] d\omega. \quad (19)$$

Вследствие того, что речевой сигнал представляет собой эквидистантный набор дискретных значений и, как правило, анализируется оконным способом, то с учетом СЛАУ (14) можно получить следующую вычислительную формулу:

$$\vec{f} = (f(\tau), \dots, f(\tau_L))^T = BA^+\vec{\nu}, \quad (20)$$

где:

$$B = \{b_{ki}\}; k = 1, \dots, L; i = 1, \dots, N;$$

$$b_{ki} = \frac{1}{\pi} \int_{\Omega_1}^{\Omega_2} \frac{\sin \frac{\omega \Delta t}{2} i}{\omega \Delta t / 2} \cos [\omega(\tau_k - i\Delta t / 2)] d\omega. \quad (21)$$

Удобство применения этих формул заключается в том, что матрицы В и А могут быть вычислены заранее и многократно использоваться при обработке каждого окна анализа, что значительно ускоряет процесс вычислений.

Применение данного вариационного метода численного дифференцирования позволяет получить более точные оценки производной речевого сигнала, что способствует точному выбору экстремальных значений сигнала.

На следующем этапе обработки речевого сигнала производится сравнение нормы соседних экстремумов с пороговым значением, выбранным, исходя из статистических свойств конкретного речевого сигнала с отбрасыванием значений, не превосходящих установленное пороговое значение, что позволяет отделить неинформативный сигнал от паузы:

$$||Y(i + 1) - Y(i)|| > \text{porog} , \quad (22)$$

где  $Y(i)$  – экстремумы сигнала;

$\text{porog}$  – пороговое значение.

Далее осуществляется удаление из полученной последовательности неинформативной, в психоакустическом смысле, составляющей (шумы, погрешности регистрации и т.д.), для чего осуществляется оценка производной второго порядка полученной последовательности по вариационному методу, основанному на дифференцировании выражения для первой производной с последующей выборкой экстремальных значений второй производной.

Продифференцировав выражение (7), получим:

$$\varphi(\tau) = \frac{df}{d\tau} = \frac{j}{2\pi} \int_{\omega \in \Omega} F(\omega) \omega e^{j\omega\tau} d\omega , \quad (23)$$

где  $F(\omega)$  – трансформанта Фурье.

Используя вариационный принцип минимизации евклидовой нормы производной (12) и условия интерполяции (1), получаем вычислительные формулы для оценки второй производной. Искомое выражение будет иметь вид:

$$\varphi(\tau) = df(\tau)/d\tau = \frac{1}{\pi} \sum_{i=1}^N \beta_1 \int_{\Omega_1}^{\Omega_2} \frac{\sin(\frac{\omega\Delta t}{2}i)}{\omega\Delta t/2} \omega \sin[\omega(i\Delta t/2 - \tau)] d\omega . \quad (24)$$

Так как оценка второй производной осуществляется в фиксированных эквидистантных значениях, нетрудно получить вычислительные соотношения:

$$\vec{\varphi} = (BB1)A^+\vec{v} ,$$

где:

$$BB1 = \{(bb1)_{ki}\} ;$$

$$(bb1)_{ki} = \int_{\bar{\Omega}_1}^{\bar{\Omega}_2} \frac{\sin(\frac{\omega k \Delta t}{2})}{(\frac{\omega \Delta t}{2})} \omega \sin\left(\omega \Delta t \left(\frac{k}{2} - \frac{i}{M}\right)\right) d\omega . \quad (25)$$

Таким образом, предложенный метод оценки производных позволяет сохранить исходные значения сигнала, снизить вычислительные нагрузки за счет предварительного вычисления всех используемых матриц и многократного их использования для каждого окна анализа речевого сигнала.

На основе соотношения (25) нетрудно получить представление для квадрата евклидовой нормы предлагаемой оценки второй производной:

$$\|\varphi\|^2 = \int_{-\infty}^{\infty} \varphi^2(\tau) d\tau = \frac{4}{\pi(\Delta t)^2} \sum_{i,k=1}^N \beta_i \beta_k \int_{\Omega_1}^{\Omega_2} \cos[\omega \Delta t(i-k)/2] \sin(\omega \Delta t i/2) \sin(\omega \Delta t k/2) d\omega.$$

Имея в виду определения (14) и предполагая неособенность матрицы с элементами (15), правую часть последнего соотношения нетрудно представить в виде:

$$\|\varphi\|^2 = \frac{4}{(\Delta t)^2} \vec{v}^T A^{-1} G A^{-1} \vec{v} / \Delta t,$$

где:

$$G = \{g_{ik}\}; g_{ik} = \int_{\bar{\Omega}_1}^{\bar{\Omega}_2} \sin(xi/2) \sin(xk/2) \cos(x(i-k)/2) dx / \pi.$$

По теореме о среднем последние соотношения можно представить в виде:

$$g_{ik} = \int_{\bar{\Omega}_1}^{\bar{\Omega}_2} x^2 \sin(xi/2) \sin(xk/2) \cos(x(i-k)/2) dx / (x^2 \pi) = C(i, k)^* a_{ik}, \quad (26)$$

где  $C(i, k) \in [\bar{\Omega}_1, \bar{\Omega}_2)$  – средняя точка интервала интегрирования, зависящая от сочетаний индексов;

$a_{ik}$  – определяются представлениями (15).

Поэтому, имея в виду соотношение (24), нетрудно получить приближённое соотношение:

$$\|\varphi\|^2 \approx (\bar{\Omega}_1 + \bar{\Omega}_2) / 2^* \vec{v}^T A^{-1} \vec{v} / \Delta t = (\bar{\Omega}_1 + \bar{\Omega}_2) / 2^* \|f\|^2 \leq \bar{\Omega}_2 \|f\|^2,$$

которое показывает, что получаемая оценка второй производной будет иметь минимальную верхнюю границу евклидовой нормы.

На последнем этапе кодирования полученная последовательность представляет собой речевой сигнал, разделенный на блоки определенной длины, зависящей от статистических свойств определенного участка сигнала, что снижает энтропию выходной последовательности и способствует максимальному сжатию статистическим (арифметическим) методом. Рассмотрим этап восстановления речевого сигнала из кодированной последовательности.

На первом этапе восстановления происходит декодирование полученной битовой последовательности по статистическому (арифметическому) методу.

На следующем этапе осуществляется восстановление речевого сигнала по полученным информативным составляющим, представленным в виде дискретных отсчетов, путем интерполяции по вариационному методу. В основе вариационного метода интерполяции используется выражение (6), позволяющее представить функцию через ее производную первого порядка. При этом должны выполняться интерполяционные равенства вида (1).

Аналогично изложенному выше методу численного дифференцирования полагаем, что производная интерполирующей функции должна обладать финитным

спектром, т.е. имеет место представление вида (7). Из соображений повышения устойчивости вычислений к воздействиям случайных ошибок измерений, а так же из соображений целесообразности построения функции с наименьшей в смысле евклидовой нормы производной скорости изменения значений для отбора интерполирующей функции используется вариационный принцип минимизации евклидовой нормы оценки производной.

Представление для интерполирующей функции после подстановки в (9) соотношения (13) принимает вид:

$$\hat{u}(\tau) = u_0 + \frac{\tau}{\pi} \sum_{i=1}^N \beta_i \int_{\Omega_1}^{\Omega_2} \frac{\sin(\frac{\omega\tau}{2}) \sin(\frac{\omega\Delta t}{2} i)}{(\omega\tau/2)(\omega\Delta t/2)} \cos \left[ \frac{\omega}{2} (\tau - i\Delta t) \right] d\omega. \quad (27)$$

Вектор коэффициентов здесь должен удовлетворять СЛАУ вида (14), условия устойчивого решения которой определяются неравенством (16).

Отметим еще одну возможность организации вычислений. Если заранее известен набор  $\tau_k, k = 1, \dots, L$  интервала  $[0, N\Delta t]$ , в котором предполагается в дальнейшем вычисление интерполирующих функций, тогда, используя (27) с учетом СЛАУ (14) можно получить следующую вычислительную формулу:

$$\hat{\vec{u}} = (\hat{u}(\tau_1), \dots, \hat{u}(\tau_L))^T = u_0 \vec{e}_L + CA^+ \vec{v} = R\vec{v} + u_0 \vec{e}_L, \quad (28)$$

где:

$$\vec{e}_L = (1, \dots, 1)^T;$$

$$C = \{c_{ki}\}; c_{ki} = \frac{\tau_k}{\pi} \int_{\Omega_1}^{\Omega_2} \frac{\sin(\frac{\omega\tau_k}{2}) \sin(\frac{\omega\Delta t}{2} i)}{(\omega\tau_k/2)(\omega\Delta t/2)} \cos \left[ \frac{\omega}{2} (\tau_k - i\Delta t) \right] d\omega. \quad (29)$$

В качестве интервала интегрирования в представлениях (27) и (29) предлагается использовать частотный интервал, в котором сосредоточена максимальная доля энергии отрезка речевого сигнала.

Для подтверждения работоспособности предлагаемого метода сжатия речевых данных были проведены вычислительные эксперименты на реальных речевых сигналах, полученных в условиях неидеальной шумовой обстановки, отобранных из генеральной совокупности по методу котируемой выборки.

Стоит отметить, что в современной науке отсутствует общепринятая численная мера оценки качества звучания звукового сигнала, вместо которой применяется оценка субъективного качества на основе экспертных оценок.

Наиболее типичные из результатов экспериментов по оценке субъективного качества сжатого с потерями речевого сигнала (по десятибалльной шкале) приведены в таблице 2.

В качестве исходных файлов использовались файлы в формате .wav, с частотой дискретизации 8 кГц и глубиной дискретизации 16 бит на отсчет, т.е. с битрейтом 128 кбит/с.

Степень сжатия рассчитывалась по следующей формуле:

$$K_{сж} = \frac{V_{исх}}{V_{сж}},$$

где  $V_{исх}$  – объем исходного файла в формате .wav;

$V_{сж}$  – объем, полученной после сжатия статистическим (арифметическим) методом последовательности.

Несложно заметить, что во всех случаях степень сжатия предлагаемого метода более, чем в 2 раза превысила степень сжатия у кодеков G723.1 при аналогичном субъективном качестве, что и являлось целью исследования.

В заключении стоит отметить, что приведенный в статье метод сжатия речевых данных базируется на оригинальных математических методах цифровой обработки речевых сигналов, что делает его свободным от любых нарушений авторских и патентных прав владельцев современных методов сжатия речевых данных с потерями.

Таблица 2 – Результаты вычислительных экспериментов

№ п.п	Имя файла	Степень сжатия	Оценка субъективного качества	Битрейт
1	Фраза 1	50.2	5	2.55
2	Фраза 2	51.1	5	2.50
3	Фраза 3	52.3	5	2.45
4	Фраза 4	50.5	5	2.53
5	Фраза 5	51.9	5	2.47

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Артюшенко В. М., Шелухин О.И., Афонин М.Ю, Цифровое сжатие видеоинформации и звука: учеб. пособие; под ред. В. М. Артюшенко. – М. : Дашков и К, 2003. – 426 с.
2. Баранов Л. А. Квантование по уровню и временная дискретизация в цифровых системах управления. – М. : Энергоатомиздат, 1990. – 304 с.
3. Витерби Э. Д. Принципы цифровой связи и кодирования; пер. с англ. и под ред. К. Ш. Зигангирова. – М. : Радио и связь, 1982. – 536 с. : ил. – (Статистическая теория связи ; вып. 18).
4. Вологдин Э. И. Слух и восприятие звука: учеб. пособие. – СПб. : СТ «Факультет ДВО», 2004. – 52 с.
5. Голд Б. Цифровая обработка сигналов. – М. : Сов. радио, 1973. – 376 с.
6. Грудинин А. С., Синильников А.М. Кодирование сигналов звукового вещания в базе дискретного косинусного преобразования// Техника средств связи. – 1986. – Вып. 3. – С. 3-10. – (Сер. ТРПА).
7. Жиляков Е. Г., Попов И.Г., Чижов И.И. О субполосном кодировании сигнала// Вестник НТУ (ХПИ) : сб. науч. тр. – Харьков, 2004. – № 46. – С. 10-20. – (Тем. вып. «Информатика и моделирование»).
8. Жиляков Е. Г., Попов И.Г., Чижов И.И. Оптимальный синтез квантователя по уровню// Вестник НТУ (ХПИ) : сб. науч. тр. – Харьков, 2004. – № 46. – С. 101-106. – (Тем. вып. «Информатика и моделирование»).
9. Ковалгин Ю. А., Вологдин Э.И. Цифровое кодирование звуковых сигналов : учеб. пособие. – СПб. : КОРОНА-принт, 2004. – 240 с.

#### **Чижов Илья Игоревич**

Белгородский государственный университет

Кандидат технических наук, доцент кафедры прикладной информатики БелГУ

308015, г. Белгород, ул. Победы, 85, БелГУ

E-mail: chizhov@bsu.edu.ru

Тел.: 30-13-61

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

УДК 004.78:656.13

С.В. БЕЛОКУРОВ, С.В. СКРЫЛЬ, В.П. БЕЛОКУРОВ, Д.А. МОТУЗКА

**ВЕКТОРНЫЕ СХЕМЫ ВЫБОРА РЕШЕНИЙ  
В ОПТИМИЗАЦИОННЫХ ТРАНСПОРТНЫХ ЗАДАЧАХ**

*Решения многоцелевых оптимизационных транспортных задач являются достаточно сложными в реализации. Трудности определяются не количеством целей оптимизации, а множеством конфликтующих вариантов решения достижения различных целей. Поэтому подобные задачи сводятся к задачам векторной оптимизации. В связи с этим в работе рассмотрены вопросы выбора и принятия решений и проблемы моделирования, встречающиеся при использовании численных векторных схем на итерациях поиска.*

**Ключевые слова:** моделирование; векторные схемы; транспортные системы; оптимизация; множество; теория выбора; алгоритм; транспортные потоки.

*The decisions of many-aims optimal transport tasks are enough complicated in realization. The difficulties defined not only by a number of aims of optimization, but a number of conflict variants of decisions while achieving different aims. That is why, similar tasks like the tasks of vector optimization. According to this the article deals with the problems of choice and adoption of decisions and modeling, meeting while using number vector schemes on iteration of searching.*

**Keywords:** modeling; vector schemes; transport system; optimization; great number; theory of choicing; algorithm; transport net.

Транспортная система представляет собой сложный комплекс взаимосвязанных технических, инфраструктурных и организационных элементов. Оптимальная организация и управление дорожным движением потоков транспортных средств обеспечиваются выбором их наилучшего варианта для конкретной ситуации. Решение подобных оптимизационных задач связано с многокритериальностью и, следовательно, их сложностью в принятии решений.

С задачами выбора и принятия решений приходится сталкиваться повсеместно. Особую роль в теории выбора играет информационное обеспечение процесса отбора, так как любой выбор строится на основе тех или иных предпочтений и информации о рассматриваемых вариантах.

Выбор можно также охарактеризовать его свойствами. Требования к рациональному решению обычно формулируются в виде набора аксиом. Аксиоматический язык используется в теории групповых решений для определения понятий «справедливость», «согласованность» и в теории игр для определения понятий «равновесие», «компромисс». Языки принятия решений можно разделить на два класса – языки концепций выбора и языки механизмов выбора. Концепции выбора ставят в соответствие каждой ситуации набор «лучших» решений или набор свойств «лучших» решений. Язык механизмов – это язык алгоритмов выбора. На языке концепций отвечают на вопрос «что выбирать», на языке механизмов – «как выбирать». Язык

функций выбора и аксиоматический язык – это языки концепций выбора, язык математического программирования и язык бинарных отношений – примеры языков механизмов выбора.

Следует полагать, что функция выбора представляет собой наиболее естественное, универсальное и удобное для анализа описание концепции выбора. Отсюда – целесообразность выражения в терминах функций выбора результатов, формируемых на других языках теории принятия решений.

Таким образом, для организации выбора множества лучших альтернатив на итерациях поиска будем использовать язык функций выбора [1-3].

Рассмотрим множество  $H$  – множество вариантов  $\{x, y, \dots\}$ .  $X \subseteq H$  – непустое множество  $H$ , предъявленное для выбора,  $C(X) = Y \subseteq X (Y \neq \emptyset)$  – выбор из  $X$  по некоторому правилу  $C$  части вариантов. Это правило и называют функцией выбора. С позиции теории выбора общая формальная модель задачи выбора может быть представлена в виде:

$$C(\bullet) : \{X\} \rightarrow \{X\}, \{X\} \subseteq 2^H, \forall X \subseteq H, C(X) = Y, \quad (1)$$

где  $H$  – множество рассматриваемых вариантов  $\{x, y, \dots\}$ ,  $X \subseteq H$  – непустое множество  $H$ , предъявленное для выбора,  $C(X) = Y \subseteq X (Y \neq \emptyset)$  – выбор из  $X$  по некоторому правилу  $C$  части вариантов,  $Y \subseteq X$ .

Сам процесс выбора рассматривается как «черный ящик», на вход которому поступает множество рассматриваемых альтернатив  $X \subseteq H$ , называемое предъявлением, а на выходе получается множество  $Y \subseteq X$  выбранных альтернатив, называемое выбором. Таким образом, функция выбора определяет «внешнее» описание процесса выбора.

В свою очередь, «внутреннее» описание, т.е. описание того, как множество  $Y$  выделяется из  $X$ , определяется механизмом выбора, обозначаемым через  $M = \langle \sigma, \pi \rangle$ , где  $\sigma$  – структура на множестве  $X$  (совокупность сведений, в том числе полученных от ЛПР, обо всех рассматриваемых вариантах из  $X$ , позволяющих сравнивать эти варианты), а  $\pi$  – правило выбора, которое указывает, как, используя структуру  $\sigma$ , получить  $Y$  из  $X$ . Механизмы, порождающие одинаковую функцию выбора  $C(X)$ , являются эквивалентными.

Функции выбора чаще сводятся к двум основным заданиям :

1. «Поэлементное задание», т.е. множество  $Y = C(X) \subseteq X$  – это набор элементов, удовлетворяющих условиям:

$$C(X) = \{y \in X | \Pi\}, \quad (2)$$

где  $\Pi$  – некоторый оператор, формализующий условие выбора.

2. «Целостное задание», т.е.  $C(X) = Y \subseteq X | \Pi$  есть некоторое подмножество множества  $X$ , которое в отличие от других его подмножеств удовлетворяет некоторому требованию  $\Pi$ .

Механизмы выбора чаще представляются двумя компонентами: «структура» и «правило» выбора. При обеих формах выражения для  $C(X)$  выделение  $Y$  из  $X$  опирается на некоторую заранее заданную совокупность сведений о вариантах  $X$ , помимо данного исходного множества  $H$ .

Любая формализация таких сведений, используемая при описании механизма выбора, называется структурой и обозначается символом  $\sigma$ . В качестве примера можно привести шкалы критериальных оценок, или бинарные отношения, т.е. «структуры предпочтений». Каждый механизм выбора  $M$  характеризуется, во-первых, заданием структуры  $\sigma$  и, во-вторых, правилом выбора  $\pi$ , которое указывает, как построить множество  $C(X)$ , для любого  $\{x \in H^0\}$  на основе данной структуры  $\sigma$ . Здесь  $H^0 = 2^H \setminus \{\emptyset\}$ , т.е. множество всех непустых подмножеств  $H$ ,  $|H|$  – мощность  $H$ . Если используется определение «поэлементной» формы выбора (2), то правило выбора  $\pi$  – это то, что записано в виде оператора  $\Pi$ , т.е. можно формализовать правило выбора в «поэлементной» форме:

$$\pi : y \in X | \Pi. \quad (3)$$

Аналогично в целостной форме:

$$\pi : y \subseteq X | \Pi, \quad (4)$$

где  $\Pi$  – оператор выбора, в обоих случаях формализующий условие, которому удовлетворяют элементы  $\{y\}$  или множества  $Y$ , выделяемые правилом  $\pi$ .

При этом в (4) корректное определение  $\pi$  требует, чтобы выражение на месте многоточий единственным образом определяло множество  $Y$  при любом допустимом значении  $X$ .

В зависимости от сформированной структуры  $\sigma$  на множестве  $A$  рассматриваемых альтернатив, все многообразие механизмов выбора можно разделить на три класса: парнодоминантные, однокритериально-экстремизационные и многокритериально-экстремизационные механизмы выбора.

У парнодоминантных механизмов выбора  $M = \langle \sigma, \pi \rangle$  в качестве структуры  $\sigma$  выступают бинарные отношения разрешения ( $R_p$ ) или запрещения ( $R_3$ ), а в качестве правила выбора:

$$\text{для отношения } R_p - \pi : x \in C(X) \Leftrightarrow (\forall y \in X x R_p y); \quad (5)$$

$$\text{для отношения } R_3 - \pi : x \in C(X) \Leftrightarrow (\exists y \in X : y R_3 x). \quad (6)$$

Отношения  $R_p$  и  $R_3$  являются обратно дополнительными, т.е.  $R_p = \bar{R}_3^{-1}$ ,  $R_3 = \bar{R}_p^{-1}$ .

В зависимости от ограничений, накладываемых на бинарные отношения  $R_p$  и  $R_3$ , выделяют следующие уровни парнодоминантного механизма выбора : если  $R_p$  или  $R_3$  – ациклические отношения, то парнодоминантный механизм выбора  $M$  имеет уровень 1; если  $R_p$  или  $R_3$  – ациклические и транзитивные отношения, называемые качественным порядком, строгим частичным порядком, то парнодоминантный механизм выбора  $M$  имеет уровень 2; если  $R_p$  или  $R_3$  – ациклические, транзитивные и отрицательно-транзитивные отношения, то механизм выбора имеет уровень 3; если  $R_p$  или  $R_3$  – отношения сильного порядка, то механизм выбора  $M$  имеет уровень 1 – 2 – 3.

Функция выбора, порождаемая парнодоминантным механизмом выбора:

– уровня 1 – удовлетворяет одновременно условиям наследования (Н) и согласия (С), то есть:

$$\forall X, X' \quad X' \subseteq X \Rightarrow C(X') \supseteq C(X) \cap X', \quad (7)$$

$$\forall X', X'' \quad X = X' \cup X'' \Rightarrow C(X) \supseteq C(X') \cap C(X''); \quad (8)$$

– уровня 2 – условиям наследования (Н), согласия (С) и независимости от отбрасывания отвергнутых вариантов (О), то есть:

$$\forall X, X' \quad C(X) \subseteq X' \subseteq X \Rightarrow C(X') = C(X); \quad (9)$$

– уровня 3 – условию константности (К):

$$\forall X, X' \quad X' \subseteq X \Rightarrow \begin{cases} \text{если } C(X) = \emptyset, & \text{то } C(X') = \emptyset, \\ \text{если } C(X) \cap X' \neq \emptyset, & \text{то } C(X') = C(X) \cap X'; \end{cases} \quad (10)$$

– уровня 1-2-3 – условиям наследования (Н), отбрасывания (О) и константности (К).

У однокритериально-экстремизационных механизмов выбора  $M = \langle \sigma, \pi \rangle$  в качестве структуры  $\sigma$  выступает критериальная шкала, то есть некоторая числовая ось  $\varphi$ , на которую отображено множество  $X$ , позволяющая приписать каждому варианту  $x \in X$  число  $\varphi(x)$ , соответствующее той точке шкалы  $\varphi$ , в которую отображен вариант. При этом если на шкале нет точек, в которых размещено более одной альтернативы, то шкала называется строгой. В качестве  $\pi$  используют следующее правило:

$$\pi : x \in C(X) \Leftrightarrow x = \arg \min \varphi(x) \quad (11)$$

или, что эквивалентно (17):

$$\pi : x \in C(X) \Leftrightarrow (\nexists y \in X | \varphi(y) < \varphi(x)),$$

либо:

$$\pi : x \in C(X) \Leftrightarrow (\forall y \in X \varphi(y) < \varphi(x)).$$

Если бинарное отношение запрещения  $R_3$  записать:

$$y R_3 x \Leftrightarrow \varphi(y) < \varphi(x)$$

то однокритериально-экстремизационный механизм выбора по любой критериальной шкале сводится к парнодоминантному механизму выбора, то есть является парнодоминантно представимым.

Однокритериально-экстремизационный механизм выбора используется в аксиоматических методах, где роль структуры  $\sigma$  на множестве альтернатив  $A$  играет функция полезности, в ряде прямых методов (принцип гарантированного уровня, принцип абсолютной уступки, принцип выделения главного критерия и др.), в методах скаляризации вектора показателя качества альтернатив. В последнем случае в качестве структуры  $\sigma$  выступает свертка, реализуемая скалярной функцией  $\varphi$ , сопоставляющей векторной оценке качества  $x = (x_1, x_2, \dots, x_m)$  каждого ТР скалярную интегральную оценку качества  $\varphi(x)$ .

Многокритериально-экстремизационные механизмы выбора используются в тех случаях, когда из допустимого множества альтернатив необходимо выделить подмножество недоминируемых вариантов. В качестве структуры  $\sigma$  здесь выступает вектор показателей качества  $x = (x_1, x_2, \dots, x_m)$ , а в качестве  $\pi$  используется правило выбора Парето:

$$\pi : x \in C(X) \Leftrightarrow (\forall y \in X \forall j x_j \leq y_j \wedge \exists j_0 | x_{j_0} < y_{j_0}). \quad (12)$$

Если бинарное отношение разрешения  $R_p$  записать:

$$x R_p y \Leftrightarrow (\forall j x_j \leq y_j \wedge \exists j_0 | x_{j_0} < y_{j_0}),$$

то можно убедиться, что оно является ациклическим и транзитивным, но не отрицательно-транзитивным отношением, и многокритериально-экстремизационный механизм выбора совпадает с классом парнодоминантных механизмов уровня 2.

Рассматривается и так называемый механизм выбора с нечувствительностью (механизм интервального выбора), являющийся обобщением однокритериально-экстремизационного механизма. В этом случае при сравнении оценок  $\varphi(x)$  и  $\varphi(y)$  показателей качества вариантов решений  $x, y \in A$  имеется допуск (зона нечувствительности)  $\varepsilon \geq 0$  такой, что  $y$  превосходит  $x$  лишь при условии  $\varphi(y) - \varphi(x) > \varepsilon$ . Правило выбора  $\pi$  записывают в следующем виде:

$$\pi : y \in C(X) \Leftrightarrow (y \in X \wedge \bar{\exists} x \in X | \varphi(x) - \varphi(y) > \varepsilon).$$

Любой механизм выбора лучших вариантов по шкале с нечувствительностью является парнодоминантно представимым механизмом.

В литературе также рассматривается и многокритериальный механизм выбора с нечувствительностью  $\varepsilon = \varepsilon(y)$ . В качестве структуры  $\sigma$  в нем выступают вектор оценок показателей качества  $x = (x_1, x_2, \dots, x_m)$  и набор функций  $\{\varepsilon_j\}, \varepsilon_j \geq 0, j = \overline{1, m}$ , характеризующих «нечувствительность» ЛПР по оценкам показателей качества сравниваемых альтернатив. Правило выбора  $\pi$  записывается в виде:

$$\pi : y \in C(X) \Leftrightarrow (y \in X \wedge \bar{\exists} x \in X | \forall j = \overline{1, m} x_j - y_j > \varepsilon_j).$$

Следует заметить, что, согласно терминологии, парнодоминантные механизмы выбора (11) и (12), записанные в виде (5) и (6), называют оптимизационными механизмами доминирования (5) и блокировки (6), определяемыми бинарным отношением  $R$  в версии разрешения.

Согласно вышеизложенному, можно утверждать, что важной особенностью этапа выбора является наличие дополнительной информации о предмете выбора, которую, особенно в векторном случае недоминируемых альтернатив, часто способен предоставить только ЛПР. В зависимости от возможностей выявления у ЛПР требуемой дополнительной информации о рассматриваемых вариантах решений, используемой для формирования структуры  $\sigma$  на множестве  $X$ , можно выделить классы априорных, апостериорных и адаптивных моделей выбора.

В априорных моделях требуемой дополнительной информацией является некий принцип оптимальности  $Opt$ , в соответствии с которым формулируется правило выбора  $\pi$ . Оператор  $Opt$  представляется в явном виде либо формульным соотношением между оценками свойств альтернативы, либо понятием лучшего решения, определение которого становится возможным на основе бинарного отношения доминирования на множестве оценок.

В основе апостериорных моделей лежит предположение о том, что формальная модель задачи выбора не содержит достаточной информации, по которой ЛПР может сформулировать соответствующей целевой установке принцип оптимальности. Поэтому здесь ставится задача полного восстановления принципа оптимальности на всем

рассматриваемом множестве альтернатив в явном виде на частичной дополнительной информации. Восстанавливаемый принцип оптимальности задает формальную модель описания системы предпочтения ЛПР.

В адаптивных моделях задачи выбора не предполагается введение или полное восстановление принципа оптимальности в явном виде. Здесь информация о предпочтениях ЛПР используется непосредственно на итерациях поиска лучшей альтернативы. Таким образом, в адаптивных моделях решается задача оптимизации по неявно заданному принципу оптимальности. Здесь можно отметить человеко-машинные методы, использующие преимущества интерактивного режима решения задач.

Рассмотренные выше априорные, апостериорные и адаптивные модели задач выбора используются для решения численных векторных схем, однако они не формализовывались ранее на итерациях поиска. Это позволило бы создать мощные, универсальные, гибкие в настройке алгоритмы и модели выбора, использовать интерактивные диалоговые процедуры корректировки поиска.

Использование выбора решений на итерациях поиска в численных векторных схемах при моделировании городских транспортных систем позволит равномерно распределять транспортные потоки на улично-дорожной сети, повысить уровень безопасности движения, снизить число дорожно-транспортных происшествий и время задержек, увеличить среднюю скорость сообщений, уменьшить уровень шума, улучшить санитарно-гигиеническое состояние воздушного бассейна, позволит экономить топливо и снизить расходы на содержание дорог, а также создаст другие комфортные условия для участников пешеходного и транспортного движения.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Белокуров С.В., Сербулов Ю.С., Величко С.В. и др. Синтез функций выбора на итерациях поиска в численных моделях многокритериальной оптимизации. – Воронеж: Научная книга. – 2003. – 95 с.
2. Белокуров С.В., Сумин В.И., Питолин М.В. и др. Задача выбора оптимальных вариантов на основе вероятностного подхода / Вестник ВГТУ. – Сер. Радиоэлектроника и системы связи. – 2006. - № 7. – С. 59-62.
3. Белокуров С.В., Кононова А.В. Математические модели в условиях динамики рыночной транспортной среды / Экономика и производство. – 2007. – № 1. – С. 20-23.

### **Белокуров Сергей Владимирович**

Воронежский институт МВД РФ, г. Воронеж  
Кандидат физико-математических наук  
Доцент кафедры Информационно-технического обеспечения  
Тел.: (4732) 56-07-10  
E-mail: bsvlabs@mail.ru

### **Скрыль Сергей Васильевич**

Воронежский институт МВД РФ, г. Воронеж  
Доктор технических наук, профессор кафедры Информационной безопасности  
Тел.: (4732) 47-64-77  
E-mail: bsvlabs@mail.ru

**Белокуров Владимир Петрович**

Воронежская государственная лесотехническая академия, г. Воронеж  
Доктор технических наук, профессор  
Заведующий кафедрой организации перевозок и безопасности движения  
Тел.: (4732) 53-61-78, 8-908-136-89-44  
E-mail: opbd\_vglta@mail.ru

**Мотузка Дмитрий Александрович**

Воронежская государственная лесотехническая академия, г. Воронеж  
Аспирант кафедры организации перевозок и безопасности движения  
Тел.: (4732) 53-61-78  
E-mail: opbd\_vglta@mail.ru

УДК 004.023

Е.А. ПОПКО, И.А. ВАЙНШТЕЙН, Г.Б. СМИРНОВ

## НАСТРОЙКА ОПЕРАТОРОВ ГЕНЕТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ МЕТОДОМ ПОЛНОГО ФАКТОРНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

*Представлена процедура настройки генетического алгоритма, основанная на многофакторном вычислительном эксперименте. Данный подход позволяет подбирать внутренние параметры, эволюционные операторы, обеспечивающие наиболее эффективную работу алгоритма.*

**Ключевые слова:** генетический алгоритм; многофакторный эксперимент; термолюминесценция.

*The procedure for tuning of genetic algorithm is presented. This approach is based on multifactorial experiment and allows choosing intrinsic parameters of evolutionary operators which provide the most efficient algorithm performance.*

**Keywords:** genetic algorithm; multifactorial experiment; thermoluminescence.

### ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время генетические алгоритмы (ГА) играют заметную роль среди поисковых методов и успешно применяются в различных областях, таких, как искусственный интеллект, управление, робототехника и т.д. [1,2,3]. Они основываются на имитации генетических процессов в живых организмах и принципов природной эволюции. Данные алгоритмы работают с популяцией хромосом, представляющей собой решения из пространства поиска, последовательно применяя к ней такие эволюционные операторы, как селекция, кроссовер и мутация.

Решение любой задачи с помощью ГА включает в себя помимо работы алгоритма предварительный подбор и настройку структуры и параметров эволюционных операторов в зависимости от специфики решаемой задачи. Существует множество различных вариантов исполнения внутренних механизмов ГА – селекции, кроссовера и мутации. В этом случае задача построения структуры алгоритма сводится к подбору наилучших комбинаций эволюционных операторов и к необходимости оптимизировать их внутренние параметры. При этом процесс настройки ГА включает в себя следующие этапы: настройка механизма построения модели и ее кодирования; выбор наиболее оптимальных генетических механизмов с точки зрения скорости работы при необходимой точности решения; подстройка параметров отобранных эволюционных механизмов для обеспечения наибольшего быстродействия алгоритма.

Целью данной работы является разработка методологии построения эффективного ГА с помощью применения методов многофакторного вычислительного эксперимента. Работа выполнялась на примере генетического алгоритма, задействованного в оригинальном программном модуле GenTL [4] для моделирования процессов термолюминесценции в кристаллах.

**МЕТОДИКА ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА**

Существует множество различных типов реализации селекции, кроссовера и мутации [1, 2]. В работе были рассмотрены наиболее распространенные механизмы эволюционных операторов, которые приведены в таблице 1 с соответствующими ссылками. Кроме этого, в столбце 4 таблицы 1 перечислены варианты, предложенные нами: модифицированная турнирная селекция, модифицированный 2-точечный линейный кроссовер и адаптивный механизм мутации [5].

Были созданы различные типы ГА путем комбинирования операторов, представленных в таблице 1. Их перебор производился по правилам планирования полного 4-факторного эксперимента с различным числом уровней варьирования [7]: сначала фиксировали параметры селекции, во вторую очередь – кроссовера структурной части, в третью – кроссовера вещественной части и в последнюю очередь варьировали параметры мутации.

Для всех вариантов реализации были установлены одинаковые размер популяции ( $N_p = 200$ ) и количество поколений ( $N_g = 200$ ). В качестве аппроксимируемых экспериментальных данных использовалась заранее построенная кривая термолуминесценции с заданными параметрами в рамках одноловушечной модели OTOR [5, 6]. Параметры модели: энергия активации ловушки  $E = 1\text{эВ}$ , частотный фактор  $s = 10^{12}\text{с}^{-1}$ , скорость захвата носителей заряда на ловушку  $A_n = 10^{-7}\text{см}^3\text{с}^{-1}$  и скорость рекомбинации  $A_h = 10^{-9}\text{см}^3\text{с}^{-1}$ , концентрация ловушек  $N = 10^{10}\text{см}^{-3}$ , начальная заселенность  $n_0/N = 0.1$ .

Таблица 1 – Применяемые эволюционные механизмы

Тип механизма ГА	Реализация в алгоритме			
	$x_j = 1$	$x_j = 2$	$x_j = 3$	$x_j = 4$
Селекция( $x_1$ )	На основе равномерного распределения	Турнирная [1]	–	Модифицированная турнирная [5]
Кроссовер структурной части ( $x_2$ )	1-точечный [1]	Однородный [1]	3-точечный [1]	2-точечный [1]
Кроссовер параметрической части ( $x_3$ )	Плоский кроссовер [8]	Арифметический кроссовер [8]	Линейный [8]	Модифицированный многоточечный линейный [5]
Мутация $x_4$	Случайная с равномерным распределением	Неоднородная Михалевича[1]	С нормальным распределением [1]	Модифицированная адаптивная [5]

Задача заключалась в подборе алгоритма, дающего наиболее точные результаты аппроксимации при наименьших вычислительных затратах. Для этого был произведен запуск каждой версии ГА. Результатом работы каждого полученного алгоритма являлось итоговое значение целевой функции, в основе которой лежит критерий качества аппроксимации FOM [7]:

$$FOM = \frac{\sum_{i=1}^n |I_i^{calc} - I_i^{exp}|}{\sum_i I_i^{calc}}, \quad (1)$$

где  $I^{calc}$  – расчетное значение интенсивности термолюминесценции, соответствующее определенному набору параметров модели;

$I^{exp}$  – экспериментальное значение интенсивности;

$n$  – количество экспериментальных точек.

В исследовании использовалась регрессионная модель, определяющая зависимость значения критерия FOM от вариантов реализации используемых эволюционных операторов. В рамках данной модели полученные результаты экспериментальных наблюдений задаются полиномиальным соотношением:

$$FOM = b_0 + \sum_{j=1}^4 b_j x_j + \sum_{\substack{j,k=1 \\ j < k}}^4 b_{jk} x_j x_k + \sum_{\substack{j,k,l=1 \\ j < k < l}}^4 b_{jkl} x_j x_k x_l + b_{1234} x_1 x_2 x_3 x_4. \quad (2)$$

В матричной форме выражение (1) имеет вид:

$$FOM = X \cdot B, \quad (3)$$

где  $FOM$  – вектор-столбец значений качества аппроксимации;

$X$  – матрица планирования эксперимента, в котором реализуются все возможные сочетания уровней факторов  $x_j$ , размер матрицы –  $(N \times 16)$ ;

$B$  – вектор-столбец коэффициентов регрессии  $b_j$ ;

$N$  – число опытов эксперимента (в рассматриваемом случае  $N = 192$ ).

Неизвестные коэффициенты  $b_j$  находятся с помощью метода наименьших квадратов [9]:

$$B = (X^T X)^{-1} X^T Y. \quad (4)$$

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

По результатам запусков ГА для каждого опыта строились кривые термолюминесценции. На рисунке 1 приведены примеры аппроксимации – для самого наименьшего и наибольшего экспериментальных значений FOM – 1.112% и 5.051%, соответственно. Видно, что в обоих случаях достигается удовлетворительное качество аппроксимации.

В результате решения уравнений (3)-(4) функциональная зависимость (2) принимает следующий вид:

$$\begin{aligned} FOM(\%) = & 6.683 - 0.201 x_1 - 0.419 x_2 - 0.463 x_3 - 0.219 x_4 + \\ & + 0.004 x_1 x_2 - 0.041 x_1 x_3 - 0.028 x_1 x_4 - 0.002 x_2 x_3 - \\ & - 0.013 x_2 x_4 - 0.01 x_3 x_4 + 0.018 x_1 x_2 x_3 + 0.015 x_1 x_2 x_4 + \\ & + 0.013 x_1 x_3 x_4 + 0.002 x_2 x_3 x_4 - 0.006 x_1 x_2 x_3 x_4. \end{aligned} \quad (5)$$

Помимо полученного математического описания (5) нами была рассмотрена линейная модель, в которой задействованы только первые пять слагаемых функциональной зависимости (5). Результаты сравнения обеих функций приведены в таблице 2.

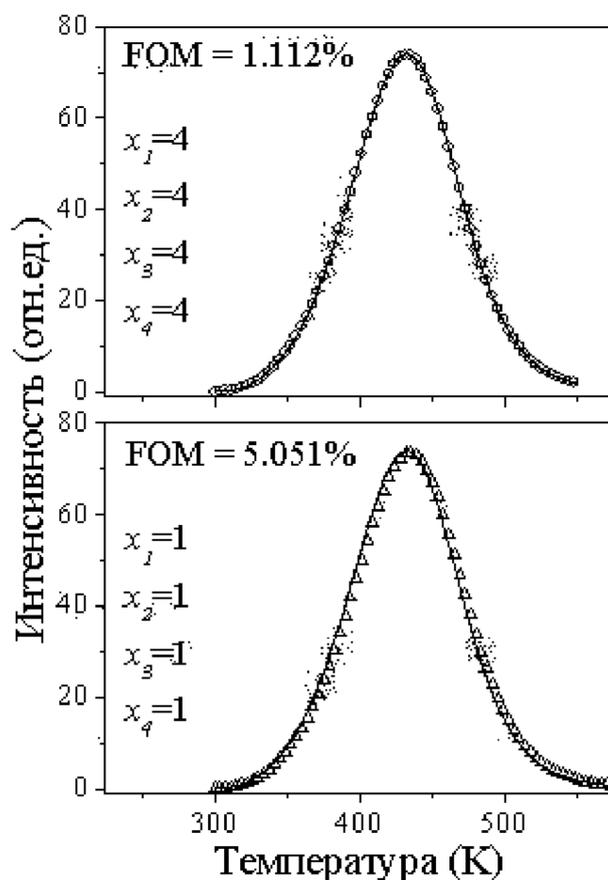


Рисунок 1 – Примеры аппроксимации для различных значений FOM

Символы – «экспериментальные» кривые термолюминесценции,  
сплошные линии – рассчитанные кривые

Из таблицы 2 следует, что наибольшие значения FOM для линейного и нелинейного случаев функции (5) отличаются менее, чем на 0.1 % по значению, а минимальные значения отличаются менее, чем на 0.05%. Кроме того, была проведена оценка адекватности моделей по методике [10]. Значения расчетных критериев Фишера приведены в таблице 2. Поскольку  $F_{расч} < F_{табл}$ , гипотеза об адекватности подтверждается для обеих моделей.

Таблица 2 – Сравнение линейной модели и модели с взаимодействиями

	Линейная модель	Модель со взаимодействиями
$FOM_{min}$ $x_1 = x_2 = x_3 = x_4 = 4$	1.475	1.571
$FOM_{max}$ $x_1 = x_2 = x_3 = x_4 = 1$	5.381	5.333
$F_{расч}$	12.96	13.15
$F_{табл, p=0.95}$	19.49	

В линейной модели наибольшие значения по абсолютной величине имеют коэффициенты  $b_0$ ,  $b_2$  и  $b_3$ . Соответственно, наибольшее влияние на эффективность работы алгоритма в режиме локального поиска оказывают кроссовер параметрической части и кроссовер модельной части.

FOM принимает наибольшее значение 5.333% при условии  $x_1 = x_2 = x_3 = x_4 = 1$ . Подобное качество аппроксимации считается удовлетворительным и было получено при решении задач подгонки экспериментальных кривых в различных работах [7, 11, 12]. Отметим, что указанный результат близок к пороговому значению FOM = 5%, которое используется для перехода ГА в режим локального поиска и было получено нами ранее [5].

Критерий FOM принимает наименьшее значение 1.571% при условии  $x_1 = x_2 = x_3 = x_4 = 4$ . Проведенная настройка эволюционных операторов позволила улучшить качество аппроксимации по сравнению с наихудшим рассмотренным вариантом реализации в 3 раза. Кроме того, данное значение может быть использовано в качестве порогового для условия останова работы ГА.

### **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Таким образом, в данной работе представлена методика настройки эволюционного алгоритма, основанная на многофакторном вычислительном эксперименте, позволяющая выявить наиболее значимые механизмы метода для моделирования процессов термолюминесценции в кристаллах. Проведенный анализ позволил обосновать пороговые значения целевой функции для перехода ГА в режим локального поиска и для условия завершения работы. Предложенная методика является универсальной и может применяться для подбора эволюционных операторов и их параметров при настройке метода эволюционного моделирования для решения различных задач.

### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Mitchell M. An introduction to genetic algorithms. Cambridge: MIT Press, 1999. 158 p.
2. Ashlock D. Evolutionary Computation for Modeling and Optimization. New York: Springer, 2003. 572 p.
3. Коза Д., Кин М., Стритер М. Эволюция в мире изобретений // В мире науки. 2003. № 6. С. 46-53.
4. Вайнштейн И.А., Попко Е.А. Программный модуль «Электронный ГА-конструктор люминесцентных моделей с термоактивационной кинетикой» (GenTL): Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2006614299.: М., заявл. 18.12.2006; опубл. 18.12.2006.
5. Попко Е.А., Вайнштейн И.А., Смирнов Г.Б. Настройка операторов генетического алгоритма для моделирования термоактивационных процессов // Сб. науч. трудов «Инжиниринг. Инновации. Инвестиции». 2008. С. 87-102.
6. Limitation of peak fitting and peak shape methods for determination of activation energy of thermoluminescence glow peaks / Sunta C.M. [et al.] // Radiation Measurements. 1999. Vol. 30. P. 197-201.
7. General order and mixed order fits of thermoluminescence glow curves – a comparison / Sunta C.M. [et al.] // Radiation Measurements. 2002. Vol. 35. P. 47-57.

8. Herrera F., Lozano M., Verdegay J.L. Tackling Real-Coded Genetic Algorithms: Operators and Tools for Behavioural Analysis // Artificial Intelligence Review. 1998. Vol. 12. P.265–319.
9. Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановский Ю.В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. Изд. 2-е, перераб. и доп. М.: Наука, 1976. 280 с.
10. Ахназарова С.Л., Кафаров В.В. Методы оптимизации эксперимента в химической технологии. М.: Высшая школа, 1985. 328 с.
11. Analysis with a multilayer model of heating rate effect on thermally stimulated luminescence, conductivity and exoelectronic emission of  $\alpha$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> / Berkane-Krachai A. [et al.] // J. Phys. D: Appl. Phys. 2002.Vol.35. P.1895-1902.
12. Weinstein I.A., Popko E.A. The simulation of TL processes in  $\alpha$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> using different ratios between microparameters of trapping and luminescent centers // Journal of Luminescence. 2007. V. 122 – 123. P. 377 – 380.

**Вайнштейн Илья Александрович**

ГОУ ВПО «Уральский Государственный Технический Университет –  
УПИ имени первого Президента России Б.Н.Ельцина», г. Екатеринбург  
Кандидат физико-математических наук,  
доцент кафедры физических методов и приборов контроля качества  
Тел.: (343) 375-45-94  
E-mail: wia@dpt.ustu.ru

**Попко Евгений Александрович**

ГОУ ВПО «Уральский Государственный Технический Университет –  
УПИ имени первого Президента России Б.Н.Ельцина», г. Екатеринбург  
Старший преподаватель кафедры вычислительной техники  
Тел.: (343) 375-93-68  
E-mail: dt dk@mail.ru

**Смирнов Геннадий Борисович**

ГОУ ВПО «Уральский Государственный Технический Университет –  
УПИ имени первого Президента России Б.Н.Ельцина», г. Екатеринбург  
Доктор технических наук, профессор кафедры вычислительной техники  
Тел.: (343) 375-93-68  
E-mail: vt@dpt.ustu.ru

УДК 004.942

В.В. СЛЕПУХИН

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ И ВОССТАНОВЛЕНИЯ  
СКОРОСТИ СТУПЕНЧАТОГО СТЕРЖНЯ  
ПРИ УДАРЕ О ЖЕСТКУЮ ПРЕГРАДУ**

В работе рассмотрена волновая модель движения стержня. Показан процесс преобразования волн на границах стержневой системы. Разработан алгоритм и написана программа, позволяющая моделировать движение сечений стержня и рассчитывать значение коэффициента восстановления для различных конфигураций стержней.

**Ключевые слова:** продольный удар; коэффициент восстановления; моделирование.

The wave model of motion of rod was considered. Transformation of waves on bounds of rod was showed. The algorithm and the program was developed. The program gives us possibility to model motion of cross sections of rod and compute coefficient of restitution.

**Keywords:** longitudinal impact; coefficient of restitution; modeling.

Рассматривается волновая модель движения ступенчатого стержня. Схема ударной системы показана на рисунке 1. Стержень, состоящий из N участков различной продольной жёсткости и длины, движется по направлению к жёсткой преграде со скоростью  $V_0$ .

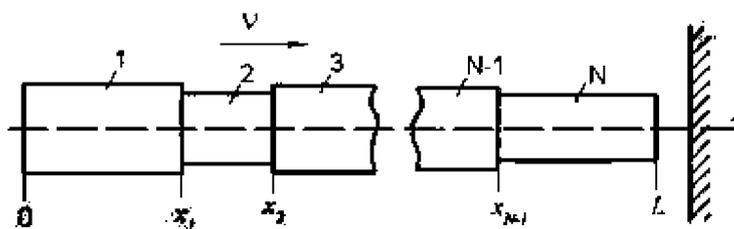


Рисунок 1 – Схема ударной системы

Движение сечений стержня на участках описывается волновыми уравнениями [1,2]:

$$\frac{\partial^2 u_i(x, t)}{\partial x^2} - \frac{1}{a_i^2} \frac{\partial^2 u_i(x, t)}{\partial t^2} = 0, \quad x_{i-1} \leq x \leq x_i, \quad i = 1, 2 \dots N \quad (1)$$

при соответствующих начальных:

$$\frac{\partial u_i(x, 0)}{\partial x} = 0, \quad \frac{\partial u_i(x, 0)}{\partial t} = V_0 \quad (2)$$

и граничных условиях:

$$\frac{\partial u_1(x_0, t)}{\partial x} = 0, \quad (3)$$

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial u_2(L, t)}{\partial t} = 0, \text{ если } \frac{\partial u_2(L, t)}{\partial x} < 0, \\ \frac{\partial u_2(L, t)}{\partial x} = 0, \text{ если } \frac{\partial u_2(L, t)}{\partial x} \geq 0, \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

$$u_{i-1}(x_{i-1}, t) = u_1(x_{i-1}, t), -E_{i-1} \cdot A_{i-1} \cdot \frac{\partial u_{i-1}(x_{i-1}, t)}{\partial x} + E_i \cdot A_i \cdot \frac{\partial u_i(x_{i-1}, t)}{\partial x} = 0, \quad (5)$$

где  $u_i(x, t)$  – перемещение поперечного сечения  $i$ -го участка стержня, положение которого определяется координатой  $x$ ;

$a_i$  – скорость распространения звука в материале  $i$ -го участка стержня;

$E_i$  – модуль упругости 1-го рода материала  $i$ -го участка стержня;

$A_i$  – площадь поперечного сечения  $i$ -го участка стержня.

Решение уравнений (1) по методу Даламбера представляется в виде суммы двух неизвестных функций:

$$u_i(x, t) = f_i(at - x) + \varphi_i(at + x),$$

где  $f_i(at - x)$  – функция, описывающая параметры волны, распространяющейся по направлению оси  $x$  (назовём её прямой волной);

$\varphi_i(at + x)$  – функция, описывающая параметры волны, распространяющейся в обратном направлении (назовём её обратной волной).

Величина относительной продольной деформации в произвольном сечении  $i$ -го участка стержня равна:

$$\frac{\partial u_i(x, t)}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x} [f_i(at - x) + \varphi_i(at + x)] = -f'_i(at - x) + \varphi'_i(at + x), x_{i-1} \leq x \leq x_i.$$

Скорости сечений могут быть определены как:

$$\frac{\partial u_i(x, t)}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial t} [f_i(at - x) + \varphi_i(at + x)] = af'_i(at - x) + a\varphi'_i(at + x), x_{i-1} \leq x \leq x_i.$$

Начальные значения функций определяются из начальных условий (2):

$$a_i f'_i(at - x) + a_i \varphi'_i(at + x) = V_0, x_{i-1} \leq x \leq x_i,$$

$$-f'_i(at - x) + \varphi'_i(at + x) = 0, x_{i-1} \leq x \leq x_i,$$

откуда следует, что:

$$f'_i(at - x) = 0, 5 \frac{V_0}{a_i}, \varphi'_i(at + x) = 0, 5 \frac{V_0}{a_i}.$$

Опишем процессы, происходящие на границах стержня. Схема формирования волн в граничных сечениях представлена на рисунке 2.

В сечении  $x = 0$  формируется прямая волна  $f'_1(a_1 t - 0)$ , а падающей на это сечение является обратная волна  $\varphi'_1(a_1 t + 0)$  (рисунок 2, а).

В сечении  $x = x_i$  со стороны участка  $i$  формируется обратная волна  $\varphi'_i(a_i t + x_i)$ , а падающей на это сечение является прямая волна  $f'_i(a_i t - x_i)$  (рисунок 2, б).

В сечении  $x = x_i$  со стороны участка  $i + 1$  формируется прямая волна  $f'_{i+1}(a_{i+1}t - x_i)$ , а падающей на это сечение является обратная волна  $\varphi'_{i+1}(a_{i+1}t + x_i)$  (рисунок 2, б).

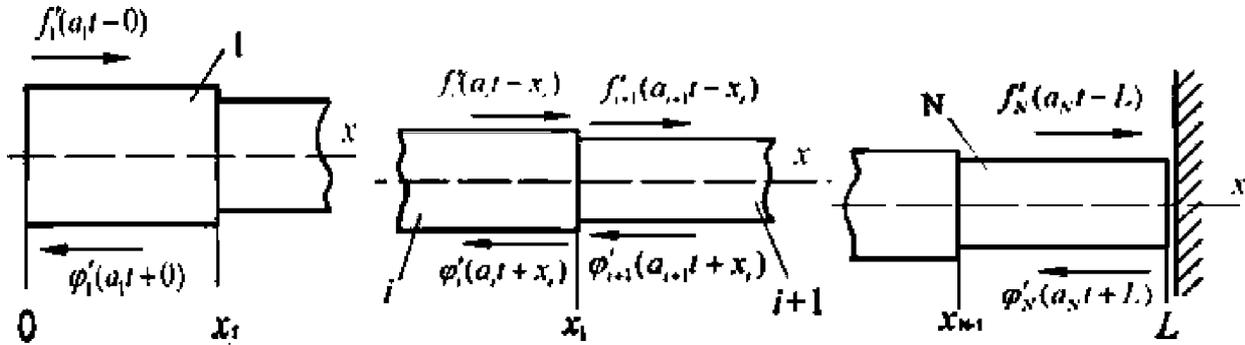


Рисунок 2 – Схема формирования волн в граничных сечениях

а) формирование волн в свободном торце

б) формирование волн в сечении сопряжения участков

в) формирование волн в ударном сечении

В сечении  $x = L$  формируется обратная волна  $\varphi'_N(a_Nt + L)$ , а падающей на это сечение является прямая волна  $f'_N(a_Nt - L)$ .

Целесообразно перейти к относительным величинам, характеризующим прямые и обратные волны:

$$\tilde{f}'_i(a_it - x) = f'_i(a_it - x) / \frac{V_0}{a_i}, \quad \tilde{\varphi}'_i(a_it - x) = \varphi'_i(a_it - x) / \frac{V_0}{a_i},$$

деформацию в сечении:  $\tilde{\varepsilon}_i(x, t) = -\tilde{f}'_i(a_it - x) + \tilde{\varphi}'_i(a_it + x)$

и скорость сечения:  $\tilde{V}_i(x, t) = \tilde{f}'_i(a_it - x) + \tilde{\varphi}'_i(a_it + x)$ .

Через относительные единицы будем представлять время:

$$\tilde{t} = t / \frac{L}{a_i}$$

и координаты сечений стержня  $\tilde{x}_i$   $i$ -го участка стержня:

$$\tilde{x}_i = x_i / L,$$

где  $L$  – общая длина стержня.

В сечении  $x = 0$  обратная волна отражается в виде прямой волны без изменений и из граничных условий (3) следует:  $\tilde{f}'_1(a_1t - 0) = \tilde{\varphi}'_1(a_1t + 0)$ .

В сечении  $x = L$  при взаимодействии стержня с жёсткой преградой прямая волна отражается в виде обратной, но с противоположным знаком, и из граничных условий (4) следует:  $\tilde{\varphi}'_N(a_Nt + L) = -\tilde{f}'_N(a_Nt - L)$ .

В граничном сечении  $x_{i-1}$  формируются прямая  $\tilde{f}'_i(a_it - x_{i-1})$  и обратная  $\tilde{\varphi}'_{i-1}(a_{i-1}t + x_{i-1})$  волны, распространяющиеся по соответствующим участкам стержня.

Из граничных условий (5) следует, что:

$$\begin{aligned}\tilde{f}'_{i+1}(a_{i+1}t - x_i) &= \frac{2r_{i,i+1}}{r_{i,i+1} + 1} \tilde{f}'_i(a_it - x_i) + \frac{1 - r_{i,i+1}}{1 + r_{i,i+1}} \tilde{\varphi}'_{i+1}(a_{i+1}t + x_i), \\ \tilde{\varphi}'_i(a_it + x_i) &= \frac{r_{i,i+1} - 1}{r_{i,i+1} + 1} \tilde{f}'_i(a_it - x_i) + \frac{2}{r_{i,i+1} + 1} \tilde{\varphi}'_{i+1}(a_{i+1}t + x_i),\end{aligned}$$

где  $\tilde{f}'_{i+1}(a_{i+1}t - x_i)$  – прямая волна, действующая на участке стержня  $i$  в сечении  $x_i$ ;

$\tilde{\varphi}'_i(a_it + x_i)$  – обратная волна, действующая на участке стержня  $i + 1$  и в сечении  $x_i$ ;

$r_{i,i+1}$  – соотношение волновых сопротивлений участков стержня 1 и 2.

$$r_{i,i+1} = \frac{E_i A_i}{a_i} / \frac{E_{i+1} A_{i+1}}{a_{i+1}},$$

где  $E_i$  – модули упругости 1-го рода;

$A_i$  – площади поперечных сечений;

$a_i + 1$  – скорости распространения волн в материале участка стержня для соответствующего участка.

Для вычисления коэффициента восстановления воспользуемся теоремой об изменении количества движения механической системы. Изменение количества движения механической системы:

$$Q - Q_0 = \int_0^t P(L, t) dt,$$

где  $Q_0, Q$  – количество движения механической системы в начальный и текущий моменты времени;

$P(L, t)$  – ударная сила в сечении  $x = L$ .

Учитываем, что  $Q_0 = mV_0, Q = mV_c, P(L, t) = E_N A_N \frac{\partial u_N(L, t)}{\partial x}$ , где  $V_c$  – скорость центра масс стержня;

$E_N A_N$  – продольная жёсткость поперечного сечения стержня на участке, прилегающем к ударному сечению;

$\frac{\partial u_N(L, t)}{\partial x}$  – продольная деформация в ударном сечении;

$m$  – масса стержня.

Если учесть, что на  $j$ -м интервале времени  $\frac{\partial u_N(L, t)}{\partial x} = (-f'_N(at - L) + \varphi'_N(at + L))_j$ , что продолжительность удара равна  $T = \Delta t \cdot n$  (где  $n$  – число интервалов времени до завершения процесса удара), что на интервале времени  $\Delta t$  параметры функций  $(f'_N(at - L))$  и  $(\varphi'_N(at + L))_j$  постоянны, то изменение количества движения за время удара таково:

$$mV_c - mV_0 = E_N A_N \sum_{i=1}^n (-f'_N(at - L) + \varphi'_N(at + L))_j \Delta t,$$

а отношение:

$$\frac{V_c}{V_0} = 1 + \frac{2E_N A_N \Delta t}{m V_0} \sum_{i=1}^n (-f'_N(at - L) + \varphi'_N(at + L))_j.$$

Масса стержня, состоящего из  $N$  разнородных участков длиной  $\Delta l$ , определится как  $m = \sum_{i=1}^N m_i$ ,  $m_i = \rho_i A_i \Delta l$ . Материал стержня на всех участках одинаков ( $\rho_i = const$ ), поэтому имеем [3]:

$$R = - \frac{2 \sum_{j=1}^n (-f'_N(at - L) + \varphi'_N(at + L))_j}{\frac{V_0}{a} \left[ \sum_{i=1}^{N-1} \left( \frac{A_i}{A_N} \right) + 1 \right]} - 1.$$

Из граничного условия  $\frac{\partial u_N(L, t)}{\partial t} = 0$  следует  $(f'_N(at - L))_j + (\varphi'_N(at + L))_j = 0$ , откуда  $(\varphi'_N(at + L))_j = -(f'_N(at - L))_j$  и коэффициент восстановления скорости определится как:

$$R = \frac{4 \cdot \sum_{j=1}^n (f'_N(at - L))_j}{\frac{V_0}{a} \left[ \sum_{i=1}^{N-1} \left( \frac{A_i}{A_N} \right) + 1 \right]} - 1$$

или

$$R = \frac{4 \cdot \sum_{j=1}^n \tilde{f}'_j(L, t)}{\sum_{i=1}^{N-1} \tilde{A}_i + 1} - 1, \tag{6}$$

где  $\tilde{f}'_j(L, t) = (f'_N(l, t))_j / \frac{V_0}{a}$ ,  $\tilde{A}_i = \frac{A_i}{A_N}$ .

Полученное выражение показывает, что коэффициент восстановления скорости  $R$  существенно зависит от конфигурации стержня, так как падающие на ударное сечение прямые волны  $(f'_N(at - L))_i$  и отношение площадей поперечных сечений различных участков  $\frac{A_i}{A_N}$  к площади поперечного сечения участка стержня, прилегающего к ударному сечению, зависят от формы стержня.

Разработан алгоритм расчёта значений прямых и обратных волн в процессе удара, времени ударного взаимодействия, а также коэффициента восстановления. Алгоритм предусматривает возможность возникновения повторных ударов.

В соответствии с алгоритмом в среде разработки Delphi написана программа, представляющая собой анимационную модель движения сечений стержня. Для любого момента времени моделирования реализовано построение диаграмм относительной продольной деформации и относительной скорости поперечных сечений по всей длине стержня. Также реализовано построение диаграммы относительной деформации в ударном сечении стержня, характеризующей ударную силу.

Дискретность времени при моделировании определяется конфигурацией стержня. Стержень разбивается на минимальное количество участков таким образом, чтобы время прохождения волной одного участка было одинаковым для всех участков.

При отсутствии повторных ударов временным шагом при моделировании будет являться время прохождения волной одного участка. Если происходят повторные удары, то моделирование происходит с изменяющимся временным шагом, это связано с тем, что повторные удары могут происходить в моменты времени, не кратные времени прохождения волной одного участка.

Главная форма программы показана на рисунке 3. На форме расположены элементы ввода параметров стержня, а также собственно изображение стержня и диаграммы прямой и обратной волн.

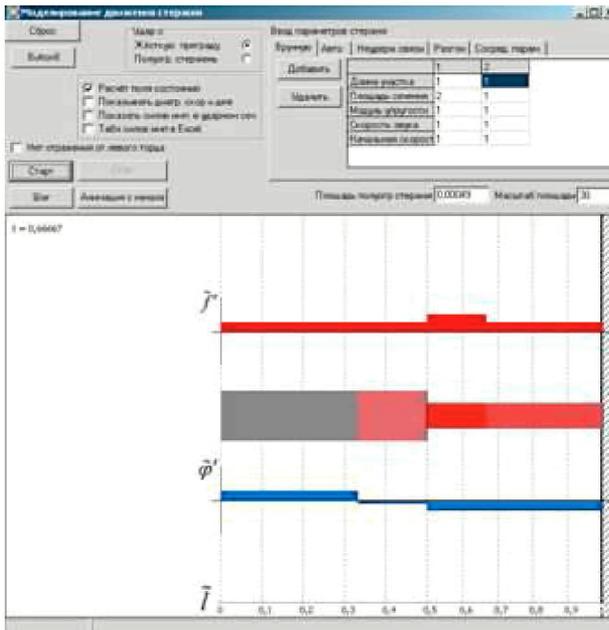


Рисунок 3 – Главная форма программы

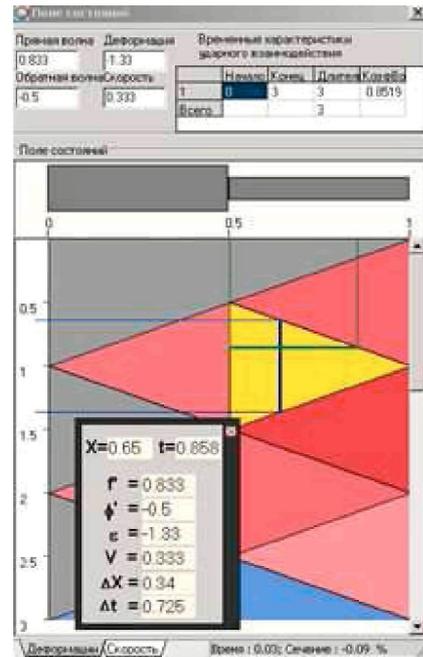


Рисунок 4 – Форма «Поле состояний»

Особую наглядность при рассмотрении процесса распространения волн представляет построение поля состояний сечений стержня по деформациям и по скорости. Форма с полем состояний показана на рисунке 4. Области с различными состояниями выделяются различным цветом. Параметры состояния в любой момент времени и для любого сечения можно определить, щёлкнув мышью на выбранной области. Область выделяется и выводится информационное окно. В информационном окне показаны значения прямой и обратной волн, значения относительной продольной деформации и относительной скорости. Кроме того, рассчитывается значение времени, в течение которого сечение находится в данном состоянии и область сечений стержня, охваченных данным состоянием.

Рассмотрим на примере вычисление коэффициента восстановления и результат работы программы для двухступенчатого стержня с параметрами: длины участков  $\tilde{l}_1 = \tilde{l}_2 = 1/2$ , площади поперечных сечений участков  $A_1 = 2, A_2 = 1$ . Общую длину стержня примем равной  $L = 1$ , скорость распространения волн также  $a = 1$ .

Моделирование показало, что ударное взаимодействие длится в течение времени  $\tilde{t} = 3$ , пока в ударном сечении не возникнут деформации растяжения.

Для определения значений прямых волн будем использовать поле состояний поперечных сечений стержня в системе координат  $\tilde{x} - \tilde{t}$ . Поле состояний по деформациям построено программно и показано на рисунке 5. При использовании программы оно даёт возможность наглядно определять значения прямых и обратных волн, относительной деформации и скорости в поперечных сечениях стержня в любой момент времени.

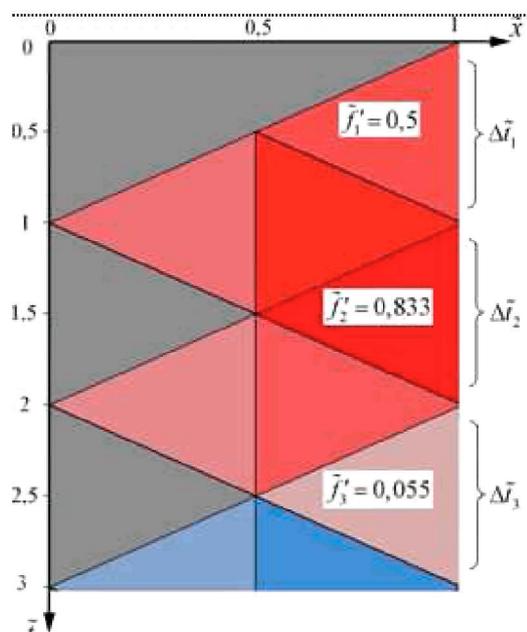


Рисунок 5 – Поле состояний

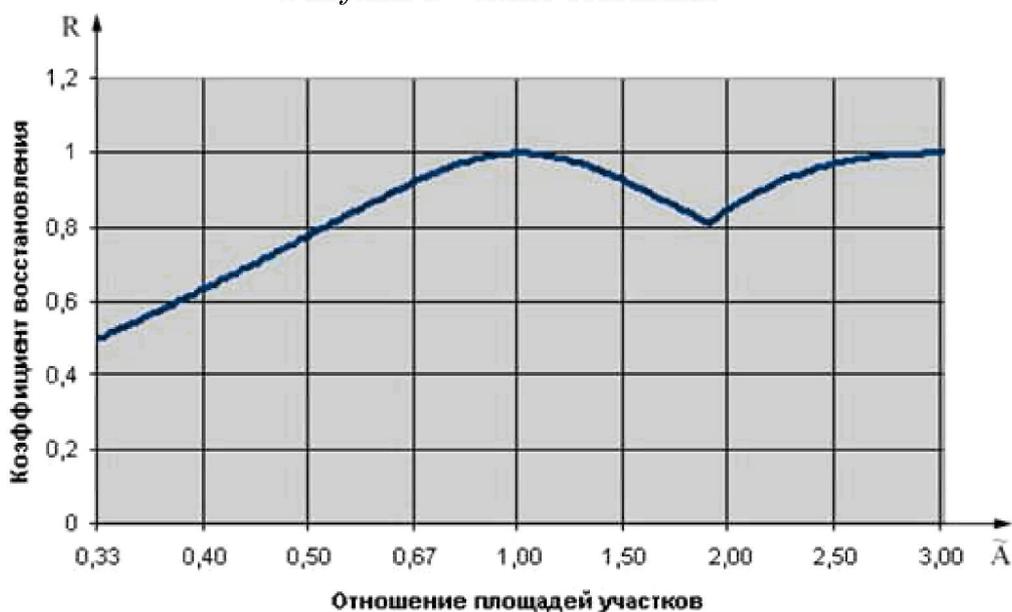


Рисунок 6 – Диаграмма зависимости коэффициента восстановления от соотношения площадей сечений участков стержня

На рисунке 5 показаны значения прямых волн в ударном сечении на интервалах времени  $\Delta t_1, \Delta t_2, \Delta t_3$ . Также показаны сами интервалы.

За  $\Delta t$  принимаем значение времени равное  $\Delta t = 2\frac{L}{a \cdot N} = 2\frac{1}{1 \cdot 2} = 1$ . Таким образом, получаем три интервала времени, на которых мы должны знать значение прямой волны, то есть  $n = 3$ .

Прямые волны в ударном сечении принимают значения  $\tilde{f}'_1 = 0,5$ ,  $\tilde{f}'_2 = 0,833$ ,  $\tilde{f}'_3 = 0,0556$ . Отношение площадей поперечных сечений участков стержня равно  $\tilde{A}_1 = 2$ .

Подставляя значения нужных величин в (6), получим:

$$R = 4 \frac{0,5 + 0,833 + 0,0556}{2 + 1} - 1 = 0,851.$$

Построена диаграмма зависимости коэффициента восстановления от соотношения площадей участков при неизменной координате сечения сопряжения (рисунок 6).

Отношение площадей поперечных сечений участков стержня  $\tilde{A}_1$  изменяется в пределах от  $\frac{1}{3}$  до 3. При  $\tilde{A}_1 = \frac{1}{3}$  коэффициент восстановления равен  $R = 0,5$ . Далее, при увеличении  $\tilde{A}_1$ , коэффициент восстановления также увеличивается. Максимального значения  $R = 1$  коэффициент восстановления достигает при  $\tilde{A}_1 = 1$ . При дальнейшем увеличении  $\tilde{A}_1$  до 1,9  $R$  уменьшается до 0,811. Затем коэффициент восстановления возрастает до 1 при  $\tilde{A}_1 = 3$ .

## ЛИТЕРАТУРА

1. Алимов О. Д., Манжосов В.К., Еремьянц В.Э. Удар. Распространение волн деформаций в ударных системах. М.: Наука, 1985. – 386 с.
2. Манжосов, В. К. Продольный удар / В. К. Манжосов. – Ульяновск: 2007. – 358 с.
3. Манжосов В.К. Восстановление скорости стержня при продольном ударе о жёсткую преграду / В. К. Манжосов // Вестник УлГТУ. – 2003, № 3-4. – с. 22 – 24.

**Слепухин Виталий Владимирович**

ГОУ ВПО Ульяновский государственный технический университет

Аспирант кафедры «Теоретическая и прикладная механика»

432030 г. Ульяновск, пр-т Нариманова, д. 55, кв. 6.

Тел.: (8422)43-50-56

E-mail: vitslepukhin@hotmail.com

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

УДК 004;37.022

Е.Г. ЖИЛЯКОВ, С.П. БЕЛОВ, С.Н. ДЕВИЦЫНА,  
С.В. ИГРУНОВА, Н.П. ПУТИВЦЕВА

**СИСТЕМНАЯ МОДЕЛЬ  
НАПРАВЛЕНИЙ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ  
В СФЕРЕ ИНФОРМАЦИОННО-КОММУНИКАЦИОННЫХ  
ТЕХНОЛОГИЙ (ИКТ)**

*Проблема формирования профессиональных компетенций в сфере ИКТ рассматривается с позиций создания потенциала конкурентоспособности специалистов. Для реализации системного подхода к ее решению разработана структура основных направлений профессиональной деятельности, что позволяет вводить их весомости (количественные характеристики важностей) в зависимости от конкретных условий работы. Уточняется содержание основных определений, которые рекомендуется использовать при формировании системного понятийного аппарата специалистов в сфере ИКТ.*

**Ключевые слова:** конкурентоспособность; профессиональные компетенции; уровни конкурентоспособности; направления образования в области ИКТ.

*The problem of forming of professional competencies in the sphere of ICT is examined from positions of creation of potential of competitiveness of specialists. For realization of approach of the systems to its decision the structure of basic directions to professional activity is developed, that allows to enter their weights (quantitative descriptions of importances) depending on the concrete terms of work. Maintenance of basic definitions, which it is recommended to use for forming of system concept vehicle of specialists in the sphere of ICT is specified.*

**Keywords:** competitiveness; professional competencies; levels of competitiveness; directions of education in the field of ICT.

**ВВЕДЕНИЕ**

Не вызывает сомнений, что важнейшей характеристикой специалиста является уровень его профессиональной компетенции, позволяющий выполнять работы по созданию и внедрению инноваций, включая процессы освоения уже имеющихся разработок, пригодных для использования в соответствующей профессиональной сфере. Овладение профессиональными компетенциями сопряжено с освоением определенного уровня знаний, умений и приобретением опыта практической работы, что можно отнести к образовательным процессам. При реализации образовательных процессов в специальных образовательных учреждениях возникает проблема построения учебных планов таким образом, чтобы у выпускников достигался уровень компетенций, достаточный для востребованности на рынке труда соответствующей профессиональной сферы.

Таким образом, основным критерием уровня профессиональной компетенции специалиста должна служить конкурентоспособность, под которой понимается его способность удовлетворять свои личные потребности за счёт деятельности в профессиональной сфере в условиях конкуренции с другими претендентами за предложения рынка труда по выполнению тех или иных видов работ на создание и внедрение инноваций.

Ясно, что оценивание пригодности для деятельности в конкретной бизнес-структуре некоторого специалиста является прерогативой этой структуры, которая для этого может использовать собственные акценты, например, отдавать преимущества личностным качествам перед умениями выполнять конкретные процедуры из профессиональной сферы деятельности.

Поэтому, ввиду невозможности предусмотреть все нюансы будущей работы выпускника, в задачу учебного заведения следует поставить необходимость создания потенциала для выполнения требований рынка труда. Иными словами, необходимо руководствоваться некоторой моделью формирования профессиональных компетенций.

В настоящее время имеется достаточно много работ, в которых рассматривается актуальная проблема разработки таких моделей. Не вдаваясь в подробности, всё же отметим, что большинство из предлагаемых моделей компетенций содержит достаточно полный перечень характеристик специалиста, которые оцениваются на рынке труда при приёме на работу, включая личностные качества. Вместе с тем, эти модели, исключая рекомендуемый при обучении в течение определённого времени перечень учебных дисциплин (учебный план), как правило, почти не содержат обоснованных рекомендаций по методологии реализации учебного процесса, включая его акцентирование в соответствии с требованиями рынка труда.

Выполнение инновационной образовательной программы «Наукоемкие технологии. Качество образования. Здоровьесбережение» стимулировало в Белгородском государственном университете (БелГУ) поиск современных подходов к формированию профессиональных компетенций в области ИКТ выпускников факультета компьютерных наук и телекоммуникаций (КНиТ). В работе [1] были изложены некоторые результаты разработки кластерного подхода к формированию профессиональных компетенций на основе моделирования в учебном процессе командной работы специалистов при выполнении комплексных проектов в области ИКТ по заданиям внешних бизнес-партнёров, и описан механизм реализации такого взаимодействия.

Целью данной статьи является разработка системного подхода к формированию профессиональных компетенций в области ИКТ (ИКТ-компетенций), включая уточнение смысла этого понятия, классификацию требований к уровню ИКТ-компетенций и способ формирования требований к содержанию дисциплин учебного плана.

## **1 ПРОФЕССИОНАЛЬНЫЕ КОМПЕТЕНЦИИ СПЕЦИАЛИСТОВ КАК ФАКТОР ИХ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ**

Профессиональная компетенция специалиста – это то, что определяет на рынке труда его конкурентоспособность, которая зависит от степени владения следующими инструментами:

- инструменты поиска партнёров и взаимодействия с ними для создания и внедрения инноваций, включая их потребителей (инструментарий организатора создания и внедрения инноваций);
- инструменты анализа состояния и прогнозирования развития рынка продукции предметной области и разработки на этой основе обоснованных предложений по созданию и внедрению инноваций (инструментарий постановщика задач);
- научные основы и принципы создания продукции в соответствующей предметной области (фундаментальный интеллектуальный инструментарий);
- способы и умения использования фундаментального интеллектуального инструментария при создании продукции в предметной области (прикладной интеллектуальный инструментарий);
- навыки, полученные в результате систематизации опыта создания продукции в предметной области (прикладной инструментарий реализации фундаментальных и прикладных знаний).

В зависимости от масштабов востребованности тех или иных граней деятельности в профессиональной сфере можно выделить следующие уровни конкурентоспособности и соответствующие ниши рынка труда:

1. Глобальный уровень конкурентоспособности – специалист, владеющий инструментарием организатора создания и внедрения инноваций и умеющий находить партнёров и взаимодействовать с ними для создания и внедрения инноваций, включая их потребителей.

Следует отметить, что степень успешности такой деятельности специалиста, прежде всего, зависит от того, насколько гармонично он владеет следующими инструментами:

- анализ состояния и прогноз развития рынка продукции предметной области и разработка на этой основе обоснованных предложений по созданию и внедрению инноваций (инструментарий постановщика задач как для потребителя инноваций, так и для создаваемой команды специалистов);
- навыки, полученные в результате систематизации опыта создания продукции в предметной области (прикладной инструментарий, позволяющий обоснованно спланировать ход создания и реализацию инноваций);
- способы и умения использования фундаментальных основ технологий создания продукции в предметной области (прикладной интеллектуальный инструментарий);
- знания научных основ и принципов создания продукции в соответствующей предметной области (фундаментальный интеллектуальный инструментарий, позволяющий осуществлять заказ на получение командой исполнителей новых знаний).

2. Конкурентоспособность на уровне исполнителя, владеющего знаниями, умениями и навыками реализации конкретных процедур деятельности при создании продукции в профессиональной сфере.

3. Конкурентоспособность на уровне постановщика профессиональных задач специалистам по созданию и внедрению инноваций в предметной области.

4. Уровень теоретика-специалиста по научным основам и принципам создания инноваций в предметной области.

## **2 СИСТЕМНЫЕ ПРИНЦИПЫ ФОРМИРОВАНИЯ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ КОМПЕТЕНЦИЙ ИКТ-СПЕЦИАЛИСТОВ**

### **2.1 Методологические (фундаментальные) аспекты профессиональной сферы ИКТ**

В процессе обучения специалистов по ИКТ необходимо обеспечить целостность идеологической основы их профессиональной деятельности, особенно с точки зрения обеспечения командных действий при создании и внедрении инноваций. Для достижения такой целостности целесообразно на идейно-теоретическом уровне разъяснить и проиллюстрировать с помощью примеров практической реализации ИКТ и элементов процедур их разработки следующие фундаментальные основы профессиональной компетенции специалистов.

1. Профессиональная сфера разработки и внедрения ИКТ возникла и развивается в соответствии с общественными потребностями в обеспечении условий для эффективного информационного обмена, в том числе в глобальных масштабах всего человечества. В процессе обучения специалистов предлагается использовать следующие предложения:

- целостность профессиональной сферы ИКТ основывается на платформе понятия «Информация», под которой целесообразно иметь в виду приращение знаний о некотором объекте, достаточное для решения стоящей перед пользователем задачи;
- знания – это совокупность сведений об объекте, позволяющая прогнозировать его поведение под влиянием оказываемых на него специальным образом организованных воздействий;
- знания оформляются (фиксируются) в виде моделей, то есть описаний объектов, полнота которых достаточна для решения поставленной задачи;
- описания реализуются с помощью кодов (некоторых информационных конструкций), воспроизводимых либо в виде комбинаций звуков (например, речь), либо в виде комбинаций зрительных образов (изображений), воспринимаемых органами чувств (слух и зрение) и декодируемых (сопоставляемых с реальными предметами) в результате мыслительной деятельности.

2. Коммуникация – это процесс обмена информацией между источником и получателем сообщения. Целесообразно выделить следующие аспекты:

- платформой для целостного восприятия проблемы реализации коммуникаций служит концепция каналов передачи сообщений, то есть некоторых сред, используемых для осуществления обмена информацией;
- в качестве каналов передачи целесообразно рассматривать среды, подчиняющиеся физическим законам неживой природы;
- только специальным образом организованные каналы передачи, включая созданные искусственно, позволяют осуществить коммуникацию в глобальном масштабе;
- передача информации в специально организованных каналах реализуется с помощью так называемых сигналов, то есть функций времени, параметры которых используются для кодирования сообщений.

3. Технология – это последовательность действий над некоторой субстанцией, выполнение которых позволяет достичь желаемого эффекта. В контексте профессиональной сферы ИКТ целесообразно выделить следующее:

- приведенное выше определение является платформой, обуславливающей целостность представлений о деятельности специалистов из любой профессиональной сферы по созданию и внедрению инноваций;
- информационно-коммуникационная технология представляет собой совокупность действий (преобразований) над первичными информационными конструкциями (первичными моделями знаний) с целью осуществления коммуникации между источником и получателем информации;
- основными аспектами создания и внедрения ИКТ являются: сбор, обработка, хранение, передача и защита информации;
- реализация ИКТ осуществляется с применением специально создаваемых аппаратных средств, функционирующих согласно задаваемым человеком программам (технические средства ИКТ);
- совокупности специальным образом организованных аппаратно-программных средств, предназначенных для сбора, обработки, хранения, передачи и выдачи информации в удобном для пользователя виде, называется информационно-телекоммуникационными системами (ИТС);
- способы преобразований первичных информационных конструкций и соответствующие технические средства ИКТ синтезируются на основе некоторых принципов, содержательно отражающих представление об эффективности информационного обмена;
- для формулировки указанных выше принципов целесообразно использовать математические модели, описывающие физические процессы при первичном кодировании сообщений и их восприятии органами чувств человека, а также физические законы функционирования сред каналов передачи.

4. Разработка и внедрение технологий информационного обмена занимает в профессиональной деятельности специалистов по ИКТ центральное место. Именно это обстоятельство обеспечивает целостность представлений о характере деятельности специалистов в области ИКТ. В связи с этим следует отметить следующие моменты:

- проблема создания ИКТ является многоаспектной: теоретические разработки; алгоритмы преобразований первичных информационных конструкций; разработка и реализация аппаратно-программной поддержки, включая организацию каналов передачи (ИТС) и т.д.
- в связи с этим в общей профессиональной сфере деятельности специалистов по ИКТ выделяются направления, которые преимущественно акцентируются на отдельных аспектах создания и внедрения ИКТ;
- основными направлениями деятельности являются: разработка и внедрение математического и программно-алгоритмического обеспечения процедур обработки при сборе, хранении, передаче и выдаче информации в ИТС; разработка и внедрение технических средств ИТС, включая каналы передачи;

– в настоящее время объединяющей платформой всех ИКТ служат позволяющие реализовать сложные методы преобразования информации (синтеза и анализа данных, включая сигналы) компьютерные технологии, применение которых позволило существенно повысить эффективность процессов информационного обмена.

5. Основной принцип построения компьютерных средств обработки данных (компьютерных технологий) заключается в кодировании информации с помощью изменений состояний технических средств, что адекватно задаче обеспечения информационного обмена. Необходимо выделить следующие аспекты:

– смена состояний технических средств осуществляется под управлением машинных команд, последовательности которых называются программами, описываемыми с помощью специальных искусственно созданных языков программирования;

– последовательности смен состояний моделируют необходимые процессы обработки данных, включая вычислительные процессы, процедуры хранения, отображения и выдачи информации, в соответствии с чем и интерпретируются результаты их выполнения;

– дискретность представления данных в компьютерах приводит к необходимости дискретизации процессов информационного обмена, включая дискретизацию по времени и уровням значений параметров физических процессов, возникающих при воздействии источника информации;

– каналы передачи информации в современных ИТС позволяют передать только непрерывные во времени физические сигналы электрической природы, что приводит к необходимости преобразовывать с помощью специальных технических средств результаты компьютерных действий в соответствующую форму;

– при дискретизации информационных сообщений и дальнейшем преобразовании результатов их компьютерной обработки в непрерывные сигналы возникают искажения первоначальной информации, так что необходимо использовать специальные приёмы обработки, позволяющие обеспечить уровни искажений, допустимые с позиций качества информационного обмена.

## **2.2 Системные методические основы реализации образовательных процессов**

Процессы формирования профессиональных компетенций реализуются в виде изучения отдельных дисциплин учебных планов, которые отражают основные акценты деятельности специалистов при создании и внедрении ИКТ, осуществляемой с помощью средств компьютерных технологий. При этом необходимо иметь в виду следующее.

1. Содержания дисциплин учебных планов должны обеспечить возможности создания потенциалов для:

– анализа потребностей рынка труда в области ИКТ, включая возможности воздействий на него на основе учёта общественных потребностей в повышении эффективности информационного обмена (создание новых направлений развития ИКТ);

- осуществления теоретических разработок в области ИКТ в соответствии с выбранной специальностью (направлением создания и внедрения инноваций на основе математического и программно-алгоритмического обеспечения либо преимущественно технических средств);
  - осуществления прикладных разработок по использованию имеющихся средств ИКТ (масштабирование).
2. Содержание материала каждой учебной дисциплины должно позволять:
- отразить целостность осваиваемых аспектов в контексте целостности осваиваемой специальности в области ИКТ;
  - актуальность изучаемого материала с позиций создания и внедрения инноваций, повышающих эффективность процессов сбора, обработки, хранения, передачи и выдачи информации (информационных процессов).
3. При освоении материала дисциплины должен создаваться потенциал для:
- теоретических разработок при создании и внедрении инноваций по тематике дисциплины, включая использование в необходимых случаях методов компьютерного моделирования и системного анализа;
  - формирования заданий на создание и внедрение инноваций по тематике дисциплины и организационных мероприятий по их выполнению;
  - оценивания изменений эффективности информационных процессов при использовании планируемых или выполненных разработок;
  - освоения навыков и приёмов практической реализации комплексных разработок в составе профессиональной группы или команды.
4. Основой методики преподавания дисциплин, освоение материала которых способствует формированию ядра профессиональной компетенции, должны служить процедуры выполнения в течение срока их изучения группой студентов соответствующих целостных комплексных ситуационных заданий, предусматривающие реализацию всех аспектов создания и внедрения инноваций в сфере ИКТ:
- материал лекций должен излагаться в рамках разъяснения побудительных причин для разработки инноваций и освоения инструментов, позволяющих её осуществить, включая теоретические основы и технологические приёмы;
  - навыки использования инструментов осваиваются в процессе выполнения ситуационных заданий на практических (лабораторных) занятиях при изучении материала дисциплины;
  - выполнение курсовых работ (проектов) должно также отвечать схеме деятельности на рынке труда при создании и внедрении инноваций в области ИКТ: анализ общественных потребностей в повышении эффективности информационных процессов за счёт разрабатываемой инновации; формулировка постановки задачи в терминах профессиональной сферы ИКТ и разработка плана её решения, включая теоретические и проектные инструменты; выполнение разработки и оценка эффективности её использования при реализации информационных процессов как на теоретическом уровне, так и экспериментально, в том числе на основе компьютерного моделирования.
5. Задания на прохождение производственных практик целесообразно формировать по принципу комплексных ситуационных заданий для группы студентов, причём целесообразно создавать команды из представителей различных смежных специальностей в области ИКТ.

### **2.3 Система направлений образования в области ИКТ**

Направления образования в области ИКТ должны отражать основные акценты в профессиональной деятельности специалистов при создании и внедрении инноваций в этой сфере. Несмотря на некоторые различия в акцентах деятельности отдельных профессиональных групп ИКТ-специалистов, в их профессиональных компетенциях можно выделить следующие взаимодополняющие (взаимосвязанные) аспекты деятельности при создании и реализации ИКТ, которые необходимо учитывать при формировании учебных планов.

1. Разработка собственно компьютерных технологий как инструмента для решения задач предметных областей, куда следует включить:
  - технические средства компьютерных технологий;
  - математическое и программное обеспечение компьютерных систем обработки информации.
2. Разработка и внедрение технологий сбора, хранения, обработки, передачи и выдачи информации в локальных компьютерных сетях:
  - технические средства создания локальных компьютерных сетей;
  - математическое и программное обеспечение информационных систем на основе локальных компьютерных сетей.
3. Разработка и внедрение технологий сбора, хранения, обработки, передачи и выдачи информации в информационно-телекоммуникационных системах (ИТС), включая глобальные компьютерные сети:
  - технические средства ИТС;
  - математическое и программное обеспечение ИТС, включая обработку сигналов в каналах передачи на основе компьютерных технологий.
4. Применение компьютерных технологий для автоматизации управления технологическими процессами и организационного управления:
  - технические средства автоматизации управления;
  - математическое и программное обеспечение реализации информационных процессов и автоматизированных управляющих систем.

### **2.4 Системная структура содержания дисциплин формирования профессиональных компетенций**

Сложившая к настоящему времени совокупность направлений (специальностей) образования в области ИКТ детализирует выделенные выше укрупнённые направления профессиональной деятельности в этой сфере. При этом в учебные планы включаются дисциплины, освоение которых акцентирует профессиональные компетенции выпускников на более узких секторах деятельности. Вместе с тем, как легко показать, даже деятельность в рамках укрупнённых направлений не исключает, а скорее сопряжена с необходимостью взаимодействий со специалистами, акцентированными на преимущественную деятельность в рамках иных направлений. В связи с этим дисциплины учебных планов различных специальностей и направлений образования должны обеспечить потенциал для реализации командной работы при создании и внедрении инноваций всех специалистов в области ИКТ.

Таким образом, при формулировании требований к содержанию той или иной дисциплины учебного плана целесообразно руководствоваться следующими соображениями.

1. Содержание дисциплины должно в той или иной мере отражать все направления деятельности специалиста ИКТ, то есть сбор, хранение, обработка, передача и выдача в удобном для пользователя виде информации в ИТС:

- разделы, содержание которых отражает основные аспекты собственно компьютерных технологий, которые служат платформой, обеспечивающей целостное представление о современной сфере ИКТ и областью пересечения профессиональных компетенций специалистов их разных направлений деятельности в области ИКТ;

- разделы, содержание которых отражает проблемы создания информационных хранилищ, включая распределенные базы данных.

- разделы, содержание которых отражает проблемы обеспечения информационной безопасности;

- разделы, содержание которых отражает проблемы передачи информации в ИТС.

2. Кроме того, в процессе изучения дисциплины должен в той или иной мере создаваться потенциал для:

- осуществления анализа потребностей рынка труда в секторе преимущественной деятельности выпускника, включая возможности воздействий на него на основе учёта общественных потребностей в повышении эффективности соответствующих ИКТ (создание новых направлений развития ИКТ);

- осуществления теоретических разработок ИКТ в соответствии с выбранной специальностью (направлением образования);

- осуществления прикладных разработок по использованию имеющихся средств ИКТ (масштабирование) в секторе преимущественной деятельности выпускника.

Отметим, что различные дисциплины с разной полнотой отражают указанные аспекты. Принцип заключается в том, чтобы обеспечить целостность профессиональной подготовки, чтобы избежать фрагментарности в освоении материала дисциплин учебного плана.

Изложенный выше подход был применён в БелГУ для анализа содержания дисциплин учебного плана четырёх специальностей факультета КНиТ. Кроме того, были разработаны тесты проверки уровней профессиональных компетенций в описанных выше направлениях подготовки ИКТ-специалистов. Формулировка вопросов для государственных экзаменов также базировалась на анализе уровня подготовки в рамках этих направлений. Кроме того, один из вопросов экзаменационного билета затрагивал аспекты организационной деятельности на рынке создания и внедрения инноваций в профессиональной сфере в следующей обобщённой формулировке. Охарактеризуйте тему Вашей дипломной работы со следующих позиций:

- актуальность в свете тенденций современного развития информационно-коммуникационных технологий, включая анализ конкурентоспособности имеющихся предложений;

- перечислите сегменты рынка, заинтересованные в разрабатываемой Вами продукции;

- обоснуйте методы достижения цели и инструментальные платформы их реализации.

Полученный нами опыт свидетельствует о целесообразности использования описанного в статье подхода к формированию профессиональных компетенций ИКТ-специалистов. Его преимущества обусловлены использованием системного принципа формирования общих требований ко всем дисциплинам учебного плана, что и обеспечивает целостность (системность) профессиональной подготовки.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Давыденко Т.М., Жиляков Е.Г. О кластерном подходе к формированию профессиональных компетенций // Высшее образование в России. – 2008. – №7. – С. 69 – 75.

### **Жиляков Евгений Георгиевич**

Белгородский государственный университет  
Доктор технических наук, профессор  
Заведующий кафедрой информационно-телекоммуникационных систем и технологий  
Россия, 308015, г. Белгород, ул. Победы, 85  
Тел.: (4722)30-13-58,30-13-92  
E-mail: zhilyakov@bsu.edu.ru

### **Белов Сергей Павлович**

Белгородский государственный университет  
Кандидат технических наук, старший научный сотрудник  
Декан факультета компьютерных наук и телекоммуникаций  
Россия, 308015, г. Белгород, ул. Победы, 85  
Тел.: (4722)30-13-50  
E-mail: belov@bsu.edu.ru

### **Девыцына Светлана Николаевна**

Белгородский государственный университет  
Кандидат технических наук  
Доцент кафедры информационно-телекоммуникационных систем и технологий  
Россия, 308015, г. Белгород, ул. Победы, 85  
Тел.: (4722)30-13-54  
E-mail: devitsyna@bsu.edu.ru

### **Игрунова Светлана Васильевна**

Белгородский государственный университет  
Кандидат социологических наук, доцент кафедры прикладной информатики  
Россия, 308015, г. Белгород, ул. Победы, 85  
Тел.: (4722)30-20-16,30-13-61  
E-mail: igrunova@bsu.edu.ru

### **Путивцева Наталья Павловна**

Белгородский государственный университет  
Старший преподаватель кафедры прикладной информатики  
Россия, 308015, г. Белгород, ул. Победы, 85  
Тел.: (4722)30-13-61  
E-mail: putivzeva@bsu.edu.ru

УДК 025.4.03;002.53:004.65

О.А. КАРАТАЕВ, А.Н. КОВЫЛИН

## ТЕХНОЛОГИЯ РАЗРАБОТКИ СИСТЕМЫ УЧЕТА ДОКУМЕНТООБОРОТА

В статье рассмотрена проблема организации документооборота на предприятии на новом технологическом уровне с помощью современного программного модуля. Произведено исследование аспектов потоков информации и ее форм на предприятии, и на этой основе представлен вариант универсальной программы учета корреспонденции различного формата. На основе детального анализа спроектирована функциональная схема деятельности по учету корреспонденции в стандарте IDEFx в трех уровнях. Для анализа временных характеристик бизнес-процесса использована программа для поиска маршрутов в сети Петри на основе теории инвариантов сетей Петри. Программа учета документооборота имеет большое практическое значение: легко может быть освоена любыми пользователями, всегда может быть дополнена и расширена новыми необходимыми блоками и готова к использованию прямо сейчас на любых предприятиях.

**Ключевые слова:** документооборот; функциональная схема деятельности; контроль корреспонденции; сети Петри; программный модуль; функциональный бизнес-процесс; 1С: «Предприятие 8».

*The paper deals with the problem of documentation in the company on a new technological level with the help of modern software module. Produced a study of the flow of information and forms in the enterprise, and on this basis, a variant of a universal correspondence of various formats. Based on detailed analysis of the functional pattern of activity designed to address the correspondence in the standard IDEFx in three levels. To analyze the temporal characteristics of the business process used by the program to search for paths in Petri nets based on the theory of invariants of Petri nets. The program of documentation is of great practical significance: is convenient and can be easily mastered by any user, can always be supplemented and expanded with new units required and ready to use right now to any business.*

**Keywords:** correspondence control; workflow; functional diagram of Petri nets; software; functional business process; 1С: «Enterprise 8».

В процессе деятельности организации офис-менеджер или кадровый работник сталкивается с проблемой учета и контроля корреспонденции. Как правило, во многих организационных структурах документооборот ведется до сих пор только на бумажных носителях (в амбарных книгах), что в свою очередь создает массу трудностей в обработке и анализе такого плана информации.

При этом не все аспекты деятельности предприятий описываются такими документами, как «Приказ» или «Договор». Есть и другие составляющие, которые нельзя охарактеризовать как документ, например, телефонные звонки или события. В современных кризисных условиях нельзя ограничиться работой в электронной форме только с формальными документами или по четко сформулированным схемам.

Для технически оптимальной организации документооборота на предприятиях на новом технологическом уровне необходим специальный программный модуль, позволяющий осуществлять ряд операций:

- регистрация входящих и исходящих документов;
- регистрация любого количества резолюций на документы и назначение ответственных исполнителей по ним;
- формирование списков документов с обозначенными сроками контроля;
- другие в зависимости от специфики деятельности предприятия.

Основная цель разработки программного модуля учета документооборота в организациях – это исследование аспектов потоков информации и разработка универсальной программы для автоматизации документооборота (делопроизводства) на предприятии.

На основе детального анализа спроектирована функциональная схема деятельности по учету корреспонденции в стандарте IDEFx. На рисунке 1 представлена диаграмма первого уровня «Управление корреспонденцией», на которой показаны основные входные и выходные данные, а также управляющие механизмы документооборота.

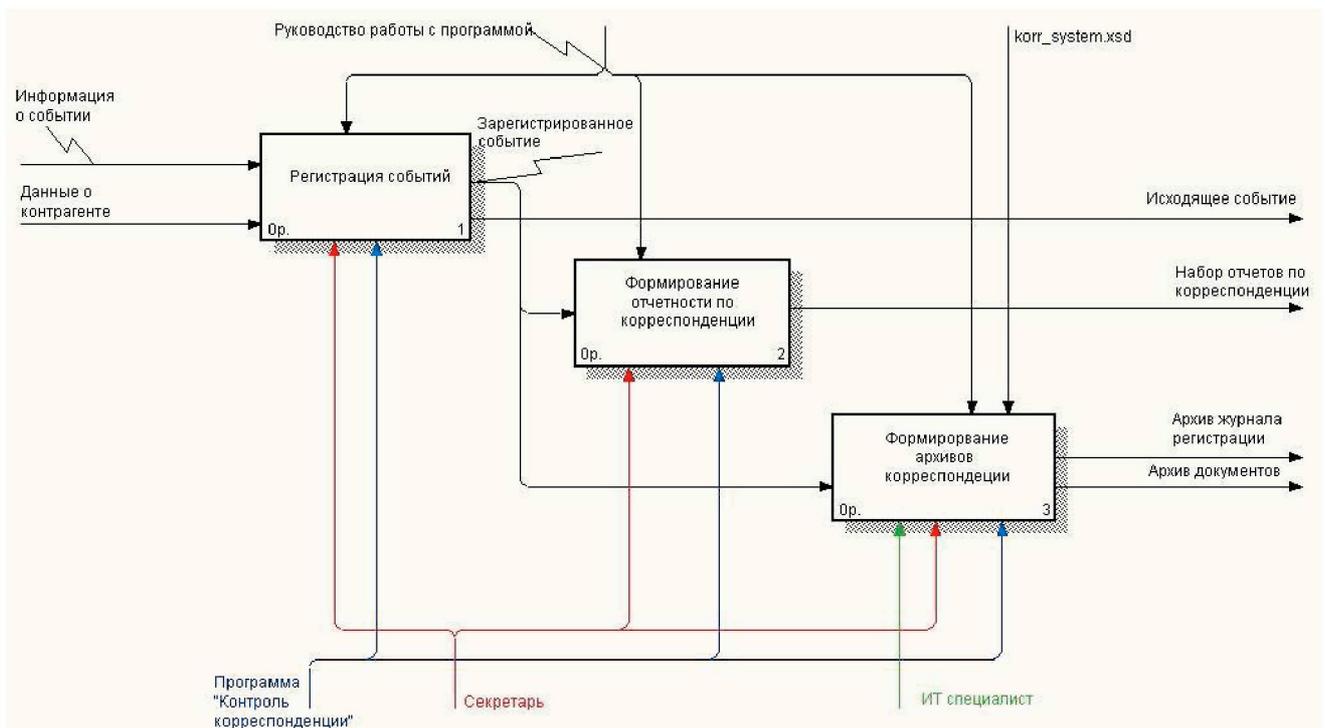


Рисунок 1 – Диаграмма первого уровня «Управление корреспонденцией»

Первый функциональный бизнес-процесс управления корреспонденцией «Регистрация событий», который характеризует всю деятельность, связанную с обработкой входящих и исходящих событий. Входными данными являются: информация о событии и данные о контрагенте, от которого пришла или которому нужно отправить информацию. Основным результатом этого процесса является регистрация факта события. На рисунке 2 представлена декомпозиция этого процесса.

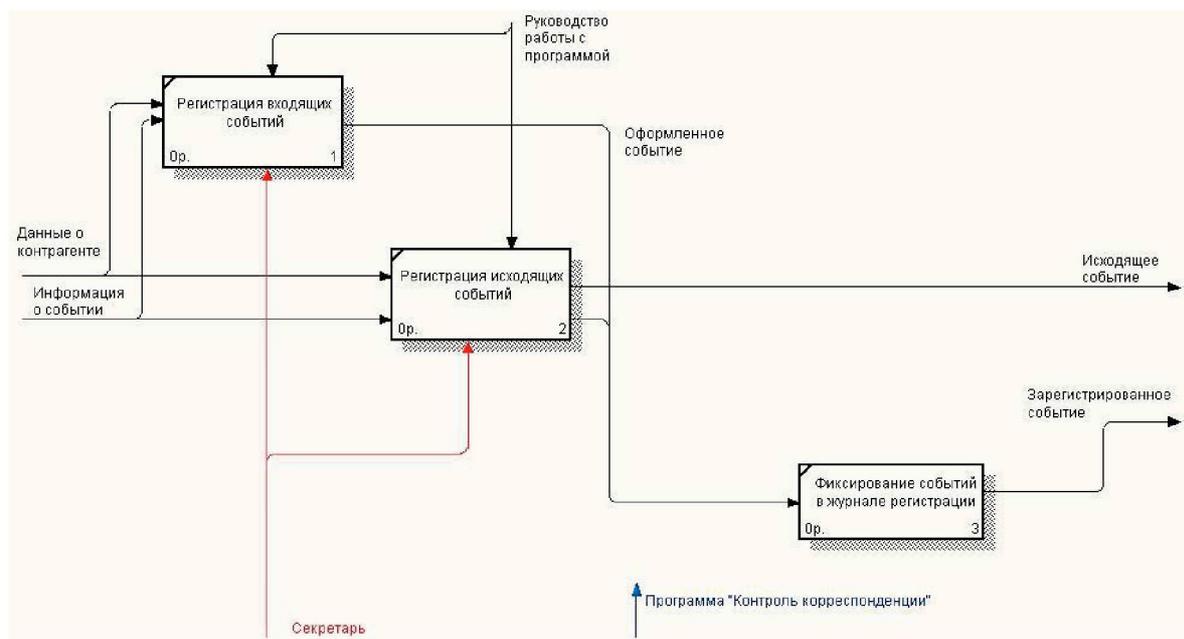


Рисунок 2 – Диаграмма второго уровня «Регистрация событий»

Второй функциональный бизнес-процесс управления корреспонденцией «Формирование отчетности по корреспонденции», в котором осуществляется формирование множества различных отчетов, связанных с зарегистрированными событиями (реестр заказной почты, конверты, уведомления, открытки, статистика событий). Соответственно на выходе получается набор различных отчетов.

Третий функциональный бизнес-процесс управления корреспонденцией «Формирование архивов корреспонденции», который позволяет делать свертку данных в архив, а также формировать архив журнала регистрации действий пользователя системы.

Алгоритм «Регистрация факта исходящего события» представлен на рисунке 3, где результатом служит сформированное исходящее событие. Входящее событие обрабатывается аналогичным образом.

На первом шаге определяется новое или старое исходящее событие. В случае, если событие новое, то происходит дальнейшее уточнение его параметров: тип, наименование, ответственный за событие.

На втором шаге определяется, требуется ли поставить событие на контроль и, если ответ утвердительный, то происходит фиксация этого факта.

На третьем шаге осуществляется автофиксация в журнале регистрации всех действий пользователя с данным событием и запись документа.

Для разработки программного модуля выбрана система на базе 1С: «Предприятие 8». Основные ее преимущества заключаются в широкой распространенности и возможностях платформы:

- доступности технического сервиса;
- более низкой стоимости внедрения при сопоставимом качестве.

При исследовании названной проблемы выбран принцип максимального приближения к нуждам конечных пользователей и поставлена задача сделать работу в

программе, доступной всем: от рядовых сотрудников до высшего менеджмента. Это в итоге позволило сделать продукт доступным для использования на отдельном рабочем месте и в целом в крупных организациях.

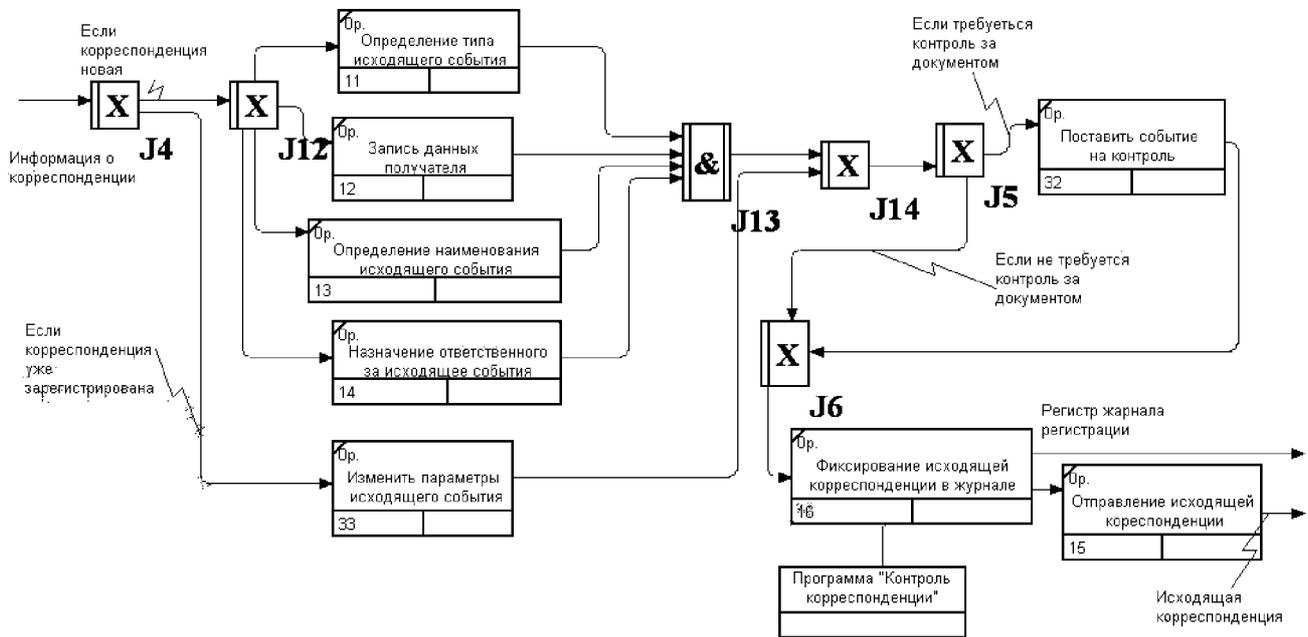


Рисунок 3 – Алгоритм формирования исходящего события

Для того чтобы проанализировать временные характеристики бизнес-процесса, нами была разработана программа для поиска маршрутов в сети Петри на основе теории инвариантов сетей Петри (рисунок 4). В соответствии с определением инвариантом позиции сети  $N$  называется ненулевой вектор  $U = [u_1, u_2, \dots, u_n]$ , обладающий свойством  $U \cdot V = 0$ , или:

$$\sum_{i \in S} V_i = 0, \tag{1}$$

где  $S$  – множество индексов вектора  $U$ , таких, что  $u_i = 1$ .

Таким образом, инвариант позиций сети  $N$  в нашей постановке, (т.е. вектора  $U$ ) определяется множеством индексов  $S$ , удовлетворяющих условию (1). Инвариантов позиции  $U$  и соответствующих множеств  $S$  может быть несколько, поэтому в дальнейшем мы будем их обозначать  $U_k$  и  $S_k$ , где  $k$  – номер инварианта.

Смысл инвариантов позиций заключается в том, что сумма фишек во всех позициях  $p_i, i \in S_k$  остается постоянной при срабатывании переходов, связанных с указанными позициями, и равной начальной маркировке  $M_0$ . Поскольку в нашем случае фишка в начальной маркировке всего одна, то при работе сети эта фишка последовательно пройдет все множество позиций, входящих в данный инвариант. Таким образом, инвариант позиций определяет один из возможных путей выполнения операций в алгоритме. Рассмотрев все инварианты позиций данной сети и соответствующие множества  $S_k, k = 1, 2, \dots$ , можно выделить те из них, которые не содержат индексов позиций, общих с другими множествами.

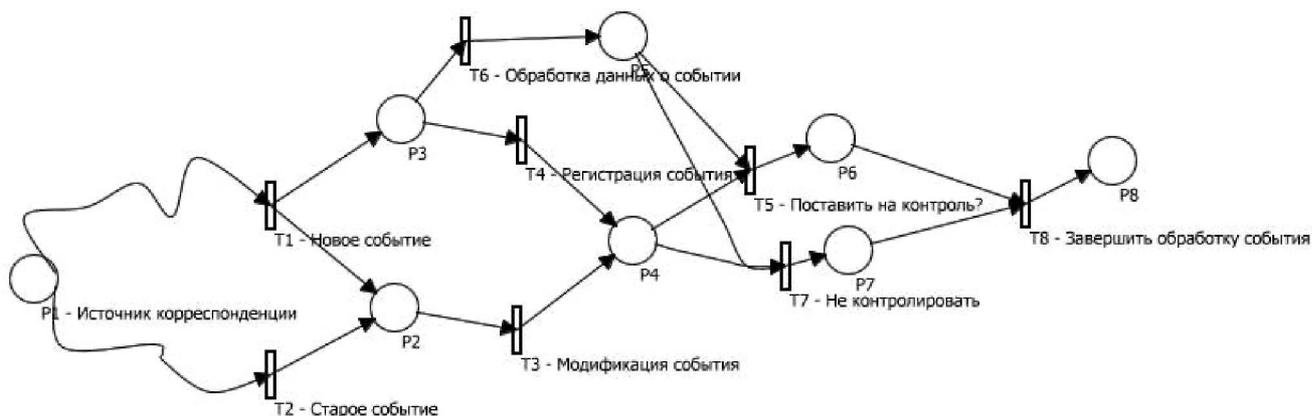


Рисунок 4 – Сеть Петри «Обработка события»

В итоге можно отметить следующие правила выделения маршрутов в модели бизнес-процесса.

1. Для данного алгоритма составляется сеть Петри, в которой переходы моделируют операции, а позиции – наличие необходимых данных для выполнения операций (операндов). Сеть должна быть безопасной, т.е. иметь кратность дуг не больше 1 и иметь маркировку всех узлов также не больше 1.
2. Для сети Петри, моделирующей заданный алгоритм, составляются матрицы  $F^p$ ,  $F^t$  и  $V = (F^t)^T - F^p$ .
3. Определяются все инварианты позиций  $U_k$  и соответствующие множества индексов позиций  $S_k, k = 1, 2, \dots$ . Каждое такое множество определяет один из возможных путей реализации алгоритма.
4. Во всех множествах  $S_k$  описываются несовпадающие подмножества индексов, которые указывают на ветви алгоритма, допускающие маршрутизацию параллельно.

В качестве экспериментальных данных анализируется журнал событий, тип события и среднее время его обработки. Формируется выгрузка метаданных 1С:Предприятия 8, которые выбираются пользователем, осуществляется подсчет временного срабатывания отдельного экземпляра на каждом переходе Сети. Моделируется множество срабатываний сети. Основной результат представлен в таблице 1.

С экономической точки зрения выгода для предприятия, уже использующего продукты на базе 1С:Предприятие 8, состоит в том, что не нужно отдельно осуществлять покупку самой платформы.

Платформа позволяет организовать работу в файл-серверном и в клиент-серверном варианте.

Файл-серверный вариант характеризуется простотой в установке и обслуживании.

В клиент-серверном варианте информационная база хранится на SQL сервере, что позволяет обеспечить безопасность в системе и работать с большими массивами данных.

Конфигурация учета корреспонденции поставляется с исходными текстами модулей, что позволяет вносить в нее изменения, учитывающие специфику работы конкретной организации.

Таблица 1 – Анализ временных затрат прохождения маршрутов событиями

<b>Событие</b>	<b>Количество</b>	<b>Временные затраты, мин.</b>
Телефонный звонок входящий	932	7,2
Телефонный звонок исходящий	123	5,6
E-mail входящий	110	5,3
E-mail отправленный	120	10,4
Документ принятый	15	10
Документ отправленный	17	200

Функции разработанного программного модуля:

- регистрация входящей, исходящей и внутренней корреспонденции (письма, телефонограммы, служебные записки и т.д.);
- по каждому документу ведется автоматическая нумерация, фиксируется маршрут прохождения по организациям, отделам и должностным лицам, поручения и сроки исполнения (рисунок 5);
- хранение документов в электронном виде: файлы любого формата (MS Word, MS Excel, сканированные тексты или изображения) с сохранением истории изменений;
- реализация возможности ведения учета нескольких организаций в единой информационной базе. Организации могут использовать общие списки корреспондентов, должностных лиц и т.д.;
- полный контроль исполнения поручений. Контролируются поручения сотрудников организации, поручения, полученные от вышестоящих организаций и выданные должностным лицам нижестоящих организаций;
- оперативное информирование руководства о состоянии исполнения конкретных поручений, а также загруженности и исполнительской дисциплине сотрудников организации;
- подборка всех документов по определенным запросам пользователя;
- быстрый поиск документов по любой комбинации признаков (по контрагенту, населенному пункту, содержанию, ответственному за событие и т.д.);
- формирование разнообразных отчетов: ведомость событий, статистика корреспонденции, конверты, уведомления, реестры почты, открытки (рисунки 6, 7);
- возможность интерактивного формирования макетов для печати конвертов, уведомлений;
- возможность свертки данных за период в XML формате на базе XSD схемы;
- возможность настройки программы под любую специфику организации.

Преимущества разработанного программного модуля.

1. Оптимизация потока документов.
2. Уменьшение количества ошибок, неисполненных заданий.

3. Увеличение производительности труда управленческого персонала.

Контрольные функции программы позволяют существенно повысить трудовую дисциплину, оценить степень загруженности сотрудников.

В программе реализована удобная и информативная справочная информация в виде «Советы по конфигурации «Контроль корреспонденции», которая позволит найти ответы на наиболее часто задаваемые вопросы (рисунок 8).

Доступность документов и информации в системе позволяет переложить на программу те функции, которые раньше мог выполнить только человек – например, обучение нового сотрудника, помощь при начале работы в новой должности, на новом рабочем месте. Архивные функции программы, хранение всех документов в одном месте дает мобильность и уверенность в доступности и сохранности всех документов.

Разработанный программный модуль является готовым решением для ведения учета корреспонденции на предприятиях любого масштаба деятельности, что позволяет предприятиям перейти на новый технологический уровень информационного обеспечения.

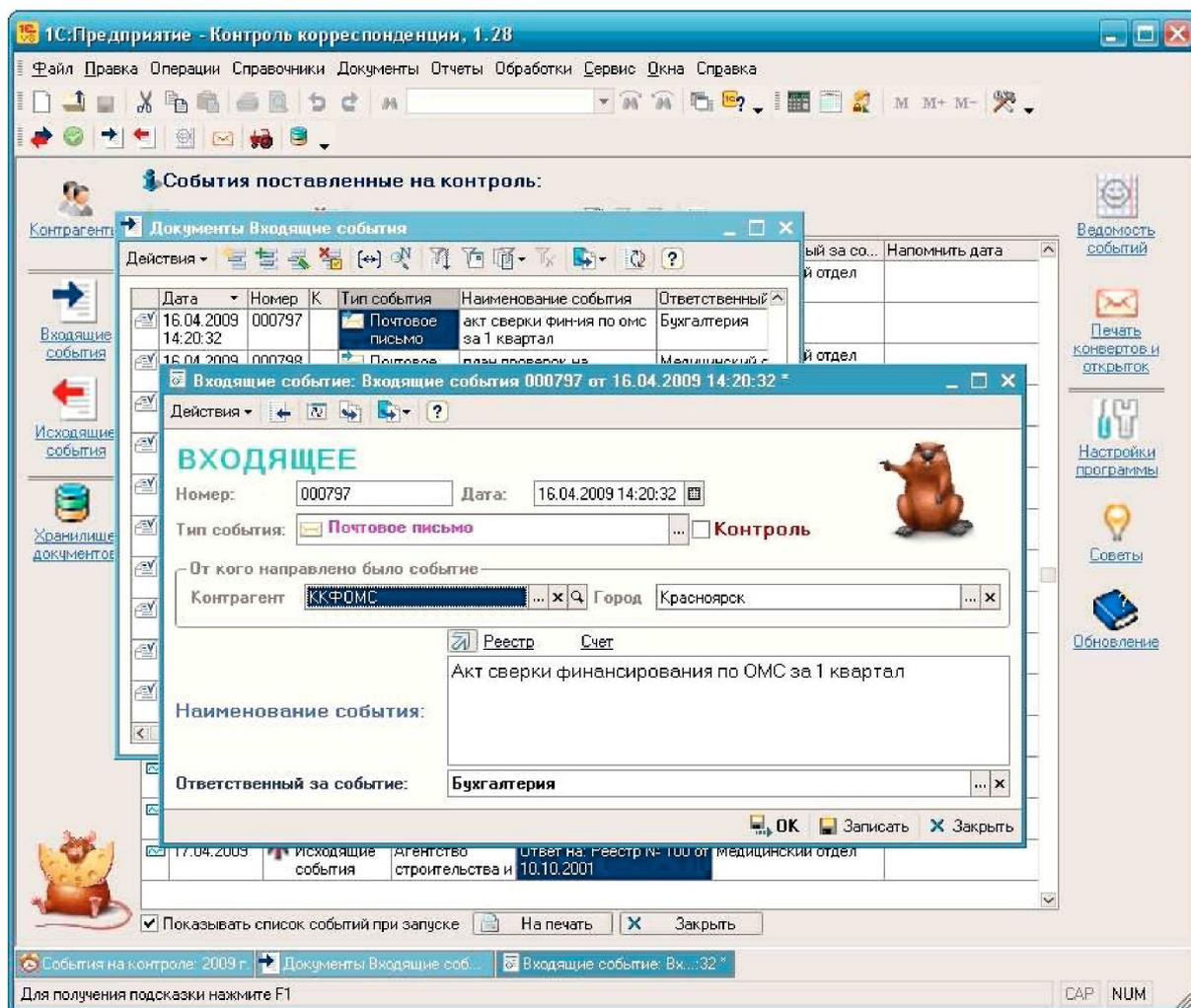


Рисунок 5 – Работа с документами в программе «Контроль корреспонденции»

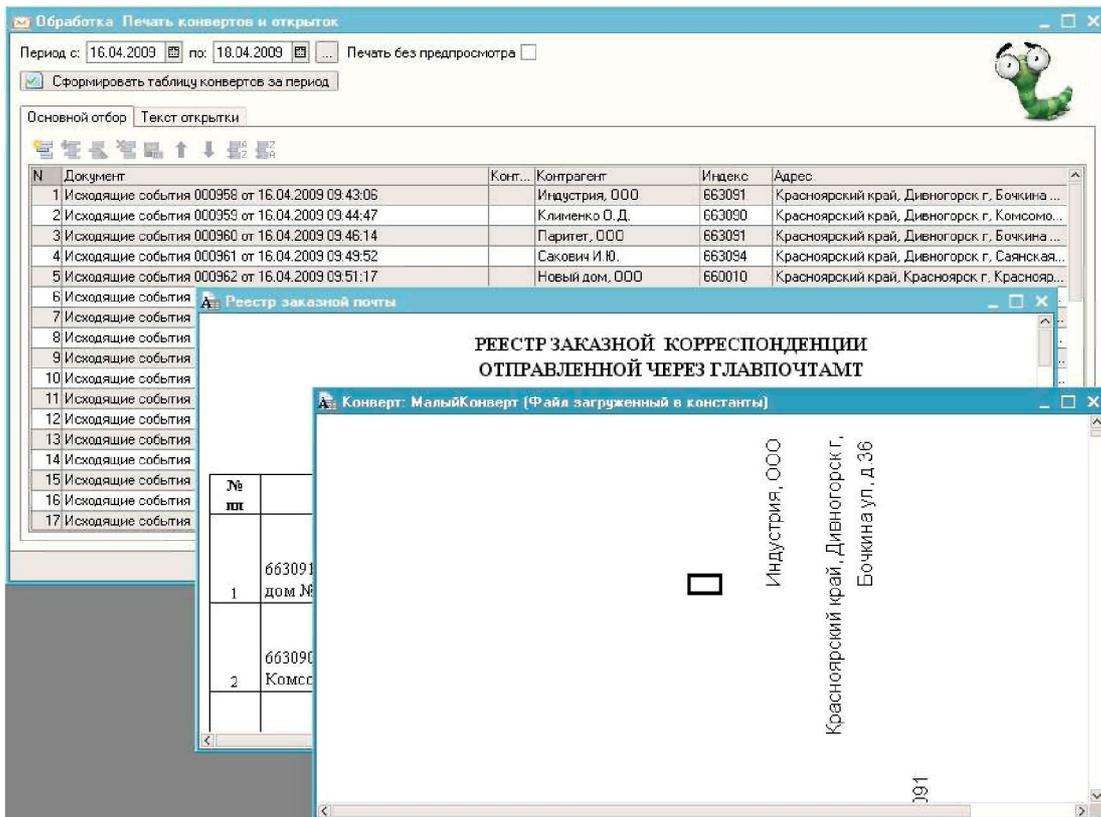


Рисунок 6 – Работа с отчетами в программе «Контроль корреспонденции»

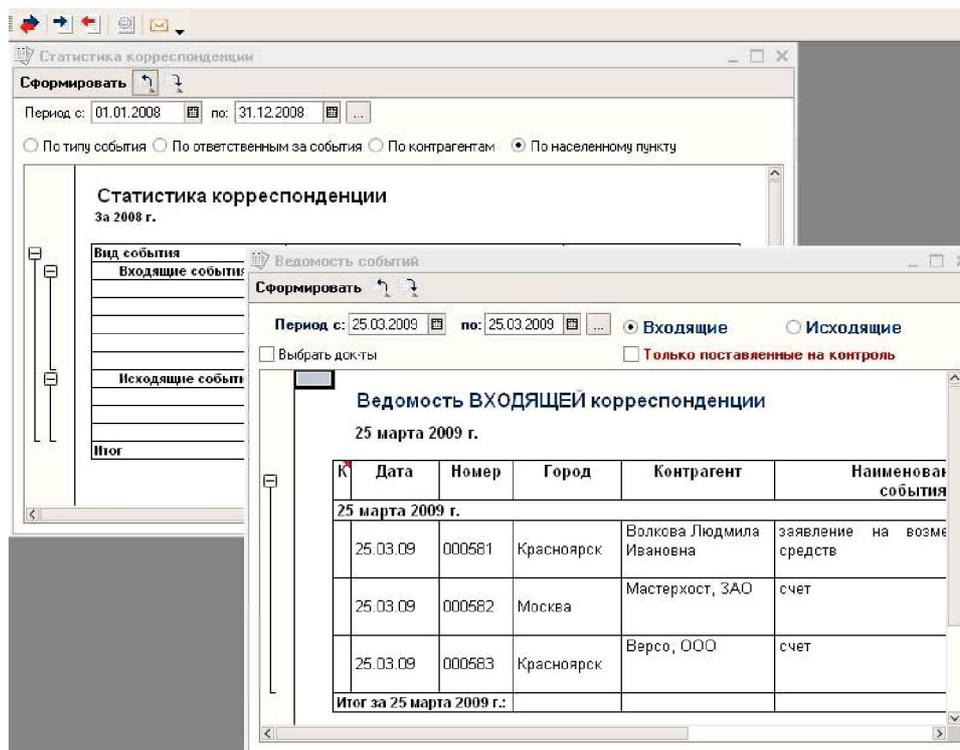


Рисунок 7 – Работа с отчетами в программе «Контроль корреспонденции»



Рисунок 8 – Работа со справочной информацией

**Каратаев Олег Александрович**

Сибирский Государственный Технологический Университет, г. Красноярск

Аспирант кафедры информационных технологий СГТУ

660017, г.Красноярск, ул.Дубровинского 106-6

Тел. 8-902-922-90-33

**Ковылин Александр Николаевич**

Сибирский Государственный Технологический Университет, г. Красноярск

Магистрант кафедры информационных технологий СГТУ

УДК 519.216.3:519.246.8

О.В. ТАРАКАНОВ, А.Н. ЛАПКО

**МЕТОДИКА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЗНАЧЕНИЙ ПРИЗНАКОВ  
ВЕКТОРА ТЕРРОРИСТИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ  
НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ  
В ЗАДАЧЕ ОЦЕНКИ ТЕРРОРИСТИЧЕСКОЙ СИТУАЦИИ  
В РЕГИОНЕ**

Статья посвящена проблеме прогнозирования значений признаков вектора террористической активности. В ней обосновывается использование для этих целей математического аппарата анализа временных рядов на основе моделей авторегрессии, скользящего среднего и авторегрессионной модели со скользящим средним в остатках. Большое внимание уделяется процессу выявления и статистической оценки неслучайной составляющей в разложении временного ряда. Детально описывается процесс выбора и идентификации модели стационарного временного ряда на основе значений автокорреляционных функций.

**Ключевые слова:** вектор террористической активности; временной ряд; автокорреляционная функция; метод последовательных разностей; метод наименьших квадратов; стационарный временной ряд; модель авторегрессии; модель скользящего среднего; авторегрессионная модель со скользящим средним в остатках.

*This article is devoted to forecasting the sign values of the terrorist activity vector. The paper proves the usage of a mathematical toolkit of the time series analysis based on an autoregressive model, a moving average model, an autoregressive moving average model. Besides, the article presents the process of revealing and statistical estimation of a nonrandom component in the time series decomposition. The paper gives a detailed description of the process of choosing and identification of a stationary time series model based on autocorrelation function values.*

**Keywords:** a terrorist activity vector; a time series; an autocorrelation function; the sequential differences method; the least squares method; a stationary time series; an autoregressive model; a moving average model; an autoregressive moving average model.

Управленческая деятельность руководителей органов государственной власти (ОГВ) неразрывно связана с принятием решений. Процесс принятия решения заключается в генерации возможных альтернативных вариантов, их оценке и выборе лучшей альтернативы. Наиболее важным и трудоемким этапом процесса принятия решений является генерация альтернатив. С целью снижения риска принятия некачественных решений целесообразно автоматизировать процесс выработки альтернативных вариантов решения. Автоматизация процесса генерации альтернатив заключается в разработке системы поддержки принятия решений (СППР).

СППР предназначена для повышения эффективности управленческой деятельности за счет обеспечения информационной поддержки принятия решений. СППР позволяет существенно снизить затраты времени на подготовку вариантов

решений, более качественно учитывать все многообразие факторов, эффективно применять знания и опыт широкого круга лиц, принимающих участие в подготовке решения, и повысить адекватность принимаемых решений.

Особенно актуальна разработка СППР в кризисных ситуациях, когда несвоевременное принятие решения или принятие некачественных решений может привести к угрозе жизни людей. В настоящее время одним из преобладающих компонентов в формировании и развитии кризисных ситуаций является террористическая активность.

Принятие решений в сфере антитеррористической деятельности характеризуется, с одной стороны, высокой сложностью, неопределенностью и многоаспектностью, а с другой стороны, вырабатываемые управленческие решения должны удовлетворять требованиям оперативности, адекватности и обоснованности. Данное противоречие обуславливает актуальность внедрения СППР в процесс принятия решения по реагированию на террористическую угрозу.

С целью повышения качества генерируемых альтернативных вариантов решения целесообразно СППР строить на основе методов Data Mining (интеллектуального анализа данных). Data Mining позволяет выявлять скрытые закономерности в больших наборах данных с использованием широкого класса математических моделей и методов, а также методов прикладной статистики и искусственного интеллекта.

Одной из задач, решаемых в процессе принятия решения по реагированию на террористическую угрозу, является оценка террористической активности в регионе. В ходе решения задачи оценки террористической активности в регионе исследуется система информативных признаков террористических организаций [1]. Исходя из специфики антитеррористической деятельности целесообразно прогнозировать значения фиксируемых признаков вектора террористической активности (ВТА) на несколько интервалов модельного времени вперед.

Отметим, что не существует универсально предпочтительных методов прогнозирования на все случаи жизни [2]. Выбор метода прогнозирования и его эффективность зависят от следующих условий:

- требуемого интервала упреждения  $b$ , выраженного в количестве тактов модельного времени;
- длины анализируемого временного ряда  $N$ ;
- наличия специфических особенностей временного ряда: сезонной составляющей, скачкообразных изменений в поведении тренда и др.

В связи с этим выбор метода прогнозирования следует производить с учетом всех специфических особенностей анализируемого временного ряда.

Наиболее эффективным подходом к решению задачи построения краткосрочного (с упреждением  $3b \leq 6$ ) и среднесрочного (с упреждением  $b \leq 3$ ) прогноза является прогнозирование, основанное на использовании идентифицированных моделей авторегрессии (АР), скользящего среднего (СС) и авторегрессионной модели со скользящим средним в остатках (АРСС) [2].

В результате измерения значений  $p$  регистрируемых признаков  $n$  исследуемых объектов – террористических организаций (ТО) – в последовательные равноотстоящие моменты времени  $t_1, t_2, \dots, t_N$  ( $t_N - t_{N-1} = \dots = t_2 - t_1 = \Delta$ , где  $\Delta$  – заданный

экспертом временной такт) имеем многомерный временной ряд (ВР) наблюдений по каждому объекту. Очевидно, что многомерный временной ряд можно представить в виде  $p$  одномерных рядов (1), характеризующих изменение во времени  $t_1, t_2, \dots, t_N$  значений  $j$ -го признака ( $j = \overline{1, p}$ ) активности  $i$ -ой ТО ( $i = \overline{1, n}$ ):

$$x_i^{(j)}(t) = \left( x_i^{(j)}(t_1), x_i^{(j)}(t_2), \dots, x_i^{(j)}(t_N) \right). \quad (1)$$

Формирование некоторого признака активности ТО  $x_i^{(j)}(t_k)$  как элемента одномерного временного ряда (1) происходит под воздействием:

- долговременных факторов, формирующих общую тенденцию в изменении анализируемого признака активности ТО  $x(t)$ , которая описывается с помощью неслучайной функции тренда  $f_{mp}(t)$ ;
- сезонных факторов, формирующих периодически повторяющиеся в определенное время колебания анализируемого признака активности ТО, которые будем обозначать с помощью неслучайной функции  $f_{сез}(t)$ ;
- случайных факторов  $\varepsilon(t)$ , не поддающихся учету и регистрации. Их воздействие на формирование значений временного ряда обуславливает стохастическую природу элементов ряда  $x_i^{(j)}(t_k)$ .

Заметим, что в ходе решения задачи прогнозирования значений признаков ВТА на основе АР, СС и АРСС моделей учет сезонных факторов  $f_{сез}(t)$  не производится. Выделение сезонной составляющей при ее наличии будет осуществляться в специализированной базе знаний.

Примем аддитивную структурную схему влияния рассмотренных факторов. Данный факт позволяет представить временной ряд (1) в виде разложения [2]:

$$x(t) = f(t) + \varepsilon(t), \quad (2)$$

где  $f(t)$  – неслучайная составляющая временного ряда, представленная функцией тренда;

$\varepsilon(t)$  – случайная составляющая ряда.

Тогда решение задачи прогнозирования значений признака ВТА, представленных в виде временного ряда (1), производится в соответствии с логической схемой (рисунок 1).

Предложенная схема включает следующие основные этапы:

1. Определение факта наличия или отсутствия неслучайной составляющей  $f(t)$  в разложении (2), т.е. проверка стационарности временного ряда  $x(t)$ .
2. Вычисление статистической оценки для неслучайной составляющей при ее наличии.
3. Подбор модели стационарного временного ряда, адекватно описывающей поведение случайных остатков  $\varepsilon(t)$ .
4. Идентификация модели стационарного временного ряда, которая заключается в статистическом оценивании параметров модели.
5. Непосредственное прогнозирование значений временного ряда  $x(t)$ .

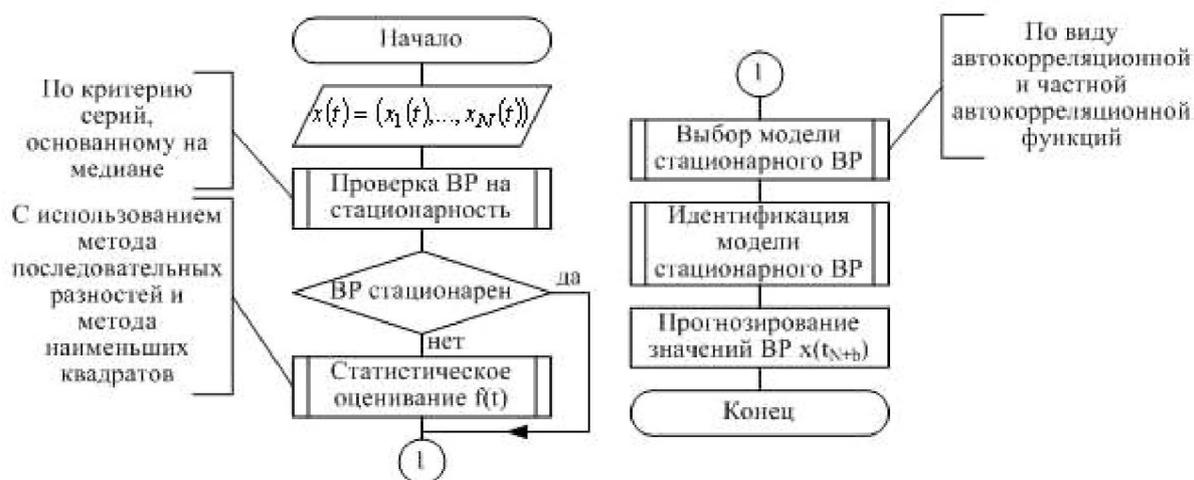


Рисунок 1 – Логическая схема прогнозирования значений временного ряда

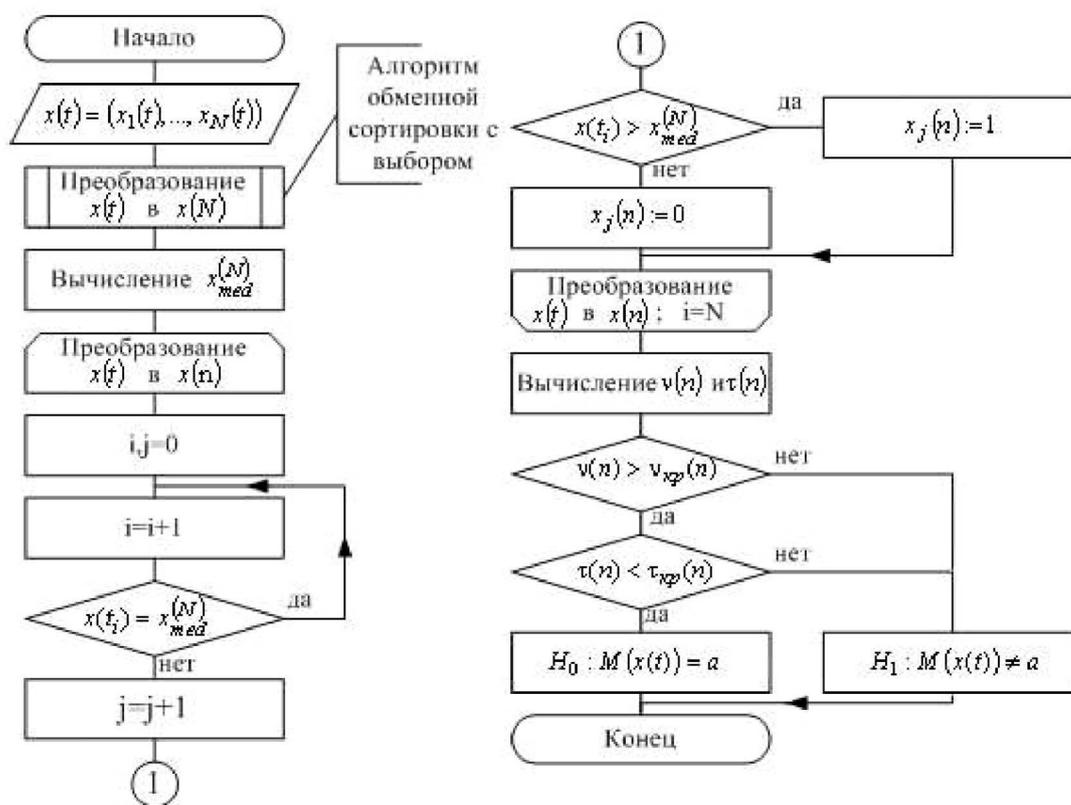


Рисунок 2 – Логическая схема проверки гипотезы о наличии неслучайной составляющей в формировании значений временного ряда

Выявление факта наличия неслучайной составляющей  $f(t)$  в разложении (2) осуществляется путем статистической проверки гипотезы  $H_0$  о неизменности среднего значения временного ряда при наличии альтернативной гипотезы  $H_1$ . В случае принятия гипотезы  $H_0$  делается вывод об отсутствии неслучайной составляющей  $f(t)$  в разложении ряда (2). В противном случае отмечается временная тенденция к изменению (увеличению или снижению) значений временного ряда.

В задаче прогнозирования значений признаков ВТА процедура проверки гипотезы (рисунок 2) производится с использованием критерия серий, основанного на медиане [2].

Первоначально необходимо преобразовать анализируемый временной ряд  $x(t)$  в вариационный ряд  $x(N)$ . Для этого расположим члены ряда  $x(t)$  в порядке возрастания с использованием метода обменной сортировки с выбором [3] и вычислим значение выборочной медианы  $x_{med}^{(N)}$  образованного ряда  $x(N)$  по формуле (3):

$$x_{med}^{(N)} = \begin{cases} x_{(0.5(N+1))}, & \text{если } N \text{ нечетно} \\ 0.5 \cdot (x_{(0.5 \cdot N)} + x_{(0.5 \cdot N + 1)}), & \text{если } N \text{ четно} . \end{cases} \quad (3)$$

После этого необходимо преобразовать временной ряд  $x(t)$  в последовательность  $x(n)$ , состоящую из серий нулей и единиц. В соответствии с правилом (4) будем ставить единицу вместо каждого члена временного ряда  $x(t)$ , если его значение больше значения выборочной медианы, и ноль, если его значение меньше значения выборочной медианы.

$$x_j(n) = \begin{cases} 0, & \text{если } x(t_i) < x_{med}^{(N)} \\ 1, & \text{если } x(t_i) > x_{med}^{(N)}. \end{cases} \quad (4)$$

При этом члены временного ряда  $x(t)$ , значение которых равно значению выборочной медианы, при формировании последовательности  $x(n)$  не учитываются.

Образованная таким образом последовательность  $x(n)$  характеризуется общим числом серий  $v(n)$  и протяженностью самой длинной серии  $\tau(n)$  [2]. Очевидно, что если временной ряд состоит из статистически независимых наблюдений, случайно варьирующих вокруг некоторого постоянного уровня, то чередование серий в последовательности  $x(n)$  должно быть также случайным. Из этого следует, что последовательность  $x(n)$  не должна содержать слишком длинных серий, а общее количество серий должно быть большим.

Проверка гипотезы  $H_0$  осуществляется по следующему приближенному правилу [2]: если все неравенства в системе (5) окажутся выполненными, то с вероятностью ошибки  $0.05\alpha 0.0975$  принимается гипотеза  $H_0$  и подтверждается факт наличия неслучайной составляющей в разложении ряда (2). В противном случае принимается гипотеза  $H_1$  и делается вывод о стационарности временного ряда (2).

$$\begin{cases} v(n) > \left[ \frac{1}{2} \cdot (n + 2 - 1.96\sqrt{n-1}) \right] \\ \tau(n) < [1.43 \cdot \ln(n+1)] \end{cases} . \quad (5)$$

Здесь выражение  $[y]$  означает взятие целой части числа  $y$ .

В случае выявления неслучайной составляющей в разложении (2) необходимо решить задачу элиминирования случайных остатков  $\varepsilon(t)$  анализируемого временного ряда  $x(t)$ .

Аппроксимация неслучайной составляющей временного ряда осуществляется с использованием аналитических методов [2], которые основаны на том допущении, что исследователю известен общий вид неслучайной составляющей  $f(t)$ .

При решении задачи элиминирования случайных остатков аналитическими

методами на выходе получают явную аналитическую оценку для искомой неслучайной составляющей, представленной в виде функции известного вида, в которой неизвестные параметры заменены их статистическими оценками.

Аналитические методы реализуются в рамках модели регрессии (6), где в роли эндогенной переменной выступает некоторый признак активности ТУ, генерирующий анализируемый временной ряд  $x(t)$ , а в роли экзогенной переменной – время  $t$ .

$$x(t) = f(t, \Theta) + \varepsilon(t). \quad (6)$$

При этом общий вид функции  $f(t, \Theta)$  известен. Пусть функция  $f(t, \Theta)$  имеет вид алгебраического полинома степени  $r$  (7):

$$f(t, \Theta) = \theta_0 + \theta_1 \cdot t + \dots + \theta_r \cdot t^r. \quad (7)$$

Оценки параметров  $\Theta$  будем строить по наблюдениям  $\{t; x(t)\}_{t=1,2,\dots,N}$  с помощью метода наименьших квадратов (8):

$$\Theta = (X^T \cdot X)^{-1} \cdot X^T \cdot Y, \quad (8)$$

где  $X$  – матрица размерности  $N \times (r + 1)$  значений экзогенных переменных вида (9);

$Y = (x(t_1), x(t_2), \dots, x(t_N))^T$  – матрица размерности 1 значений эндогенных переменных.

$$X = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1^2 & \dots & 1^r \\ 1 & 2 & 2^2 & \dots & 2^r \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & N & N^2 & \dots & N^r \end{pmatrix}. \quad (9)$$

При реализации аналитических методов выделения неслучайной составляющей временного ряда сталкиваются с необходимостью подбора порядка  $r$  аппроксимирующего полинома (7). Данная задача решается с использованием метода последовательных разностей.

Последовательные разности  $r$ -го порядка членов временного ряда (1) вычисляются в соответствии с формулой (10) для  $k = r + 1, r + 2, \dots, N$ :

$$\Delta^r x(t) = \Delta(\Delta^{r-1} x(t)) = x(t_k) - C_r^1 \cdot x(t_{k-1}) + C_r^2 \cdot x(t_{k-2}) - \dots + (-1)^r \cdot x(t_{k-r}), \quad (10)$$

где  $C_n^m$  – число сочетаний из  $n$  элементов по  $m$  [4,5], рассчитанное по формуле (11):

$$C_n^m = \frac{n!}{m! \cdot (n - m)!}. \quad (11)$$

Метод последовательных разностей основан на следующем математическом факте: если временной ряд  $x(t)$  содержит неслучайную составляющую  $f(t)$  в виде алгебраического полинома степени  $r$  (7), то переход к последовательным разностям порядка  $r + 1$  исключает неслучайную составляющую (включая константу  $\theta_1$ ), оставляя только случайный компонент  $\varepsilon(t)$  [2,7].

Сформулируем правило подбора порядка сглаживающего полинома, называемое методом последовательных разностей [2]:

1. Последовательно вычислять разности  $\Delta^r x(t)$  и величины  $\sigma^2(r)$  по формуле (12) для  $r = 1, 2, \dots, N - 1$ :

$$\sigma^2(r) = \frac{\frac{1}{N-r} \sum_{k=1}^{N-r} (\Delta^r x(t_k))^2}{C_{2r}^r}, \quad (12)$$

где  $C_{2r}^r$  – число сочетаний из  $2r$  элементов по  $r$ , рассчитываемое по формуле (11).

2. Анализировать изменение величины  $\sigma^2(r)$  в зависимости от  $r$ . Величина  $\sigma^2(r)$  будет демонстрировать явную тенденцию к убыванию. Начиная с момента  $k_0 = p + 1$  данная величина стабилизируется, оставаясь приблизительно на одном уровне при дальнейшем увеличении  $r$ . При этом искомый порядок  $r$  аппроксимирующего полинома будет определяться выражением (13):

$$r = r_0 - 1. \quad (13)$$

Перейдем к задаче выбора модели, адекватно описывающей поведение случайных остатков  $\varepsilon(t)$  (14), которая формулируется следующим образом: необходимо построить такую модель случайного остатка, которая позволила бы прогнозировать значения этого остатка по его же значениям в предыдущие моменты времени. Модель случайного остатка будем подбирать в рамках класса стационарных временных рядов.

$$\varepsilon(t) = x(t) - f(t). \quad (14)$$

В классе стационарных временных рядов выделяют следующие модели [2,7]:

- модель авторегрессии порядка  $p$  (АР( $p$ )-модель);
- модель скользящего среднего порядка  $q$  (СС( $q$ )-модель);
- авторегрессионная модель со скользящим средним в остатках (АРСС( $p, q$ )-модель).

Введем ограничение, накладываемое на параметры  $p$  и  $q$  при выборе модели стационарного временного ряда: будем рассматривать только те модели, в которых параметры  $p$  и  $q$  принимают реалистичные значения, как правило, не превышающие двух [2]. В таблице 1 представлены модели, которые удовлетворяют введенному ограничению и являются наиболее важными и значимыми с практической точки зрения [7].

Таблица 1 – Модели стационарных временных рядов

Название модели	Математическое представление модели
модель авторегрессии 1-го порядка АР(1)	$\varepsilon(t_k) = \alpha \cdot \varepsilon(t_{k-1}) + \delta(t_k)$
модель скользящего среднего 1-го порядка СС(1)	$\varepsilon(t_k) = \delta(t_k) - \theta \cdot \delta(t_{k-1})$
модель авторегрессии 2-го порядка АР(2)	$\varepsilon(t_k) = \alpha_1 \cdot \varepsilon(t_{k-1}) + \alpha_2 \cdot \varepsilon(t_{k-2}) + \delta(t_k)$
модель скользящего среднего 2-го порядка СС(2)	$\varepsilon(t_k) = \delta(t_k) - \theta_1 \cdot \delta(t_{k-1}) - \theta_2 \cdot \delta(t_{k-2})$
модель авторегрессии 1-го порядка и скользящего среднего 1-го порядка АРСС(1,1)	$\varepsilon(t_k) = \alpha \cdot \varepsilon(t_{k-1}) + \delta(t_k) - \theta \cdot \delta(t_{k-1})$

Существенную помощь в решении задачи подбора и идентификации модели анализируемого стационарного ряда оказывает знание автокорреляционных функций [2,7]. Основываясь на данном факте, выбор модели для конкретного стационарного временного ряда (14) будем производить, исходя из анализа автокорреляционной функции и частной автокорреляционной функции.

Автокорреляционная функция  $r(\tau)$  предназначена для анализа изменения корреляции, существующей между членами одного и того же временного ряда, в зависимости от значения  $\tau$ . Выборочное значение автокорреляционной функции рассчитывается по формуле (15):

$$r(\tau) = \frac{\frac{1}{N-\tau} \cdot \sum_{k=1}^{N-\tau} (\varepsilon(t_k) - a) \cdot (\varepsilon(t_{k+\tau}) - a)}{\frac{1}{N} \cdot \sum_{k=1}^N (\varepsilon(t_k) - a)^2}, \quad (15)$$

где  $a = \frac{1}{N} \cdot \sum_{k=1}^N \varepsilon(t_k)$  – оценка среднего значения стационарного временного ряда  $\varepsilon(t)$ .

Частная автокорреляционная функция  $r_{\text{част}}(\tau)$  предназначена для анализа изменения автокорреляции, существующей между разделенными  $\tau$  тактами времени членами временного ряда  $\varepsilon(t_k)$  и  $\varepsilon(t_{k+\tau})$ , при устраненном опосредованном влиянии на эту взаимосвязь всех промежуточных, расположенных между  $\varepsilon(t_k)$  и  $\varepsilon(t_{k+\tau})$ , членов ряда. Выборочное значение частной автокорреляционной функции рассчитывается с помощью формулы (16) по элементам общей корреляционной матрицы  $R$  размерностью  $N$ , в которой  $r_{ij} = r_{\text{част}}(|i - j|)$ .

$$r_{\text{част}}(|i - j|) = \frac{-R_{ij}}{\sqrt{(R_{ij} \cdot R_{jj})}}, \quad (16)$$

где  $R_{ij} = (-1)^{i+j} \cdot \det R'_{ij}$  – алгебраическое дополнение [5,6] для элемента  $r_{ij}$  в корреляционной матрице  $R$ ;

$R'_{ij}$  – матрица размерности  $(N - 1) \times (N - 1)$ , полученная из матрицы  $R$  вычеркиванием  $i$ -ой строки и  $j$ -ого столбца.

Приведем важные свойства [2,7] автокорреляционных функций  $r(\tau)$  и  $r_{\text{част}}(\tau)$ , которые полезно будет использовать при выборе модели стационарного временного ряда:

1. Частная автокорреляционная функция  $r_{\text{част}}(\tau)$  АР( $p$ )-модели будет принимать значения, отличные от нуля только при  $\tau \leq p$  (при  $\tau > p$  все значения будут статистически равны нулю).
2. Автокорреляционная функция  $r(\tau)$  СС( $q$ )-модели будет принимать значения, отличные от нуля только при  $\tau \leq q$  (при  $\tau > q$  все значения  $r_{\text{част}}(\tau)$  будут статистически равны нулю).
3. Если же автокорреляционная функция  $r(\tau)$  анализируемого временного ряда экспоненциально убывает, начиная со значения  $\tau \geq q + 1$  (причем это убывание монотонно при  $\alpha > 0$  и колебательно (знакопеременно) при  $\alpha < 0$ ), а частная автокорреляционная функция  $r_{\text{част}}(\tau)$  временного ряда экспоненциально убывает, начиная со значения  $\tau \geq p + 1$  (причем это убывание монотонно при  $\theta > 0$  и знакопеременно при  $\theta < 0$ ), то анализируемый временной ряд будет описываться АРСС( $p, q$ )-моделью.

В соответствии с представленными свойствами автокорреляционных функций, а также с учетом введенного ограничения процедуру выбора модели стационарного временного ряда можно представить в виде логической схемы (рисунок 3).

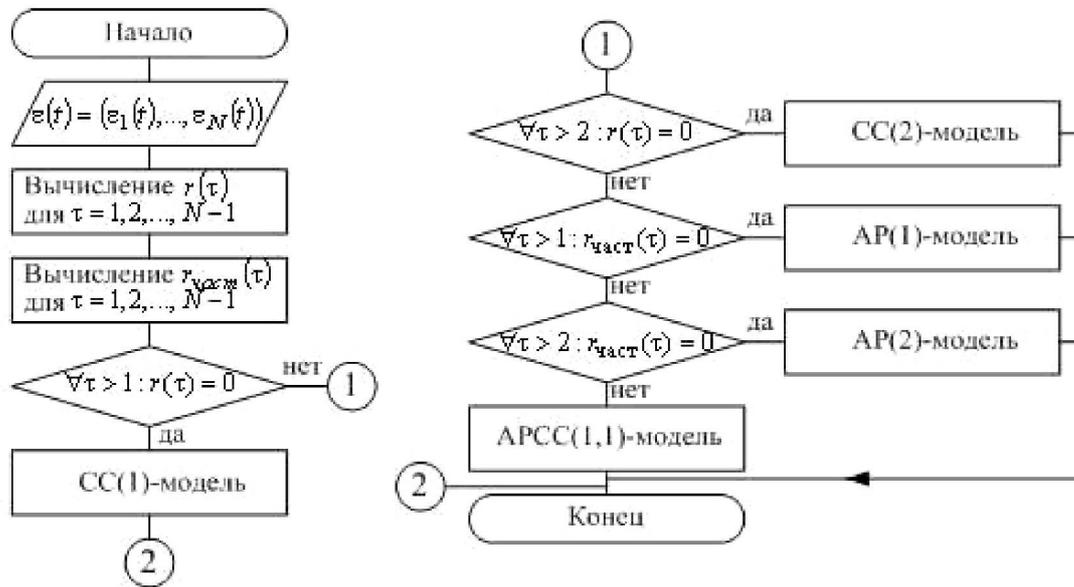


Рисунок 3 – Логическая схема выбора модели стационарного временного ряда

Выбрав модель для описания случайных остатков  $\varepsilon(t)$ , перейдем к ее идентификации, т.е. статистической оценке параметров модели, в качестве которых выступают:

- $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_p$  для АР( $p$ )-модели;
- $\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_q$  для СС( $q$ )-модели;
- $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_p, \theta_1, \theta_2, \dots, \theta_q$  для АРСС( $p, q$ )-модели.

Формулы [2,7] для расчета оценок неизвестных параметров рассматриваемых моделей представлены в таблице 2.

После выбора и идентификации модели стационарного временного ряда перейдем к заключительному этапу исследования, на котором осуществляется непосредственное прогнозирование будущих значений временного ряда.

Прогнозируемое значение анализируемого временного ряда на тактов модельного времени вперед складывается из двух составляющих:

- значения оценки неслучайной составляющей  $f(t_{N+b})$  в момент времени  $t_{N+b}$ , формула для расчета которой получена с использованием метода наименьших квадратов;
- значения оценки случайного остатка  $\varepsilon(t_{N+b})$  в момент времени  $t_{N+b}$ , расчету которой посвящен данный этап решения задачи.

Очищенный от неслучайной составляющей (с использованием метода последовательных разностей) временной ряд  $x(t)$  можно представить в виде (17):

$$x_r(t_N) = \alpha_1 \cdot x_r(t_{N-1}) + \dots + \alpha_p \cdot x_r(t_{N-p}) + \delta(t_N) - \theta_1 \cdot \delta(t_{N-1}) - \dots - \theta_q \cdot \delta(t_{N-q}), \quad (17)$$

где  $x_r(t_N) = \Delta^r x(t_N)$  – последовательная разность  $r$ -ого порядка временного ряда  $x(t)$ , вычисленная по формуле (10).

Перепишав выражение (17) для  $t_N = t_{N+b}$ , получим соотношение для построения прогнозных значений временного ряда на тактов модельного времени вперед (18):

$$x_r(t_{N+b}) = \alpha_1 x_r(t_{N+b-1}) + \dots + \alpha_p x_r(t_{N+b-p}) + \delta(t_{N+b}) - \theta_1 \delta(t_{N+b-1}) - \dots - \theta_q \delta(t_{N+b-q}). \quad (18)$$

Правая часть выражения (18) представляет собой линейную комбинацию  $p + r$  предшествующих значений анализируемого временного ряда  $x(t)$ , дополненную линейной комбинацией текущего и  $q$  предшествующих значений случайных остатков  $\delta(t)$ . Причем коэффициенты  $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_p, \theta_1, \theta_2, \dots, \theta_q$ , с помощью которых эти линейные комбинации вычисляются, известны.

В частности для рассматриваемых моделей выражение для построения прогнозных значений (18) примет вид, указанный в таблице 3.

Таблица 2 – Расчет оценок неизвестных параметров моделей

Модель	Формулы для оценки параметров		Диапазон
1	2		3
AP(1)	$\alpha = r(1)$		$ \alpha  < 1$
CC(1)	$r(1) = \frac{-\theta}{1 + \theta^2}$		$ \theta  < 1$
AP(2)	$\alpha_1 = \frac{r(1) \cdot (1 - r(2))}{1 - r^2(1)}$	$\alpha_2 = \frac{r(2) - r^2(1)}{1 - r^2(1)}$	$ \alpha_2  < 1,$ $\alpha_2 + \alpha_1 < 1,$ $\alpha_2 - \alpha_1 < 1$
CC(2)	$\begin{cases} r(1) = \frac{-\theta_1 \cdot (1 - \theta_2)}{1 + \theta_1^2 + \theta_2^2} \\ r(2) = \frac{-\theta_2}{1 + \theta_1^2 + \theta_2^2} \end{cases}$		$ \theta_2  < 1,$ $\theta_2 + \theta_1 < 1,$ $\theta_2 - \theta_1 < 1$
APCC(2)	$\alpha = \frac{r(2)}{r(1)}$	$r(1) = \frac{(1 - \alpha \cdot \theta)(\alpha - \theta)}{1 + \theta^2 - 2 \cdot \alpha \cdot \theta}$	$ \alpha  < 1,$ $ \theta  < 1$

Теоретическую базу такого подхода к прогнозированию обеспечивает известный результат, в соответствии с которым наилучшим (в смысле среднеквадратической ошибки) линейным прогнозом в момент времени  $t_N$  с упреждением  $b$  является условное математическое ожидание  $E(x(t_{N+b})|x(t_1), x(t_2), \dots, x(t_N))$  случайной величины  $x(t_{N+b})$ , вычисленное при условии, что все значения временного ряда  $x(t)$  до момента времени  $t_N$  (включительно) известны [2,7].

Таблица 3 – Расчет прогнозных значений временного ряда

Модель	Формула для расчета прогнозных значений
АР(1)	$x_r(t_{N+b}) = \alpha_1 x_r(t_{N+b-1}) + \delta(t_{N+b})$
СС(1)	$x_r(t_{N+b}) = \delta(t_{N+b}) - \theta_1 \delta(t_{N+b-1})$
АР(2)	$x_r(t_{N+b}) = \alpha_1 x_r(t_{N+b-1}) + \alpha_2 \cdot x_r(t_{N+b-2}) + \delta(t_{N+b})$
СС(2)	$x_r(t_{N+b}) = \delta(t_{N+b}) - \theta_1 \delta(t_{N+b-1}) - \theta_2 \delta(t_{N+b-2})$
АРСС(1, 1)	$x_r(t_{N+b}) = \alpha_1 x_r(t_{N+b-1}) + \delta(t_{N+b}) - \theta_1 \delta(t_{N+b-1})$

Условное математическое ожидание  $E(x(t_{N+b})|x(t_1), x(t_2), \dots, x(t_N))$  получается применением операции условного усреднения к обеим частям выражения (18) с учетом правил (19-22):

$$E(x(t_{N-j})|x(t_1), \dots, x(t_N)) = x(t_{N-j}) \text{ для } j = 0, 1, 2, \dots, t-1, \quad (19)$$

$$E(x(t_{N+j})|x(t_1), \dots, x(t_N)) = \hat{x}(t_{N;j}) \text{ для } j = 1, 2, \dots, \quad (20)$$

$$E(\delta(t_{N+j})|x(t_1), \dots, x(t_N)) = 0 \text{ для } j = 1, 2, \dots, \quad (21)$$

$$E(\delta(t_{N-j})|x(t_1), \dots, x(t_N)) = x(t_{N-j}) - \hat{x}(t_{N-j-1}; 1) \text{ для } j = 0, 1, 2, \dots, \quad (22)$$

Здесь  $\hat{x}(t_N; b)$  означает прогноз неизвестного значения  $x(t_{N+b})$ .

Таким образом, процедура построения прогноза  $\hat{x}(t_N; b)$  для значения  $x(t_{N+b})$  временного ряда по известной до момента  $t_N$  (включительно) ретроспективе  $x(t_1), x(t_2), \dots, x(t_N)$  заключается в вычислении условного математического ожидания правой части выражения (18) с использованием правил (19-22), при этом те значения  $E(\delta(t_{N-j})|x(t_1), \dots, x(t_N))$ , которые еще не могут быть вычислены по формуле (22), аппроксимируются нулями [2,7].

Использование доступных к моменту времени  $t_N$  значений признаков террористической активности для вычисления их оценок в некоторый момент времени в будущем  $t_{N+b}$  предоставляет возможность лицу, принимающему решение, определить направление развития террористической ситуации в регионе и при необходимости спланировать упреждающие мероприятия по стабилизации ситуации.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Тараканов О.В., Лапко А.Н. Математическая модель классификации террористических организаций по вектору террористической активности на основе методов распознавания по прецедентам // Системы управления и информационные технологии. – Воронеж, 2008, № 2.3 (32). – С. 403-407.
2. Айвазян С.А. Прикладная статистика. Основы эконометрики : Учебник для вузов : 2 т. 2-е изд., испр. – Т. 2: Основы эконометрики. – М. : ЮНИТИ-ДАНА, 2001. – 432 с.

3. Кнут Д. Искусство программирования для ЭВМ. В 7-ми т. – Т. 3 : Сортировка и поиск. / Пер. Н.И. Вьюковой и др. / Под ред. Ю.М. Беляковского и В.С. Штаркмана. – М. : Мир, 1978. – 844 с. : ил.
4. Новиков Ф.А. Дискретная математика для программистов. – СПб.: Питер, 2001. – 304 с.: ил.
5. Бронштейн И.Н., Семендяев К.А. Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов. – 13-е изд., исправленное. – М. : Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1986. – 544 с.
6. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров. 4-е изд. / под общ. ред. И.Г. Арамановича. – М. : Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1977.
7. Бокс Дж., Дженкинс Г. Анализ временных рядов. Прогноз и управление. // Пер. с англ. А.Л. Левшина. ; под ред. и с предисловием В.Ф. Писаренко. / Вып. 1 – М.: Мир, 1974. – 406 с.

**Тараканов Олег Викторович**

Академия ФСО России

г. Орел, ул. Приборостроительная, 35

Кандидат технических наук, доцент, начальник кафедры № 31

Тел.:(4862)41-99-31

**Лапко Александр Николаевич**

Академия ФСО России

г. Орел, ул. Приборостроительная, 35, к. 403

Адъюнкт

Тел.: 8-910-207-79-83

E-mail: lan46@mail.ru

УДК 20.23.25

И.С. ЯКИМОВ, С.П. ЯКИМОВ

## СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В ОРГАНИЗАЦИИ ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО САМООБРАЗОВАНИЯ ПЕДАГОГА

В условиях модернизации образования в связи с переходом на личностно-ориентированную парадигму обучения и воспитания повышаются требования к уровню мастерства педагогических работников. Поэтому перед учебными заведениями возникает острая необходимость в организации самообразовательной работы по повышению профессиональной компетентности и культуры педагогического коллектива. Нами была разработана информационная система, позволяющая обеспечивать управление самообразовательной работой педагогов, оказывать помощь руководящим работникам и педагогам при подготовке к аттестации, а также обеспечивать создание культурно-творческой педагогической среды.

**Ключевые слова:** информационная система; система поддержки принятия решений; управление аттестационной процедурой; образовательное заведение; педагогическое мастерство; мониторинг профессиональной культуры и мастерства педагога; самообразование.

*In conditions of education modernization with conversion to personal-oriented educational paradigm, requirements to skill level of educational workers adjust. Before educational institutions arise an exigency in self-educational activities organization for professional competence and pedagogical culture level rising. The informational system for support of pedagogue's self-educational activities managing, cultural and creative pedagogical environment creating was developed to help managers and teachers in preparing for attestation.*

**Keywords:** informational system; Decision Support System; attestation procedure managing; educational institute, pedagogical skill; monitoring of pedagogue's culture and professional skill; self-education.

В настоящее время для повышения эффективности управленческой деятельности во многих прикладных областях широко используются системы поддержки принятия решений (СППР), представляющие собой компьютерные автоматизированные системы, целью которых является помощь людям, принимающим решение в сложных условиях для полного и объективного анализа предметной деятельности [1].

### ОБЪЕКТ УПРАВЛЕНИЯ

В условиях информатизации образования и усложнения образовательных технологий особый интерес представляет задача управления аттестационным процессом педагогических работников. Сегодня уровень предоставления образовательных услуг учебными заведениями во многом определяется не столько уровнем организации менеджмента, сколько квалификацией работников образования. Особую значимость данное обстоятельство приобретает в условиях

лично-ориентированной образовательной парадигмы. Поэтому каждое учебное заведение уделяет большое внимание организации работы повышения педагогического мастерства педагогов, в том числе их подготовке к аттестационной процедуре, которую каждый педагог проходит один раз в пять лет.

Нами был проведен анализ деятельности типового среднеобразовательного учебного заведения и выявлены работы, связанные с повышением квалификации педагогического коллектива (рисунок 1). В данной деятельности предлагается использовать разрабатываемую нами информационную систему «Мониторинг профессиональной компетентности и культуры работников образования» для автоматизации работы по повышению квалификации педагогических работников с целью ведения мониторинга профессиональной компетентности и культуры педагогических работников (рисунок 2). Элементы данной системы будут активно применяться в рамках *Самообразовательной работы*.

В рамках *Работ по повышению квалификации педагогических работников* появляется бизнес-процесс *Предаттестационная работа*. Он проводится педагогическим персоналом с помощью внедряемой информационной системы на основе необходимой информации о педагогах и в соответствии с приказами и распоряжениями директора, графиков прохождения курсов (являются результатом *Организации курсов повышения квалификации*), сведений об учениках, формальных требований аттестационной технологии и решений аттестационной комиссии. Результатами *Предаттестационной работы* являются данные о тенденции профессионального роста, характеристика (необходима для *Заседания аттестационной комиссии*), результаты анализа открытых уроков, а также заявления и творческие отчёты. Предаттестационная работа делится на три составляющие:

1. *Организация открытых уроков* проводится с целью ознакомления методиста с методикой преподавания конкретного учителя или с целью получения данных об открытом уроке, необходимых для процедуры *Аттестации* и *Оценки профессиональной успешности*. В *Организации открытых уроков* принимают участие завуч, методист, члены аттестационной комиссии, педагог. Используются данные о педагоге. Данные работы проводят по приказу директора и на основании решений аттестационной комиссии в соответствии с графиком аттестации.

2. *Оценка профессиональной успешности* представляет собой процесс мониторинга профессиональной успешности педагогического работника на протяжении всей его работы в данном образовательном учреждении с целью получения актуальных сведений о его росте, автоматической выработки конкретной программы совершенствования мастерства в виде самообразовательной карты, облегчения работы завуча на этапе *Аттестации*. Данный процесс фактически представляет собой программную реализацию методики Н.А. Эверт [2, 3]. Именно на этом этапе информационная система используется активнее всего и демонстрирует большую часть функционала. *Оценка профессиональной успешности* проводится завучем с помощью внедряемой информационной системы на основании необходимых сведений о педагогах и в соответствии с результатами анализа открытых уроков, графиком прохождения курсов повышения квалификации, сведениями об учащих и формальными требованиями аттестационной технологии. Результатом этой

деятельности является программа совершенствования мастерства (для *Самообразовательной работы*) и характеристика, необходимая для *Аттестации*.

3. *Самодиагностика* – это процесс предварительного определения категории на основании *Общей* и *Уточняющей диагностик*. В ходе *Самодиагностики* весь педагогический коллектив по мере необходимости проходит необходимое тестирование и, на основании данных о себе, сведений об учащих и формальных требований аттестационной технологии выявляется предполагаемая категория и могут быть составлены заявления и отчёты, необходимые для предоставления их на *Заседание аттестационной комиссии*. На основе данных, полученных на этапах *Оценки профессиональной успешности* и *Самодиагностики*, формируется заключение о тенденции профессионального роста. В случае разногласий можно просмотреть протоколы ответов на все тесты на обоих этапах и обсудить их.

*Аттестация* – это процесс выявления индекса квалификационного соответствия. Процедуру *Аттестации* проводит педагогический персонал (педагоги, аттестуемые, завучи, аттестационная комиссия). Однако при соискании первой или высшей категории педагогического работника образования в составе аттестационной комиссии выступают представители районного или краевого уровня соответственно. Для аттестации необходимо иметь, согласно принятой в конкретной школе аттестационной технологии, заявление, отчёты, все сведения об учителе и результаты анализа проведенных им открытых уроков. Данная процедура проводится в соответствии с формальными требованиями и приказами. В результате работы формируется график прохождения аттестации, решение аттестационной комиссии (о проведении открытых уроков) и формализуются сведения о результатах аттестации для *Заседания аттестационной комиссии*. Аттестация проводится в три этапа:

1. *Формирование графика аттестации* – заседание аттестационной комиссии, на котором формируется список аттестуемых педагогов на определённый период, как правило – на год. В заседании участвует только аттестационная комиссия и решение принимается на основании общих данных об учителях и их заявлениях. Созывается данное заседание по приказу руководства. Результатом работы комиссии является график аттестации.

2. *Сбор дополнительных сведений* проводит педагогический коллектив. Эти сведения представляют собой различные опросы мнений об аттестуемом (родителей, учащихся, коллег) и другие интересующие комиссию сведения с учётом всех необходимых данных об учителе. Данная работа инициируется приказом директора в соответствии с графиком аттестации. Результатом является набор всех требовавшихся сведений.

3. *Заседание аттестационной комиссии* проводится для принятия окончательного решения о присвоении аттестуемому конкретной категории. Заседание проводится аттестационной комиссией с участием завуча и аттестуемого. Рассматриваются общие сведения об учителе, творческий отчет о работе аттестуемого и заявление, характеристика от завуча, дополнительные сведения, анализ открытых уроков и качественные показатели деятельности педагога. Созывается комиссия на основании приказа и в соответствии с графиком аттестации и руководствуется в своей деятельности формальными требованиями к аттестационной процедуре. В результате работы протоколируются результаты заседания.

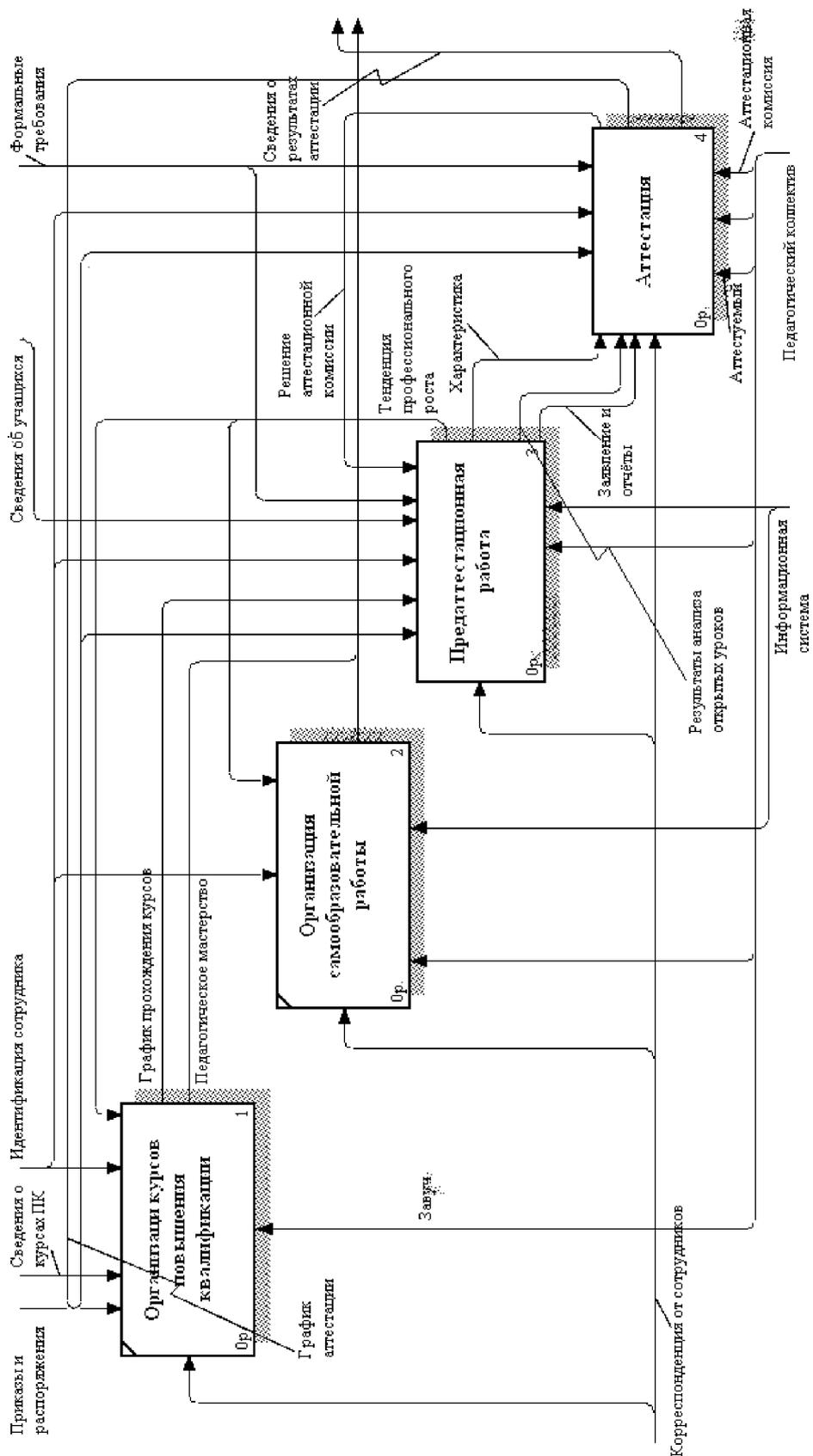


Рисунок 1 – Организация работ по повышению квалификации педагогических работников

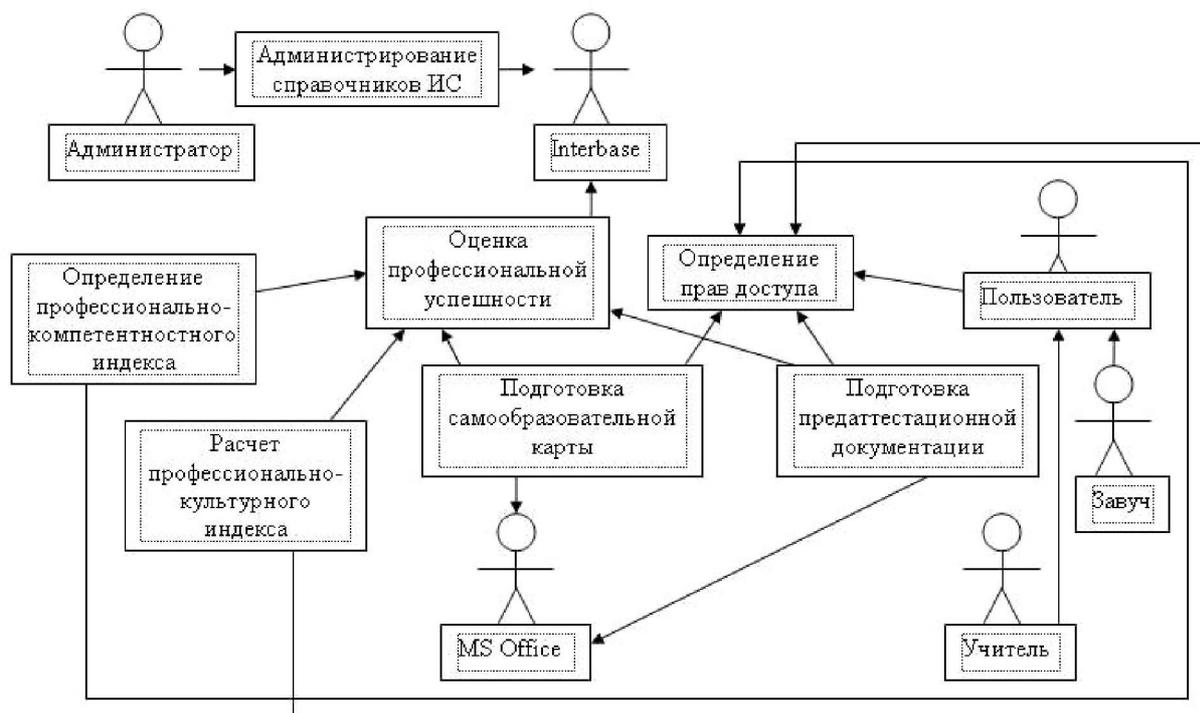


Рисунок 2 – Функциональная схема оценки профессиональной успешности педагога

Для организации самообразовательной и предаттестационной работ нами была разработана информационная система «Мониторинг профессиональной компетентности и культуры работников образования», функциональная схема которой представлена на рисунке 2. Данная СППР была реализована с помощью среды программирования *Borland® Delphi7®*, база данных создана с помощью *Borland® Interbase6.5®* по клиент-серверной технологии. Реальное функционирование БД осуществляется при помощи сервера БД *Firebird1.5®*. Данный продукт был выбран ввиду его простоты при установке на компьютере конечного пользователя, нетребовательности в ресурсах и открытой лицензии. *Firebird1.5®* полностью удовлетворяет нашим требованиям и способен предоставить весь необходимый функционал при работе БД.

### ОПИСАНИЕ СТРУКТУРЫ СППР «МОНИТОРИНГ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ КОМПЕТЕНТНОСТИ И КУЛЬТУРЫ РАБОТНИКОВ ОБРАЗОВАНИЯ»

База данных для СППР «Мониторинг профессиональной компетентности и культуры работников образования» состоит из 20 постоянных таблиц. Особенностью являются временные вспомогательные таблицы, генерируемые в процессе работы программы и удаляющиеся по завершению её работы. Они необходимы для создания сложных и гибких отчётов, предоставляемых информационной системой. Ядром базы является справочник тестов, имеющий древовидную структуру. Пользователю предоставлена возможность редактировать структуру данного дерева. База данных выполнена в соответствии с требованиями клиент-серверной технологии, все процедуры обращения к данным хранятся в самой БД и вызываются на выполнение программой.

Данная СППР представлена четырьмя модулями, информационной и методологической справками.

В качестве пользователя модуля «Администрирование» предполагается лицо, ответственное за работу с педагогическим и преподавательским составом подразделения (заведующий детским садом, завуч, методист, заведующий кафедрой). «Администрирование» позволяет осуществлять ведение всех справочников системы (список педагогов-пользователей, список должностей, тестов и типов тестов). Именно этот модуль предоставляет возможность редактирования структуры и состава дерева тестов. Также в системе справочников заложена возможность приспособления СППР под постоянно изменяющиеся требования к аттестационной процедуре и системе ранжирования квалификационных категорий. Пользователь не имеет возможности создавать новые справочники.

Модуль «Общая диагностика» – центральный модуль системы тестирования. Пользователями данного модуля предполагаются работники образовательной сферы (учителя, преподаватели, воспитатели, психологи и т.д.). Задача данного модуля – вычисление индекса профессиональной успешности для выбранного респондента. В начале работы с СППР пользователь выбирает своё имя из списка респондентов (закладывается ответственным лицом с помощью модуля «Администрирование»), выбирает интересующий его индекс и тест данного индекса (обследование показало, что многих пользователей интересует какой-то конкретный индекс, в зависимости от системы требований конкретного образовательного учреждения; даже в рамках одного расчетного индекса набор тестов может быть достаточно велик, чтобы респондент не мог ответить на все вопросы за один раз). При выборе в окне отображается вся текущая информация выбранного респондента по данному индексу (название, дата обследования, сумма, вес, актуальные показатели) или по выбранному тесту (название, дата обследования, сумма, вес, актуальные показатели, состояние обследования – зафиксировано или нет данное обследование для подсчета вышестоящего индекса).

Пользователь имеет возможность проходить обследование для саморазвития или самодиагностики и не учитывать эти результаты при прохождении аттестации. Выбрав конкретный тест, респондент может ответить на него или редактировать свои старые ответы. Так же на данном этапе возможны просмотр профессиограммы и аналитической диаграммы и генерация всех требуемых отчётов по индексу или тесту. Если респондент хочет уточнить результат, полученный в ходе «Общей диагностики», он может воспользоваться помощью «Уточняющей диагностики». Интерпретация результатов обследования также отображается в окне как для тестов, так и для целых индексов. Вычисление значений показателей индексов осуществляется в БД при помощи временных вспомогательных таблиц, упомянутых выше, с помощью суммирования результатов тестирования по определённой схеме.

Модуль «Дополнительная диагностика» используется на заключительном этапе аттестационной процедуры для учёта качественных показателей и результатов процессуальной деятельности респондента. Механизм тестирования аналогичен «Общей диагностике».

«Уточняющая диагностика» предназначена для уточнения данных, полученных в ходе «Общей диагностики», для выявления причин «западания» отдельных показателей работы педагога, т.е. содержит расширенную информацию по различным

критериям в виде тестов и «Информационной справки». Процесс тестирования в данном модуле аналогичен тестированию в «Общей диагностике» с той лишь разницей, что результаты прохождения тестов не сохраняются в БД.

«Информационная справка» была причислена нами к модулям программы на тех основаниях, что представляет для конечного пользователя не меньший интерес, чем вся информационная система в целом. Она содержит не только инструкции по эксплуатации программы, но и профессиональную педагогическую информацию (словари терминов). «Информационная справка» реализовывалась с помощью утилиты HelpManual 4.4.0.12 и вызывается из меню программы «Помощь».

«Методологическая справка» представляет собой описание методологии выявления уровня компетентности культуры и мастерства работников образования, реализованной в СППР. В данной справке содержится большой объём дополнительной информации, множество тренингов и другой крайне важной информации для деятельности методиста или завуча. «Методологическая справка» освещает такие аспекты методологии, как оценочно-диагностический, концептуально-информационный, рефлексивно-аналитический, организационно-коррекционный и аттестационно-процедурный.

Было решено защищать СППР от нелегального копирования по технологии корпорации Aladdin<sup>©</sup> Security Systems с помощью USB-ключей HASP<sup>©</sup> HL Pro и HASP<sup>©</sup> HL Net класса Software Digital Rights Management. Обследование выявило, что данная технология имеет высокую степень надёжности и её взлом представляет очень тяжёлую задачу, стоимость решения которой на много порядков превосходит стоимость СППР. В качестве программного обеспечения для шифрации готового исполняемого модуля СППР были выбраны продукты корпорации Aladdin<sup>©</sup> Security Systems Envelop 5<sup>©</sup> и Factory 5<sup>©</sup>.

## ПРАКТИЧЕСКАЯ ЗНАЧИМОСТЬ РАЗРАБОТКИ

Таким образом, вышеописанная система поддержки принятия решений «Мониторинг профессиональной компетентности и культуры работников образования» позволяет оказать помощь управленческому работнику в следующих аспектах организации работы повышения уровня педагогического мастерства всех членов педагогического коллектива:

- в анализе и самоанализе профессиональной деятельности педагога;
- в оформлении профессионально-педагогического портфолио;
- в накоплении данных изучения профессиональных способностей педагогов на основе диагностических самообразовательных карт;
- в оформлении наградных документов;
- при обобщении педагогического опыта;
- при написании отзывов, характеристик, резюме;
- при организации бесконфликтного предаттестационного образовательного пространства;
- при диагностике профессиональной компетентности, культуры и мастерства работников образования;
- при организации и проведении методической работы, создании психологической, консалтинговой и других образовательных служб в школьно-дошкольном образовательном учреждении;

- для концептуального обоснования авторских моделей, проектов, программ;
- для организации деятельностных игр («ОДИ»), «круглых столов», «методических посиделок», профессионально-тренинговых занятий и др.

Работа внедрена в образовательные заведения разных уровней – детские сады, школы, училища, вузы Красноярска и Красноярского края.

### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Никитина М.И. Системы и технологии поддержки принятия решений. – Красноярск : ИПЦ КГТУ, 2005. – 131 с.
2. Эверт Н.А. Профессиональная компетентность: диагностика профессиональной компетентности работников образовательных учреждений (педагог, педагог-организатор, педагог дополнительного образования, педагог-психолог, учитель-логопед, воспитатель, методист). – Красноярск : КГПУ им. В.П. Астафьева, 2005. – 252 с.
3. Эверт Н.А. Диагностика профессиональной культуры и мастерства работников образования. – Красноярск : РИО КГПУ, 2004. – 356 с.

**Якимов Сергей Петрович**

ГОУ ВПО «Сибирский государственный технологический университет»

Доцент

660060, г. Красноярск, ул. Ады Лебедевой, д. 47, кв. 82

Тел.: 8(391)2-11-22-32

E-mail: ysp2005@yandex.ru

**Якимов Игорь Сергеевич**

ГОУ ВПО «Сибирский государственный технологический университет»

Аспирант

660060, г. Красноярск, ул. Ады Лебедевой, д. 47, кв. 82

Тел.: 8(391)2-11-22-32

E-mail: yakimovtemp@yandex.ru.

**АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ  
ПРОЦЕССАМИ И ПРОИЗВОДСТВАМИ**

УДК 621.3.084.2

М.С. БОНДАРЬ, С.Н. БОНДАРЬ

**РАЗРАБОТКА ИЗМЕРИТЕЛЬНО-ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО  
КОМПЛЕКСА КОНТРОЛЯ УРОВНЯ НАПРЯЖЕНИЯ  
С ВОЗМОЖНОСТЬЮ КОРРЕКЦИИ ПОГРЕШНОСТЕЙ  
ВХОДЯЩЕГО В ЕГО СОСТАВ ЦИФРОВОГО ВОЛЬТМЕТРА**

*В статье показана актуальность применения систем контроля и анализа качества электроэнергии, важнейшей составной частью которых являются измерительно-вычислительные комплексы. Обоснованы преимущества построения подобного комплекса на базе персонального компьютера. Решена задача повышения точности входящего в состав комплекса измерительного устройства – цифрового вольтметра. Разработаны и реализованы схема и устройство измерительно-вычислительного комплекса с возможностью коррекции погрешностей цифрового вольтметра.*

**Ключевые слова:** качество электроэнергии; информационная система; измерительно-вычислительный комплекс; цифровой вольтметр; коррекция погрешностей.

*In article is reflected the urgency of application the systems of monitoring and analysis the quality of the electric power, which major component are the measurement-calculation complexes. Are proved the advantages of construction the similar complex on the basis of the personal computer. Is decided the task of increase the accuracy of a measuring device - digital voltmeter this complex. Are developed and are realized the circuit and device of the measurement-calculation complex with an opportunity of correction the errors of the digital voltmeter.*

**Keywords:** quality of the electric power; information system; measurement-calculation complex; digital voltmeter; correction of errors.

Целью всех организаций, осуществляющих производство, передачу и распределение электрической энергии, является поставка конечным потребителям электрической энергии, объем и качество которой соответствует договорным отношениям. Появление нового поколения средств измерений показателей качества электроэнергии (ПКЭ) и внедрение в эксплуатационную практику нормативных документов по контролю и анализу качества электроэнергии создало предпосылки для организации системы контроля и анализа качества электроэнергии у поставщиков и потребителей электроэнергии и создания систем управления качеством у поставщиков. Их важнейшей составной частью являются универсальные информационно-измерительные системы, выполняющие следующие функции: измерение напряжения на объекте электроснабжения; контроль его уровня; и, при отклонении от нормы, передача информации на центральный диспетчерский пункт, где принимается решение о регулировании напряжения с помощью специальных устройств регулирования напряжения.

Для получения точной своевременной информации о контролируемых параметрах электрической энергии целесообразно использовать не отдельные средства измерения, а совокупность технических средств сбора и первичной обработки, входящих в состав измерительно-вычислительного комплекса (ИВК).

В общем случае, измерительно-вычислительные комплексы, построенные на базе ЭВМ, предназначены для измерения, обработки, передачи и хранения информации о заданных показателях качества электроэнергии, поступающей в реальном масштабе времени.

Причинами, объясняющими целесообразность использования подобного ИВК вместо обычных средств измерения, являются следующие:

- с момента начала разработки многих измерительных приборов прошло несколько десятков лет, эти средства морально устарели;
- выпускаемые цифровые приборы имеют высокую стоимость, чем объясняется их ограниченное применение;
- аналоговые приборы не обладают возможностью сопряжения с ЭВМ и, как следствие, имеют следующие недостатки: отсутствие дистанционного управления; невозможность включения в систему автоматизированного управления, а значит, в случае их использования будет затруднена процедура обработки и хранения информации;
- снижение рентабельности прибора за счет включения в него блоков самотестирования, отображения информации, дополнительных устройств преобразования, индикации режимов;
- в ряде средств измерения ПКЭ для получения суточного протокола измерений, как этого требует ГОСТ 13109-97, используются результаты измерений, полученные, начиная с 0 до 24 часов, а так как обычные средства измерения включаются в месте измерений в течение первой половины дня, то эффективность использования средств измерений существенно снижается, так как результаты измерений первой половины суток попусту теряются. Вследствие этого не обеспечивается непрерывный мониторинг ПКЭ;
- в системах с обычными средствами измерения не предусматривается автоматическая статистическая обработка ПКЭ за определенный период времени, что усложняет сопоставление результатов измерений с требованиями стандарта.

Измерительно-вычислительный комплекс на базе ЭВМ не содержит недостатков, перечисленных выше. Он выполняется на базе обычного компьютера, повышающего качество измерений и контроля уровня напряжения в системах электроснабжения. Компьютер как центральный орган измерительной системы выполняет, прежде всего, функции интерфейса «человек – объект измерения». Экран монитора дает гораздо больше возможностей для индикации, чем дисплей мультиметра, экран осциллографа. Клавиатура и особенно мышь гораздо удобнее в работе, чем кнопки, а простейший принтер предоставляет неоценимые возможности для документирования результатов на бумагу.

Даже очень «древняя» ЭВМ обладает достаточной вычислительной мощностью, чтобы применить различные виды обработки результатов измерений: нормирование, линеаризацию, вычисление среднего, статистику, коррекцию составляющих

погрешности измерений и т.д. Дисковый накопитель очень удобен для накопления больших объемов данных с целью их последующей обработки, архивирования или передачи по линиям связи с помощью модема.

Поэтому преимущества измерительно-вычислительного комплекса на базе ЭВМ следующие:

- обработка и передача информации программными и аппаратными средствами;
- возможность одновременного решения задач сбора, обработки, передачи и хранения информации;
- большие информационные объемы запоминающих устройств;
- возможность разработки программного обеспечения своими силами или силами сторонних производителей;
- возможность шифрования информации в рамках обеспечения безопасности информации;
- постоянно растущая скорость обработки информации;
- большая надежность и ремонтпригодность.

Наличие перечисленных свойств, характерных для измерительно-вычислительных комплексов, позволяет автоматизировать процесс контроля одного из важнейших ПКЭ – отклонения напряжения и при необходимости передавать информацию на дальние расстояния.

Применение на контрольных пунктах измерительно-вычислительных комплексов контроля уровня напряжения также позволит упорядочить сбор измерительной информации, разгрузить персонал, сократить непроизводительные издержки для выявления причин нарушения ПКЭ, получить данные для обоснования договорных условий с вышестоящими поставщиками, оценить состояние собственных сетей для выполнения требований ГОСТ 13109-97.

В качестве измерительных устройств измерительно-вычислительных комплексов используются универсальные цифровые вольтметры (ЦВ), которые занимают не последнее место в величине вносимой погрешности и стоимости, так как являются достаточно сложными устройствами, содержащими большое количество элементов (операционные усилители, компараторы напряжения, аналоговые переключатели и др.). В частности, широко распространенные вольтметры В7-22, В7-23 характеризуются низким классом точности (наименьший предел основной погрешности  $\pm 0,35\%$ ).

В связи с этим необходимо повысить точность конечного результата измерения цифровыми вольтметрами измерительно-вычислительных комплексов, то есть снизить возникающие в процессе измерения погрешности. Как показали проведенные исследования, это возможно лишь в случае предусмотренной в работе измерительно-вычислительного комплекса автоматической коррекции результатов измерения.

Так как аппаратная компенсация погрешностей цифровых вольтметров приводит к значительному усложнению аппаратуры, то целесообразно использование программно-алгоритмических методов автоматической коррекции погрешностей. В данной статье рассматривается устройство, позволяющее реализовать цифровую автоматическую коррекцию погрешностей цифрового вольтметра, входящего в состав ИВК контроля уровня напряжения в системах электроснабжения на основе

итерационного метода касательных (Ньютона). При этом осуществляется измерение неизвестной измеряемой величины и ряда значений образцового сигнала, формируемых цифро-аналоговым преобразователем (ЦАП), а затем с полученными кодами в вычислительном устройстве производятся математические операции, приводящие к получению цифрового результата измерения, полностью или частично свободного от погрешностей.

Применение программно-алгоритмических методов автоматической коррекции погрешностей цифровых вольтметров позволит получить достоверную информацию, а также обеспечить метрологическую готовность системы без использования стандартных метрологических процедур и образцового оборудования.

Схема реализации алгоритма автоматической коррекции погрешностей цифровых вольтметров (схема реализации измерительно-вычислительного комплекса) примет вид, показанный на рисунке 1.

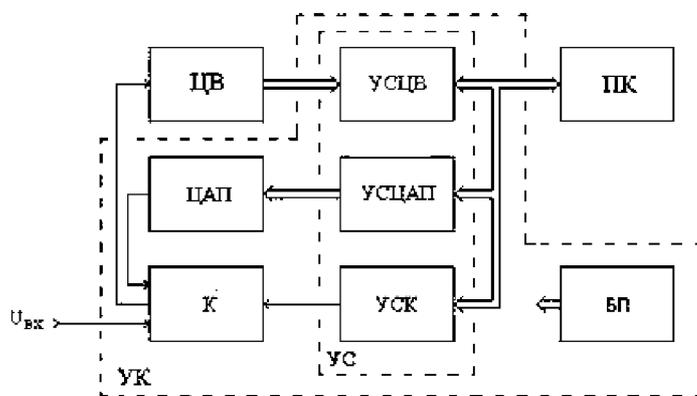


Рисунок 1 – Предварительная схема реализации измерительно-вычислительного комплекса

На рисунке показаны: УС – устройство сопряжения; УСЦВ – устройство сопряжения с ЦВ; УСЦАП – устройство сопряжения с ЦАП; УСК – устройство сопряжения с коммутатором; БП – блок питания; УК – устройство коррекции; ПК – персональный компьютер.

К персональному компьютеру, входящему в состав измерительно-вычислительного комплекса и играющему роль вычислителя, оконечные устройства (ЦВ, К, ЦАП) через устройства сопряжения (УСЦВ, УСЦАП, УСК) могут быть подключены тремя путями, соответствующими трем типам стандартных внешних интерфейсов, средства которых входят в базовую конфигурацию компьютера:

- через системную магистраль или шину (ISA, EISA, PCI, VESA, PCMCIA, VLB);
- через параллельный интерфейс Centronics;
- через последовательный интерфейс RS-232C.

Каждый из трех указанных методов подключения имеет свои преимущества и недостатки. Выбор одного из них — важнейший шаг в самом начале процесса проектирования измерительно-вычислительного комплекса. В таблице 1 приведено сравнение этих трех методов подключения по восьми параметрам, которые надо учитывать при выборе одного из них.

Таблица 1 – Сравнительная характеристика стандартных интерфейсов

<b>Параметр</b>	<b>Тип интерфейса</b>		
	<i>Системная магистраль ISA</i>	<i>Интерфейс Centronics</i>	<i>Интерфейс RS-232C</i>
Скорость обмена	Высокая (до 5 Мбайт/с и выше)	Средняя (до 100 Кбайт/с)	Низкая
Длина и тип линии связи с компьютером	Встроенные УС (линия связи отсутствует)	СДо 2 м, многопроводный кабель	До 15 м, одиночный провод
Допустимая сложность УС	От малой до средней	Любая	Любая
Сложность узлов сопряжения с интерфейсом	От малой до средней	От малой до средней	От средней до высокой
Дополнительный конструктив	Не нужен	Нужен	Нужен
Внешний источник питания	Не нужен	Нужен	Нужен
Формат и разрядность данных	Параллельный, 8 или 16 разрядов	Параллельный, 8 разрядов	Последовательный
Количество УС, подключаемых к компьютеру	До 6	1	1

Из таблицы 1 видно, что выбор системной магистрали обеспечивает наибольшую скорость обмена. При этом не требуется ни отдельного конструктива (плата устройства сопряжения устанавливается в корпус компьютера), ни дополнительного источника питания (используется тот, который есть в компьютере). В то же время одноплатное исполнение ограничивает сложность устройства сопряжения, а соседство с быстродействующими и мощными цифровыми узлами компьютера приводит к высокому уровню электромагнитных помех и наводок по цепям питания.

Выбор Centronics или RS-232C позволяет расположить устройства сопряжения (причем любой сложности) на большом расстоянии от компьютера. Но при этом достигается гораздо меньшая скорость обмена, а также требуется внешний конструктив и дополнительный источник питания, что существенно увеличивает стоимость системы. Немаловажно и то, что без специальных ухищрений через эти интерфейсы можно подключить только одно устройство сопряжения. Что касается сложности узлов сопряжения (интерфейсной части устройств сопряжения), то понятно, что обмен в параллельном формате гораздо проще, чем в последовательном.

Важнейшим элементом в пользу выбора Centronics является:

1. цифровые вольтметры, используемые в составе измерительно-вычислительных

комплексов, характеризуются наличием выходов (на внешнее цифropечатающее устройство), выполненных в виде многштырькового разъема, обеспечивающего передачу информации в параллельном коде. Причем информация выдается в двоично-десятичном коде в виде уровней напряжения соответствующих уровням сигналов ТТЛ-логики, согласованных с уровнями логических сигналов параллельного порта ЭВМ, а значит, применение Centronics позволит снизить сложность устройства сопряжения с цифровым вольтметром;

2. цифро-аналоговые преобразователи, используемые в составе устройства коррекции измерительно-вычислительного комплекса могут быть как с последовательным, так и с параллельным входом, однако, в случае использования Centronics параллельный вход позволит снизить сложность устройства сопряжения с цифро-аналоговым преобразователем;

3. состояние коммутатора (замкнутые или разомкнутые контакты) фиксируется без учета времени следования цифровых потоков управляющих цифро-аналоговых преобразователей, поэтому выбор Centronics позволит снизить сложность устройства сопряжения с коммутатором.

Интерфейс Centronics и, соответственно, параллельный порт персонального компьютера ориентированы на подключение принтера. Подтверждением этому является и название сигналов интерфейса: AUTO FD – автоматический перевод бумаги; PE – конец бумаги и т.д. Однако при разработке УС для подключения к интерфейсу Centronics его сигналы могут быть использованы произвольно. Вместе с тем все сигналы интерфейса можно разделить на четыре группы:

1. пятиразрядная шина состояния для чтения в компьютер (сигналы – STATUS3...STATUS7);
2. восьмиразрядная шина данных для записи из компьютера (сигналы DATA0...DATA7);
3. четырехразрядная шина управления для записи из компьютера (сигналы – CONTROL0...CONTROL3);
4. шина «земли» – GND1...GND8.

Разводка контактов интерфейса Centronics (параллельного порта персонального компьютера) – разъем DB25S, приведена на рисунке 2.

Все сигналы интерфейса программно доступны, что позволяет реализовать произвольные протоколы информационного обмена в рамках имеющегося их набора и быстродействия компьютера. Простейший анализ набора сигналов позволяет выделить основную проблему, возникающую при сопряжении устройств с интерфейсом Centronics.

Поскольку шина данных является однонаправленной (что позволяет использовать ее только на вывод), для ввода данных необходимо использовать сигналы из пятиразрядной шины состояния. Таким образом, если не предпринимать специальных шагов, разрядность информационного обмена по чтению ограничена пятью линиями.

Вместе с тем, использование в составе ИВК цифрового вольтметра, например, В7-22А, разводка контактов выходного разъема которого приведена на рисунке 3, предполагает наличие как минимум двадцатипроводной линии.

Поэтому рассмотренная ранее схема реализации ИВК (рисунок 1) теперь примет вид, показанный на рисунке 4.

DB25S	
Цепь	Конт.
CONTROL0	1
DATA0	2
DATA1	3
DATA2	4
DATA3	5
DATA4	6
DATA5	7
DATA6	8
DATA7	9
STATUS6	10
STATUS7	11
STATUS5	12
STATUS4	13
CONTROL1	14
STATUS3	15
CONTROL2	16
CONTROL3	17
GND1-8	18-25

Рисунок 2 – Схема разводки контактов разъема DB25S

MPM-22	
Цепь	Конт.
1-1-й	10
2-1-й	8
4-1-й	9
8-1-й	7
1-2-й	15
2-2-й	17
4-2-й	18
8-2-й	16
1-3-й	19
2-3-й	21
4-3-й	22
8-3-й	20
1 ст. разряда	12
Перегрузка	13
3пт долей ед.	4
3пт единиц	3
3пт десятков	1
3пт сотен	2
Поляр. «—»	14
Имп конца изм	11
Общий	5
Вход счетчика	6

Рисунок 3 – Схема разводки контактов разъема MPM-22 ЦВ В7-22А

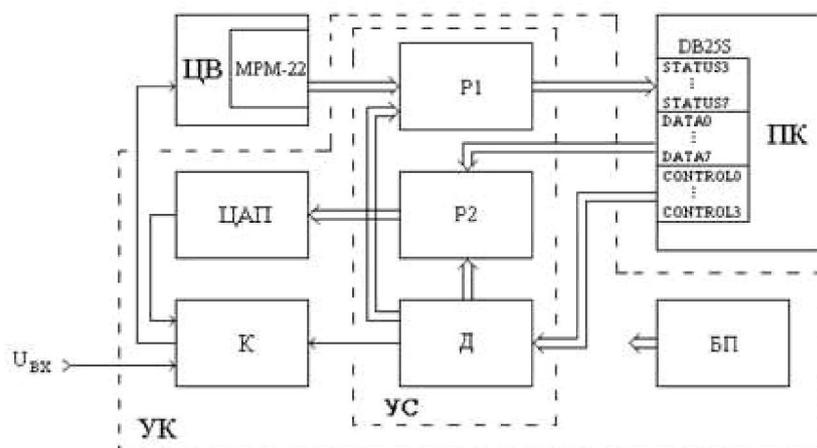


Рисунок 4 – Окончательная схема реализации измерительно-вычислительного комплекса

На рисунке показаны: P1 – регистр №1; P2 – регистр №2; Д – дешифратор. На рисунке 5 приведена фотография готовой монтажной платы устройства коррекции.



**Рисунок 5 – Монтажная плата устройства коррекции**

Измерительно-вычислительный комплекс функционирует следующим образом. В исходном состоянии входной измеряемый сигнал через коммутатор поступает на вход цифрового вольтметра В7-22А. Момент окончания измерений определяется персональным компьютером путем анализа сигнала на выходном разъеме В7-22А (МРМ-22, контакт 11 – DB25S, контакт 10).

По команде персонального компьютера (DB25S, контакты 1, 14, 16, 17) дешифратор обеспечивает запись выходного кода цифрового вольтметра в регистр P1 (20 разрядная кодограмма в параллельном коде). Серией из 4 команд, поступающих с персонального компьютера (DB25S, контакты 1, 14, 16, 17), дешифратор обеспечивает перезапись выходного кода цифрового вольтметра из регистра P1 (4 серии 5-разрядных кодограмм, представленных в параллельном коде) в компьютер (DB25S, контакты 10...13, 15).

Компьютер анализирует принятую информацию, формирует код эталонного сигнала – 2 серии импульсов, несущих информацию о знаке (DB25S, контакт 2 – первая серия импульсов) и модуле сигнала (DB25S, контакты 6÷9 – первая серия импульсов, контакты 2÷9 – вторая серия импульсов). Одновременно по команде компьютера (DB25S, контакты 1, 14, 16, 17) дешифратор обеспечивает запись каждой серии кода модуля эталонного сигнала в регистр P2 (12-разрядная кодограмма в параллельном коде) и кода знака эталонного сигнала в триггер памяти цифро-аналогового преобразователя. По команде компьютера (DB25S, контакты 1, 14, 16, 17) дешифратор обеспечивает запись выходного кода модуля эталонного сигнала из регистра P2 во внутренний регистр цифро-аналогового преобразователя (12-разрядная кодограмма в параллельном коде).

По команде компьютера (DB25S, контакты 1, 14, 16, 17) дешифратор переводит коммутатор в режим коррекции. Дальнейший алгоритм работы измерительно-вычислительного комплекса повторяется вплоть до принятия решения компьютером о достижении заданной точности измерения.

По команде компьютера (DB25S, контакты 1, 14, 16, 17) дешифратор переводит коммутатор в режим измерения – измерительно-вычислительный комплекс готов к последующим измерениям.

Как было сказано выше, разработанный измерительно-вычислительный комплекс выполняется на базе персонального компьютера. Для нормального функционирования которого, естественно, требуется некоторое программное обеспечение, которое в своей совокупности является стандартным: Windows

98/2000/XP, драйвера параллельного порта. Особый интерес представляет исполнительная программа. Окно данной программы приведено на рисунке 6.

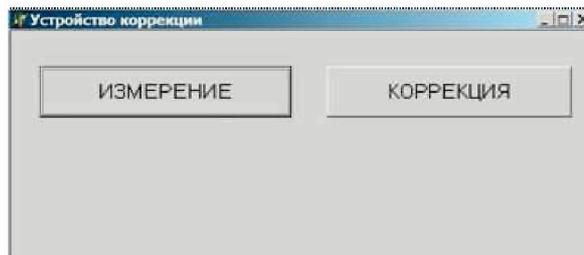


Рисунок 6 – Окно программы

Для запуска исполнения программы необходимо нажать клавишу «измерение». В окне программы отобразится измеренная величина (рисунок 7). Для расчета скорректированного результата необходимо нажать клавишу «коррекция». В окне программы отобразится значение скорректированного результата (рисунок 8).

Таким образом, коррекция погрешностей осуществляется в системе с обратной связью, то есть в автоматическом режиме. Программа в состоянии самостоятельно контролировать уровни составляющих неидеальностей аналого-цифрового преобразователя цифрового вольтметра в каждой точке характеристики и корректировать программу для обеспечения физической реализуемости и сходимости итерационных процессов. Программа автоматической коррекции погрешностей адаптирована к входному сигналу, то есть способна восстанавливать значения изменяющегося во времени входного сигнала.

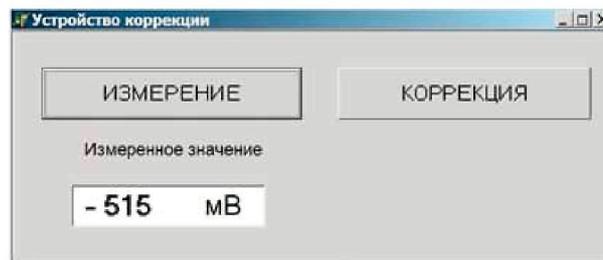


Рисунок 7 – Окно программы, режим «измерение»

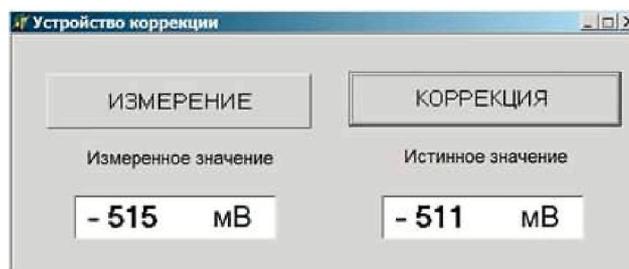


Рисунок 8 – Окно программы, режим «коррекция»

Фотография разработанного измерительно-вычислительного комплекса представлена на рисунке 9.



**Рисунок 9 – Разработанный измерительно-вычислительный комплекс**

**Бондарь Мария Сергеевна**

ГОУ ВПО Ставропольский военный институт связи ракетных войск  
Старший преподаватель кафедры технического обеспечения связи и АСУ  
355004, г. Ставрополь, ул. Лермонтова, 103, кв. 67  
Тел.: 8 (8652) 24-75-00, 8-918-885-93-16  
E-mail: bond\_sn@mail.ru

**Бондарь Сергей Николаевич**

ГОУ ВПО Ставропольский военный институт связи ракетных войск  
Кандидат технических наук, доцент кафедры радиоэлектроники  
355004, г. Ставрополь, ул. Лермонтова, 103, кв. 67  
Тел.: 8 (8652) 24-75-00, 8-919-737-63-60  
E-mail: bond\_sn@mail.ru

УДК 681.5.015

С.Ю. РАДЧЕНКО, В.Н. МИХАЙЛОВ, А.В. КИСЕЛЕВ

**МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ МАШИНЫ  
ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ МЕДНОЙ СТРЕНГИ  
СПОСОБОМ SZ-СКРУТКИ**

*Разработана гибридная модель системы управления свивочной машины SZ-скрутки. Предложена методика моделирования в программе Simulink и Stateflow. Представлены результаты моделирования.*

**Ключевые слова:** имитационное моделирование; автоматизированная система управления; SZ-скрутка.

*Hybrid model of SZ-stranding machine control system has been developed in this work. Simulation ethod in Simulink and Stateflow have been proposed. Simulation data have been represented.*

**Keywords:** simulation; automated control system; SZ-twist.

В настоящее время производители кабельной продукции все больше обращают внимание на высокоэкономичные технологии производства. Одной из таких является технология разнонаправленной скрутки (SZ-скрутка), которая все чаще применяется в производстве медной витой структуры – стренги.

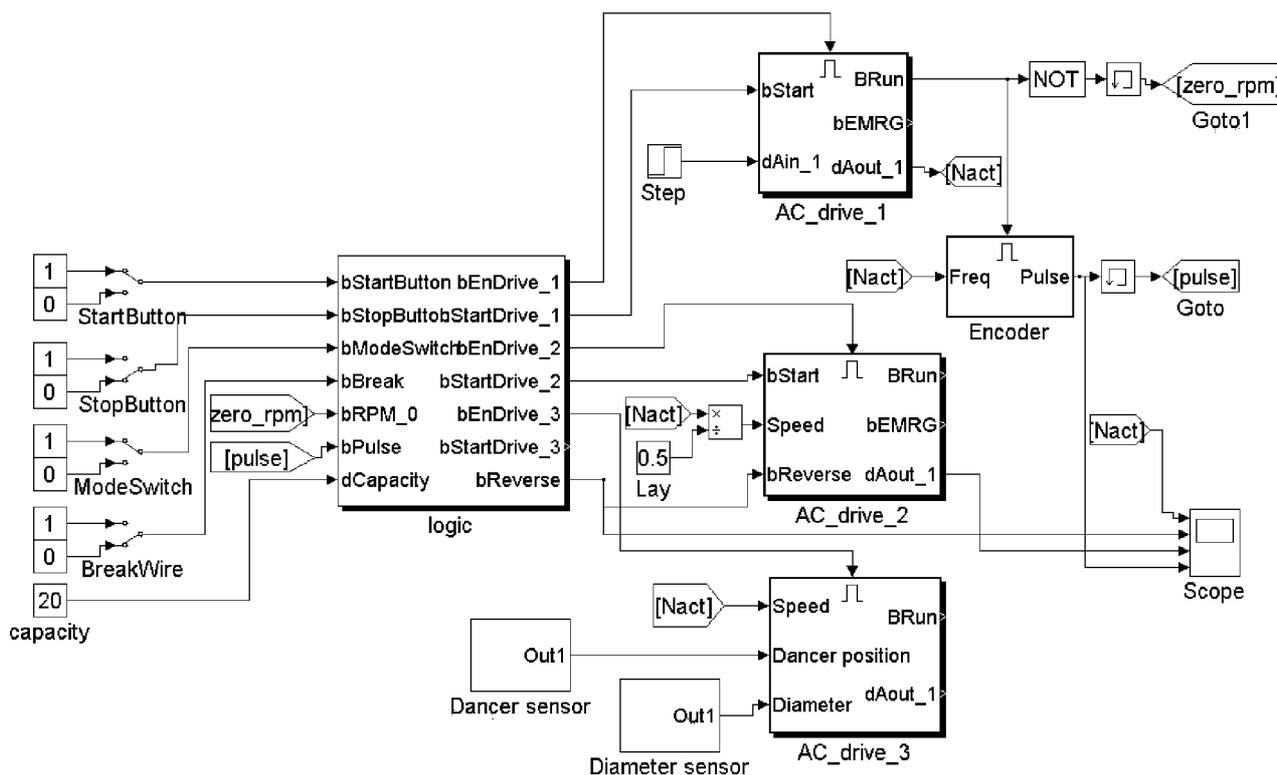
Несмотря на целый ряд преимуществ, данный способ скрутки имеет особенности, затрудняющие его реализацию при разработке систем управления свивочных машин. Процесс изменения направления скрутки имеет переходный характер и не может произойти мгновенно даже в идеальном случае, при мгновенном реверсировании накопителя, которое неосуществимо вследствие инертности системы. Кроме того, если реверсирование накопителя будет произведено с запозданием или, наоборот, преждевременно, то на выходе, в местах искажения шага, связанных с самим процессом изменения направления скрутки, появятся дополнительные искажения, обусловленные неточностью момента реверсирования. Точное согласование длины укладываемого в накопителе пучка с линейной скоростью пучка и периодичностью реверсирования накопителя, резкое торможение и быстрый разгон накопителя, обладающего определенной массой и делающего несколько сотен оборотов в минуту, представляет сложную техническую задачу [1].

Системы управления первых машин SZ-скрутки таких фирм, как «Siemens», «Nokia», «Fujikura», были созданы на базе релейно-контактных схем и аналогового электропривода постоянного тока. В качестве датчиков обратной связи по скорости применялись тахогенераторы, имеющие тот же недостаток, что и коллекторные двигатели – износ токоподводящих узлов. Данные решения отличались низкой помехоустойчивостью, сложностью в настройке и нестабильностью параметров. Для реверсивных приводов после тахогенераторов приходилось устанавливать диодный мост, что ограничивало диапазон регулирования на малых скоростях из-за пропадания обратной связи. Кроме того, частое профилактическое обслуживание коллекторно-щёточных узлов ограничивали общую производительность свивочных

машин. Со временем релейно-контактные схемы были вытеснены программируемыми логическими контроллерами (ПЛК) и более совершенными приводами постоянного тока и решениями на базе управляемых электромагнитных муфт[2].

В настоящее время системы управления ведущих производителей свивочного оборудования («Sket», «Rosendahl», «Dunst», «Miyzaki» и др.) разрабатываются как на базе ПЛК, так и все чаще на базе программируемых контроллеров автоматизации (РАС), объединивших в себе надежность традиционных ПЛК с гибкостью и вычислительной мощностью современных ПК с развитыми сетевыми интерфейсами для создания распределенных систем ввода-вывода[3]. В качестве электропривода широко применяются асинхронный двигатель с частотным преобразователем и обратной связью по скорости, осуществляемой при помощи цифровых датчиков угловых перемещений – инкрементальных энкодеров [4].

Учитывая эти факторы, целесообразно рассматривать цифровые системы, осуществляющие управление подобными процессами в реальном масштабе времени, как достаточно сложные для анализа гибридные объекты. Различные части системы имеют разную природу (непрерывный объект и дискретная управляющая часть), а в целом система описывается сложной комбинацией дифференциальных уравнений, алгебраических уравнений и логических условий[5].



**Рисунок 1 – Имитационная модель системы управления свивочной машины SZ-скрутки**

В этих условиях аналитическое исследование поведения подобных цифровых систем управления затруднено, поэтому наиболее естественным представляется путь имитационного моделирования. Одним из вариантов разработки имитационной модели

гибридной системы является совместное применение программы Simulink[6] и входящего в его состав модуля Stateflow. Благодаря использованию языка диаграмм состояний и переходов, Stateflow [7] позволяет получить достоверное описание управляющей части моделируемой системы.

Разработанная модель (рисунок 1) включает в свой состав подсистемы, имитирующие работу внешних управляющих сигналов, логического контроллера, электроприводов исполнительных механизмов и средств обратной связи.

### **ОПИСАНИЕ БЛОКОВ МОДЕЛИ**

Блоки StartButton, StopButton, ModeSwitch, BreakWire используются для моделирования внешних сигналов от кнопок «Пуск», «Останов», переключателя режима работы и датчика обрыва проволоки на питающих катушках соответственно. Блок Capacitor и Lau используются для задания емкости накопителя и шага скрутки.

### **ПОДСИСТЕМА «LOGIC»**

В подсистеме «Logic» содержатся Stateflow-диаграмма Control Logic и подсистема Rotator. Диаграмма Control Logic описывает реакцию системы на внешние сигналы от кнопок, переключателей и датчиков, в соответствии с которыми формирует внешние управляющие дискретные сигналы на блоки и подсистемы Simulink-модели. Подсистема Rotator выполняет роль генератора сигнала смены направления вращения в зависимости от текущей линейной скорости пучка, заходящего в накопитель, и его емкости.

### **ПОДСИСТЕМЫ «AC\_DRIVE\_1», «AC\_DRIVE\_2», «AC\_DRIVE\_3»**

Система «асинхронный двигатель-преобразователь частоты» на данном этапе моделирования рассматривалась как идеальный электромеханический преобразователь, отрабатывающий без статических и динамических ошибок заданное воздействие [8]. Подсистема AC\_DRIVE\_1 моделирует работу привода тянущего устройства. Основной блок этой подсистемы - рамп-генератор Sramp. Данный блок является источником линейно-изменяющегося сигнала, имитирующим изменение сигнала в соответствии с технологическим процессом на аналоговом выходе блока управления частотного преобразователя. Выходной сигнал блока изменяется пропорционально текущим оборотам соответствующего двигателя с учетом максимально и минимально возможной скорости изменения сигнала, а также допустимых пороговых значений. Во избежание рывков при изменении сигнала задания реализована функция S-сглаживания.

Подсистема AC\_DRIVE\_2 моделирует работу привода вращающегося накопителя и включает в свой состав рамп-генератор с реализованной функцией реверса направления вращения путем задания управляющего сигнала противоположного знака. Подсистема AC\_DRIVE\_3 моделирует работу привода намоточного аппарата и включает в свой состав рамп-генератор, подсистему регулирования положения балерины Dancer sensor и подсистему обработки сигнала с датчика диаметра намотки тарной катушки. Подсистема регулирования положения балерины необходима для поддержания требуемого натяжения стренги, наматываемой на катушку [9]. Скорость намотки обратно пропорциональна текущему диаметру намотки. Эта зависимость носит гиперболический характер и реализована в подсистеме обработки сигнала с датчика диаметра намотки тарной катушки Diameter sensor.

### ПОДСИСТЕМА «ENCODER»

Подсистема «Encoder» (рисунок 2) моделирует работу датчика угловых перемещений - инкрементального энкодера. В зависимости от частоты и сдвига фаз двух выходных сигналов (прямоугольных импульсов) можно определять направление и скорость вращения исполнительного механизма. Подсистема используется для определения длины протянутого пучка через накопитель.

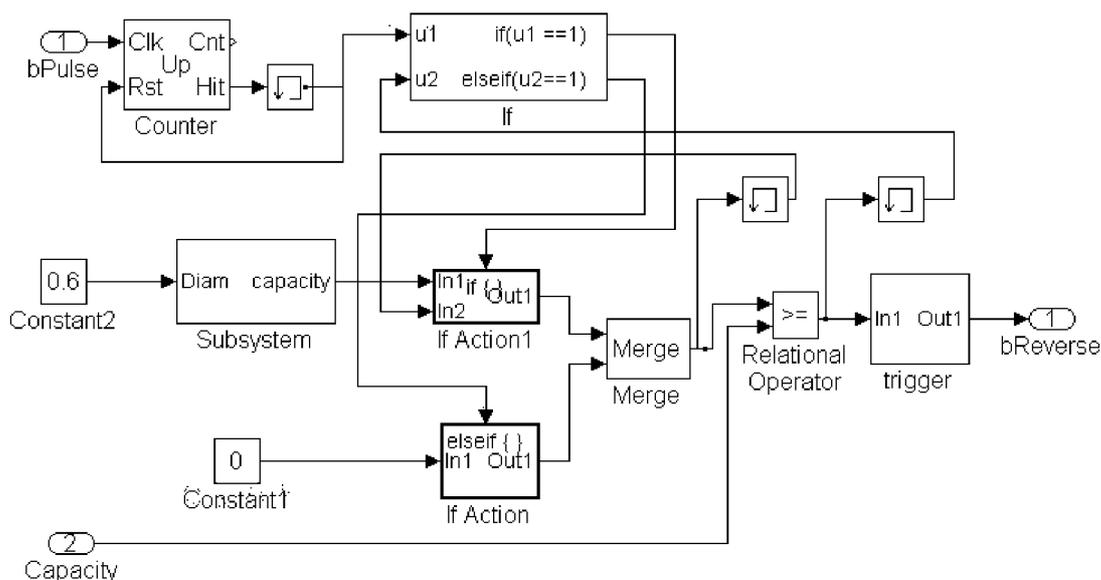


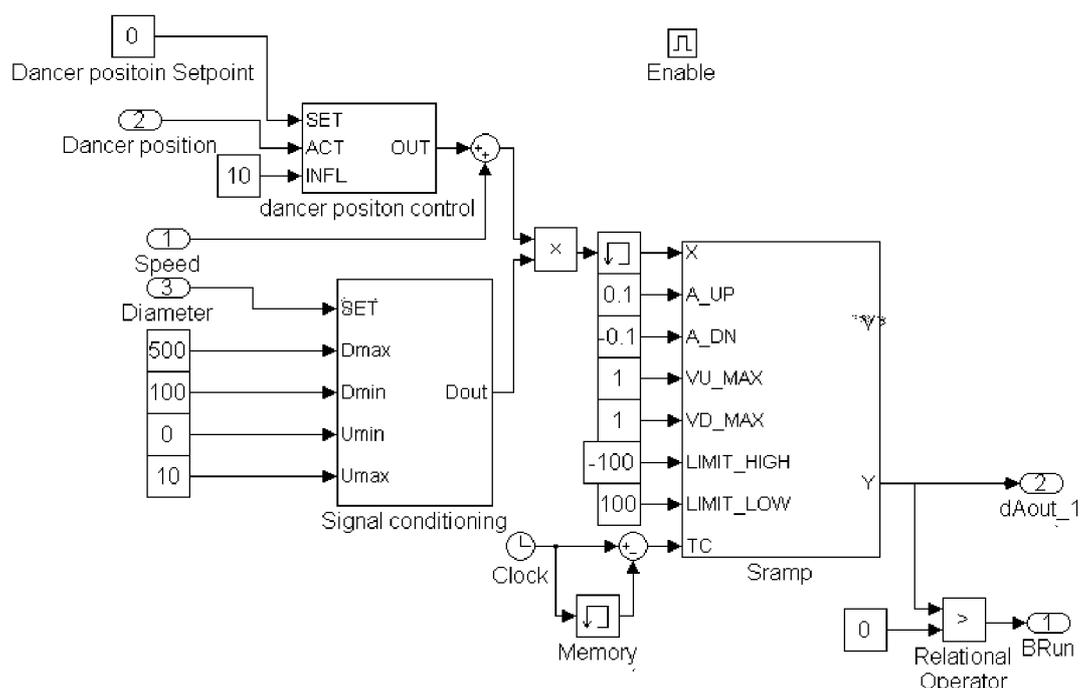
Рисунок 2 – Подсистема, моделирующая инкрементальный энкодер

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработанная модель позволяет получать аналитические зависимости между основными управляющими сигналами рассматриваемой системы управления в зависимости от заданных значений шага скрутки, емкости вращающего накопителя, линейной скорости пряди и времени разгона/торможения тянущего устройства. На рисунке 3 представлены (начиная сверху) результаты моделирования:

- первое окно – зависимость сигнала текущих оборотов двигателя тянущего устройства от времени (В/сек);
- второе окно – сигнал для реверсирования вращающего накопителя;
- третье окно – зависимость текущих оборотов двигателя вращающего накопителя от времени (В/сек). Смена знака соответствует вращению в противоположную сторону;
- четвертое окно – зависимость выходного сигнала инкрементального энкодера от времени.

Дальнейшие исследования планируются направить на усложнение предложенной модели путем ввода передаточных функций объектов регулирования с целью синтеза оптимальных регуляторов.



**Рисунок 3 – Осциллограммы управляющих сигналов**  
*AC\_DRIVE\_1- привода тянущего устройства, REVERSE- смены направления вращения подсистемы logic, AC\_DRIVE\_2-привода вращающегося накопителя, ENCODER-инкрементального энкодера.*

## ЛИТЕРАТУРА

1. Бабицкий О.Ш., Лехтман Л.Я. Технология скрутки кабелей (крутильное оборудование кабельного производства). М.: Энергия, 1978. – 64 с.
2. Булькин А.К., Кижаяев С.А., Хореев И.В. Система автоматического контроля шагов скрутки жил в пару и пучок. «Приборы и системы управления», 1999 №3. – 45 с.
3. Рейгер Грича. Микро-ПЛК. «ControlEngineering Россия». <http://www.controlengrussia.com/pierw0206.php4?num>.
4. Miyazaki Machinery syst. [http://www.miyazakijp.com/en/products/s\\_slc/sz\\_laying.html](http://www.miyazakijp.com/en/products/s_slc/sz_laying.html).
5. Рогачев Г.Н. Моделирование в simulink-stateflow цифровой системы управления. <http://matlab.exponenta.ru/stateflow/book3/index.php>
6. Черных И.В. Simulink: среда создания инженерных приложений. М.Ж Диалог-МИФИ, 2003.-400 с.
7. Рогачев Г.Н. Stateflow 5. Руководство пользователя <http://matlab.exponenta.ru/stateflow/book1/index.php>
8. Ильинский Н.Ф., Козаченко В.Ф. Общий курс электропривода: Учебник для вузов. М.: Энергоатомиздат, 1992. – 23 с.
9. Радченко С.Ю., Павлов А.В., Киселев А.В. Система автоматического управления станком для перематки проволоки <http://poznanie.ostu.ru/science/ti2008/papers/kiselev.pdf>

**Радченко Сергей Юрьевич**

Орловский государственный технический университет, г. Орел  
Доктор технических наук, профессор, проректор ОрелГТУ  
Тел. (4862) 43-71-25  
E-mail: sur@ostu.ru

**Михайлов Валерий Николаевич**

Орловский государственный технический университет, г. Орел  
Доцент кафедры «Автопласт»  
Тел. (4862) 41-98-59  
E-mail: vm@mx.ostu.ru

**Киселев Андрей Викторович**

Орловский государственный технический университет, г. Орел  
Аспирант кафедры «Автопласт»  
Тел. 8-903-883-12-26  
E-mail: kiselevu@yandex.ru

УДК 681.58: 697.3

А.И. СУЗДАЛЬЦЕВ, С.П. ПЕТРОВ

**АЛГОРИТМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ  
ПОДСИСТЕМОЙ ПИКОВОЙ НАГРУЗКИ В КСЦТ**

*В статье рассматриваются особенности алгоритмов управления при подключении потребителей к тепловым сетям через активно работающие пиковые нагрузки. Рассматриваются вопросы повышения эффективности СУ КСЦТ и уменьшение влияния транспортного запаздывания на качество управления тепловым и гидравлическим режимами при совместной работе ТЭЦ и пиковых нагрузок на единую тепловую сеть.*

**Ключевые слова:** алгоритм; управление; подсистема; пиковая нагрузка.

*Algorithms of automated management by a subsystem of peak loading in cogeneration to system of the centralized heat supply are considered.*

**Keywords:** algorithms; management; subsystem; peak loading.

Когенерационные системы централизованного теплоснабжения (далее КСЦТ), особенность которых заключается в комбинированной выработке тепловой и электрической энергии на ТЭЦ, позволяют сберечь ежегодно до 30 млн тонн органического топлива благодаря более высокому КПД и низкому расходу топлива по сравнению с раздельной выработкой электрической и тепловой энергии /1/.

Основным недостатком КСЦТ является значительное транспортное запаздывание передачи тепловой энергии, обусловленное большой протяженностью трубопроводов. Экспериментальными исследованиями, проведенными в 2006-2007гг. в Северном районе г.Орла (рисунок 1), установлено, что величина транспортного запаздывания при прохождении фронта температурной волны по магистрали с диаметром условного прохода  $D_u=1000$  мм на участке от ТЭЦ до санатория «Лесной» (протяженность 4 км) составляет 1 час 30 минут, а на участке от ТЭЦ до ЗАО «Промвентиляция» (протяженность 7,5 км) - 2 часа 30 минут /1/.

При изменении температуры наружного воздуха теплоэлектроцентраль (ТЭЦ) изменяет температуру теплоносителя в подающем трубопроводе до значений, соответствующих температурному графику. К удаленным от ТЭЦ потребителям теплоноситель поступает через несколько часов и с параметрами, отличающимися от расчетных на 3-5°C. Это связано с тепловыми потерями в тепловых сетях, которые, согласно нормативным документам, должны составлять не более 5%, а фактически достигают 12-20% /2/. В результате удаленные потребители, подключенные к КСЦТ, получают теплоноситель с температурой, не соответствующей температурному графику и с запаздыванием. В итоге потребители не получают необходимого количества тепловой энергии для обеспечения комфортных температурных условий.

Одним из способов решения обозначенной проблемы является подключение потребителей к тепловым сетям через активно работающие пиковые нагрузки /3, 4/, однако, это требует специальных алгоритмов и средств автоматизированного управления процессом передачи тепловой энергии, учитывающих особенности совместной работы ТЭЦ и пиковых нагрузок на единую тепловую сеть.

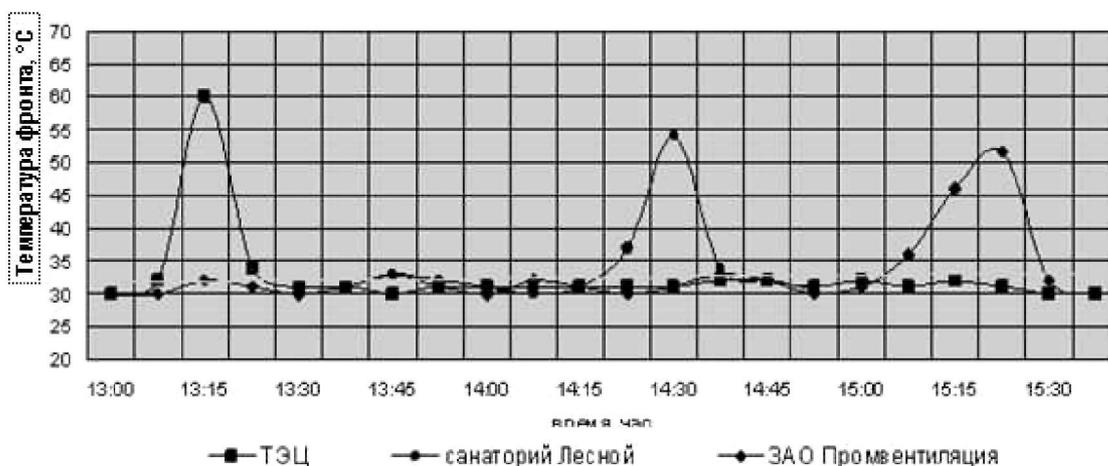


Рисунок 1 – Величина транспортного запаздывания при прохождении фронта температурной волны по магистрали Северного района г.Орла

В данной статье рассматриваются структура и алгоритмы автоматизированного управления подсистемой пиковой нагрузки в КСЦТ в пассивном и активном режимах. На рисунке 2 представлена структурная схема автоматизированного управления подсистемой пиковой нагрузки в составе КСЦТ.

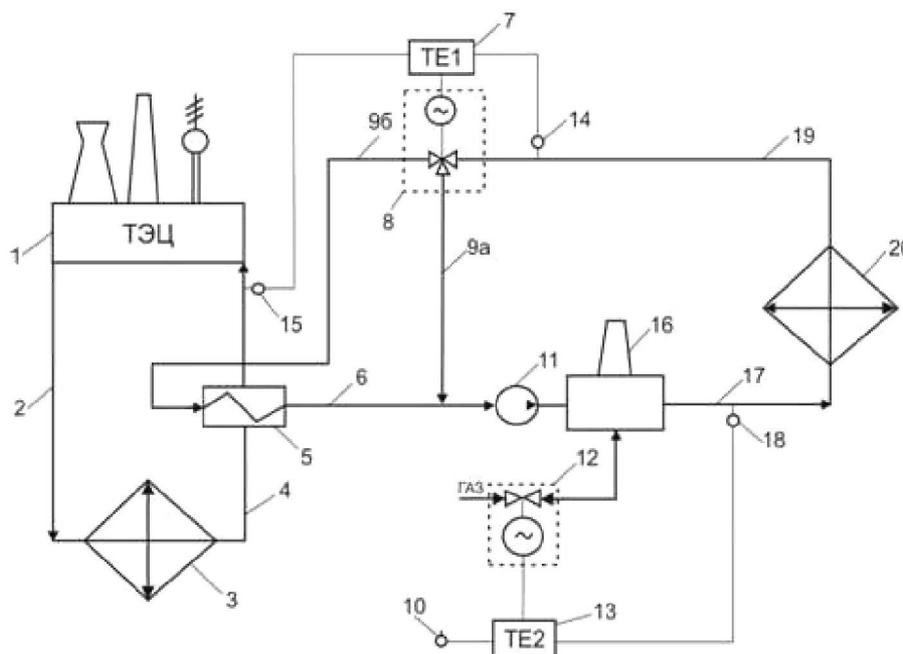


Рисунок 2 – Структурная схема автоматизированного управления подсистемой пиковой нагрузки в составе КСЦТ

Подсистема теплоснабжения пиковой нагрузки в пассивном режиме работает следующим образом. Нагнетателем теплоносителя 11 по напорной трубе подают теплоноситель в источник тепловой энергии подсистемы теплоснабжения пиковой нагрузки в тепловой котел 16, где его незначительно подогревают и подают потребителям 20 подсистемы теплоснабжения пиковой нагрузки через трубопровод 17.

В установившемся режиме горячий поток после потребителя (трубопровод 19) подсистемы теплоснабжения пиковой нагрузки разделяют на два потока, один из которых направляют по трубопроводу 9а непосредственно к нагнетателю теплоносителя, а второй – через дополнительный ввод 9б контура нагрева теплообменника 5 и трубопровод 6.

Разделение горячего потока осуществляется с помощью регулирующего органа 8 первого управляющего устройства 7, на входы которого поступают сигналы с датчиков температуры теплоносителя 15 и 14. Первым управляющим устройством формируют сигналы управления регулирующим органом 8 в соответствии с разностью двух температур таким образом, что, если значение датчика температуры 14 больше или равно значению датчика температуры 15, то регулирующим органом направляют поток теплоносителя после потребителя подсистемы теплоснабжения пиковой нагрузки непосредственно к нагнетателю теплоносителя 11 по трубопроводу 9а, в противном случае поток направляют к нагнетателю теплоносителя по трубопроводу 9б через дополнительный ввод контура нагрева теплообменника 5 и трубопровод 6.

Первое управляющее устройство выполнено на базе контроллера ТРМ – 32 /5/. В качестве датчиков температуры использованы платиновые термопреобразователи сопротивления типа ТСП 100 П. Изменение направления потока теплоносителя в большой и малый контуры осуществляется регулирующим клапаном ЕСПА 02 РИ (Ду-50) с электрическим исполнительным механизмом ЕСПА 02 ПВ /6/. Ход клапана 40 мм. Время полного хода 240 с.

Первое управляющее устройство работает по следующему алгоритму:

$$N_i = \begin{cases} N_1, & \text{если } \Delta t_1 = T_{14} - T_{15} \geq 0; \\ N_2, & \text{если } \Delta t_1 = T_{14} - T_{15} < 0 \text{ при } t_{1,2} = t_{2,1} = \text{const.} \end{cases} \quad (1)$$

где  $i$  – номер позиции регулирующего органа 8;

$N_i$  – нахождение регулирующего органа в  $i$ -й позиции;

$N_1$  – переключение рабочего органа 8 в позицию (положение), при которой поток теплоносителя направляется к трубопроводу 9а;

$N_2$  – переключение рабочего органа 8 в позицию (положение), при которой поток теплоносителя направляется к трубопроводу 9б;

$T_{14}, T_{15}$  – значения температур датчиков 14 и 15;

$t_{1,2}, t_{2,1}$  – время перехода регулирующего органа из одной позиции в другую, равное 240 с.

При изменении температуры окружающего воздуха от ТЭЦ 1 по подающему трубопроводу 2 к потребителям 3 начинает поступать теплоноситель с измененной температурой в соответствии с температурным графиком. При этом теплоноситель с изменившейся температурой от потребителей по обратному трубопроводу 4 поступит в теплообменник 5 подсистемы теплоснабжения пиковой нагрузки с запаздыванием за счет большой протяженности трубопроводов. В этом случае управляющее устройство 7 с регулятором 8 не смогут поддерживать заданную температуру у потребителей пиковой нагрузки и тогда срабатывает второе управляющее устройство 13, которое через регулятор расхода газа 12 увеличивает или уменьшает подачу газа в тепловой

генератор 16 в зависимости от показаний датчиков температуры 10 и 18 (активный режим). Третий датчик температуры 18, расположенный в подающем трубопроводе 17 подсистемы теплоснабжения пиковой нагрузки, измеряет температуру теплоносителя и подает сигнал на вход второго управляющего устройства 13. Одновременно с этим, на второй его вход поступает температура наружного воздуха с четвертого датчика температуры 10. Если температура теплоносителя в подающем трубопроводе 17 подсистемы теплоснабжения пиковой нагрузки меньше той, которая должна соответствовать по температурному графику, заложенному во второе управляющее устройство 13 при соответствующем значении температуры наружного воздуха, то вторым управляющим устройством 13 выдается сигнал регулятору подачи газа 12 об увеличении подачи газа в источник тепловой энергии подсистемы теплоснабжения пиковой нагрузки 16, в противном случае подачу газа уменьшают. При поступлении теплоносителя с измененной температурой от ТЭЦ в теплообменник 5 подсистемы теплоснабжения пиковой нагрузки второе управляющее устройство 13 отреагирует подачей газа в обратном направлении, т.е. потребители в подсистеме теплоснабжения пиковой нагрузки не почувствуют изменения температурных комфортных условий.

Второе управляющее устройство выполнено аналогично первому, только в качестве регулирующего органа расхода газа использован регулирующийся клапан ЕСПА 02 РГ (Ду-15) с электрическим исполнительным механизмом ЕСПА 02 ПВ. Ход штока клапана составляет 15 мм. Время полного хода 60 с.

Второе управляющее устройство работает циклически по следующему алгоритму:

$$P_{i+1} = \begin{cases} P_i, \text{ при } |\Delta T_2| = |(T_u - T_3)| \leq \delta T_3 \\ P_i + ([\text{sign}(\Delta T_2)] \cdot \Delta P) \cdot n, \text{ в остальных случаях;} \end{cases} \quad (2)$$

$$\Delta P = K_1 \cdot K_2 \cdot t_u, \quad P_i = \Delta P \cdot N \\ T_3 = f(T_H),$$

где  $K_1 \left[ \frac{\text{м}}{\text{умпн.} \cdot \text{с}} \right]$  – коэффициент связи между числом импульсов управления двигателем электрического исполнительного механизма с заданной длительностью импульса и величиной перемещения штока клапана;

$K_2 \left[ \frac{\text{м}^3}{\text{м}} \right]$  – коэффициент связи между величиной перемещения штока клапана и объемом подаваемого газа;

$T_N$  – наружная температура в градусах Цельсия;

$T_3 \neq \text{const.}$  – значение заданной температуры теплоносителя по температурному графику в градусах Цельсия;

$T_N = T_{10}$  – в градусах Цельсия;

$T_u \neq \text{const.}$  – измеренное значение температуры теплоносителя в подающем трубопроводе пиковой нагрузки датчиком 18 в градусах Цельсия;

$\delta T_3$  – заданная абсолютная погрешность измерения температуры при регулировании, в градусах Цельсия;

$\Delta P = \text{const.}$  – заданное значение приращения объема сжигаемого газа в каждом цикле регулирования в  $\text{м}^3$  при заданной длительности импульса управления;

$N$  – число импульсов управления, соответствующее текущему объему сжигаемого газа  $P_i$ , выраженного в количестве значений  $\Delta P$ ;

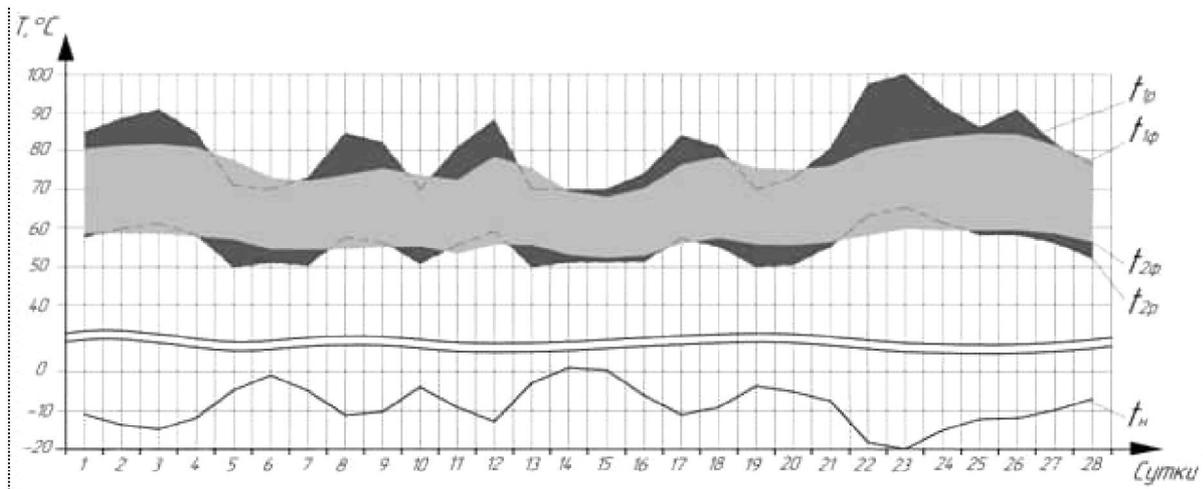
$n$  – число импульсов управления, соответствующее объему сжигаемого газа, подлежащего корректировке и выраженного в количестве значений  $\Delta P$ ;

$sign(\Delta T_2)$  – знак разности  $\Delta T_2$ ;

$P_i$  – текущее значение объема газа, подаваемого в тепловой котел,  $m^3$ .

Например, при параметрах настройки:  $\Delta T_2 = 1^\circ C$ , времени импульса  $t_u = 4c$ , ходе клапана 1 мм, тангенсе угла наклона температурного графика, равном  $K_1 = 1,4$ , и равнопроцентной характеристике клапана ( $K_2 = 1$ ), понижение температуры наружного воздуха на величину  $\Delta T_2 = 1^\circ C$  вызовет увеличение расхода газа на 20% ( $\Delta P = 0,01m^3$ ) и изменение температуры теплоносителя в подающем трубопроводе на  $1,4^\circ C$ .

Описанные алгоритмы управления подсистемой пиковой нагрузки были проверены авторами экспериментально для пассивного и активного режимов работы пиковой нагрузки. Пассивный режим работы (рисунок 3) исследовался в ЦТП областного онкологического диспансера г. Орла.



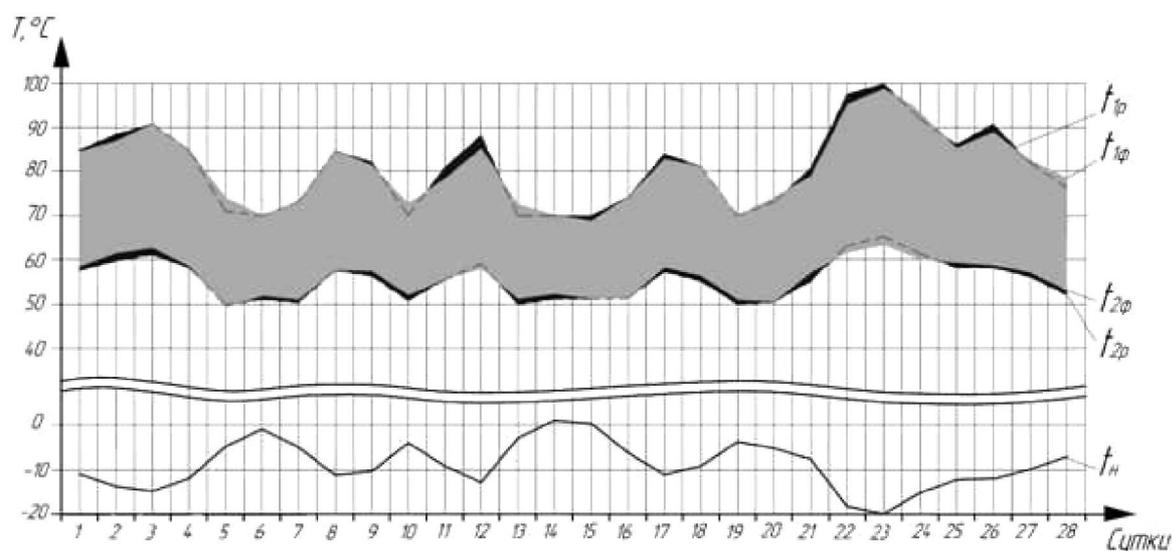
**Рисунок 3 – Параметры теплоносителя в ЦТП областного онкологического диспансера (подогрев пиковой нагрузкой отключен):**

$t_{1P}$ ,  $t_{2P}$  – расчетные параметры теплоносителя;  $t_{1Ф}$ ,  $t_{2Ф}$ ,  $t_n$  – фактические параметры теплоносителя и наружного воздуха

Как видно из рисунка 3, в случае отсутствия подогрева теплоносителя на пиковой нагрузке когенерационный источник не может обеспечить поддержание параметров теплоносителя в соответствии с температурным графиком с точностью  $\pm 3\%$ , регламентированной требованиями СНиП.

Отклонения фактических параметров теплоносителя от расчетных в наиболее холодный период года (с 1 по 28 февраля 2007 г.) составили в среднем 12%. Управление параметрами теплоносителя осуществлялось только за счет изменения температуры на ТЭЦ (качественное регулирование) при постоянном значении расхода в локальном контуре, равном  $8 m^3/ч$ . Следовательно, «недотоп» потребителей составил в среднем 12%.

В этот же период (с 1 по 28 февраля 2007 г.) экспериментальными исследованиями, проведенными в детской инфекционной больнице г. Орла (рисунок 4), установлено, что при подогреве теплоносителя активной работающей пиковой нагрузкой отклонение параметров теплоносителя от температурного графика составило не более 3%, что соответствует требованиям СНиП.



**Рисунок 4 – Параметры теплоносителя в ЦТП детской инфекционной больницы (подогрев пиковой нагрузкой и автоматика включены):**

$t_{1P}, t_{2P}$  – расчетные параметры теплоносителя;  $t_{1Ф}, t_{2Ф}, t_n$  – фактические параметры теплоносителя и наружного воздуха

### ВЫВОДЫ:

- включение в КСЦТ подсистемы пиковой нагрузки, работающей в пассивном режиме с управлением по алгоритму (1), не обеспечивает поддержание температуры у потребителей в заданном диапазоне температур, регламентированных СНиП, а резкое изменение температуры наружного воздуха за счет больших транспортных запаздываний теплоносителя от ТЭЦ до потребителя приводит к “недотопу” потребителей (в эксперименте до 12%);

- включение в КСЦТ подсистемы пиковой нагрузки, работающей в активном режиме с управлением по алгоритму (2), позволяет независимо от изменения температуры наружного воздуха значительно уменьшать влияние транспортного запаздывания теплоносителя от ТЭЦ до потребителя с одной стороны, с другой стороны – обеспечивать температурный режим у потребителей в соответствии со СНиП;

- включение в КСЦТ подсистем пиковых нагрузок, работающих в пассивном и активном режимах, обеспечивает безопасность потребителей тепловой энергии в момент аварии в центральном трубопроводе КСЦТ и особенно в холодное время года;

- поскольку эксперименты проводились в разных подсистемах пиковых нагрузок и в разных режимах, хотя в одно и то же время и питающихся от одной КСЦТ, то

окончательные выводы могут быть сделаны только после экспериментов с подсистемой пиковых нагрузок с алгоритмом управления, объединяющим алгоритмы (1) и (2), с учетом энергетических затрат на дополнительный подогрев в пиковой нагрузке.

#### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Петров С.П. Автоматизация когенерационных систем теплоснабжения с распределенными пиковыми нагрузками. Монография. Под общ. ред. д.т.н., проф. А. И. Суздальцева – М.: Машиностроение – 1, 2007. - 304 с.: ил.
2. Хаванов П.А. Автономное теплоснабжение – альтернатива или шаг назад / П. А. Хаванов, В. Л. Беккер // Теплоэнергоэффективные технологии, 2006. № 3. – С. 19 - 24.
3. Чистович С.А. Эффективность автоматического регулирования систем отопления зданий // Теплоэнергоэффективные технологии, 2003. № 1. – С. 28.
4. Суздальцев А.И. Подходы к управлению когенерационной системой централизованного теплоснабжения, ориентированные на повышение ее эффективности / А.И. Суздальцев, С.П. Петров, Н.А. Загородних / Известия Тульского государственного университета. Серия “Технологическая системотехника”. Выпуск 10, ТулГУ, 2006г. – С. 49-53.
5. Каталог «Измерители температуры, регуляторы, контроллеры для систем отопления, горячего водоснабжения и приточной вентиляции» // Контроллер для регулирования температуры в системах отопления и ГВС «ОВЕН» ТРМ-32-Щ 4, 2007. – 2 с.
6. Регулирующий клапан ЕСПА с электрическим исполнительным механизмом. // Инструкция по монтажу, настройке и эксплуатации. – М: Машиноимпорт,1999. – 30 с.

**Суздальцев Анатолий Иванович**

Орловский Государственный Технический Университет, г. Орел  
Доктор технических наук, профессор кафедры «ПиТЭВС» ОрелГТУ  
Тел.: (4862) 41-98-79, 8-910-200-02-24

**Петров Сергей Петрович**

Орловский Государственный Технический Университет, г. Орел  
Кандидат технических наук  
Доцент кафедры «Электрооборудование и энергосбережение» Орел ГТУ.

УДК 658.512.4.07

А.Н. ШЕВЛЯКОВ

## ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ПРОЕКТНОГО УПРАВЛЕНИЯ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКЕ ПРОИЗВОДСТВА

Статья посвящена сравнительному анализу методов управления проектами и оценке возможностей их применения в технологической подготовке производства. Такой подход позволяет сократить затраты времени и ресурсов на производство продукта, сделать производство более гибким, улучшить качество продукции и принести больше экономической выгоды при минимальных затратах.

**Ключевые слова:** управление проектами; метод критической цепи; технологическая подготовка производства; сетевой метод; неопределенность.

*Article is devoted the comparative analysis of management methods by projects and an estimation of possibilities of their application in technological preparation of manufacture. Such approach allows to reduce expenses of time and resources to product manufacture, to make manufacture by more flexible, to improve quality of production and to bring more economic gain at the minimum expenses.*

**Keywords:** management of projects; method of critical chain; technological preparation of production; network method; vagueness.

## ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ПОДГОТОВКА ПРОИЗВОДСТВА

Задачей технологической подготовки производства (ТПП) является обеспечение технологической подготовки предприятия к выпуску изделия с заданными технико-экономическими показателями, такими, как качество, сроки и объем выпуска, запланированные затраты. Сложность изделия и высокие требования к качеству выпускаемой продукции приводят к возрастанию объема технологической подготовки производства, которая может занимать до 70% общего времени, отводимого на разработку и внедрение новой продукции. Обеспечение высокого уровня технологической подготовки производства является необходимым условием эффективной работы всего производства в целом и обеспечивает стабильность производства и эффективную работу. Применение современных методов в технологической подготовке производства позволит сократить затраты времени и исключить ошибки.

С целью более эффективного функционирования большинство промышленных предприятий переходят на проектное управление. У любого проекта есть ограничения по срокам и стоимости, следовательно, существует необходимость в грамотном планировании и контроле проектов. Кроме того, как правило, на предприятиях одновременно выполняется несколько проектов, что приводит к необходимости эффективного распределения ресурсов предприятия.

Как было отмечено выше, технологическая подготовка производства является одним из самых важных и длительных этапов разработки нового или модификации уже имеющегося изделия. Следовательно, внедрение методов проектного управления в технологическую подготовку производства способствует повышению качества продукции, снижению себестоимости и сокращению времени на производство изделия, а для предприятия – повышению конкурентоспособности.

Управление проектами успешно развивается на протяжении долгих лет и выделилось в самостоятельную дисциплину. Управление проектами, как дисциплина, стала изучаться в СССР лишь в середине 60-х гг. XX в., но стала востребована лишь в 90-е гг. XX в. С 90-х гг. XX в. управление проектами в России стало активно внедряться в производство: от отдельных проектов до создания интегрированных систем управления проекто-ориентированными компаниями и программами.

### **СЕТЕВЫЕ МЕТОДЫ**

Исторически одним из первых методов управления проектами был сетевой метод планирования, основной целью которого является сокращение до минимума продолжительности проекта. Результатом применения сетевого метода является сетевой график, который представляет собой графическое отображение всех работ и их взаимосвязей. Сетевой метод основывается на разработанных практически одновременно и независимо методе критического пути (МКП) и методе оценки и пересмотра планов PERT (Program Evaluation and Review Technique). Первый метод разработан в 1956 году для составления планов-графиков крупных комплексов работ по модернизации заводов фирмы «Дюпон». Второй метод разработан корпорацией «Локхид», и консалтинговой фирмой «Буз, Аллен энд Гамильтон», для реализации крупного проекта разработки ракетной системы «Поларис» [1].

Применение метода критического пути позволяет получить сетевой график, который является графическим отображением работ и их взаимосвязей. Основным параметром сетевого графика является критический путь, который отображает самый длительный путь от начала до завершения процесса. Если работа, лежащая на критическом пути, будет задержана, это сразу повлияет на длительность всего проекта, следовательно, таким работам необходимо уделять более пристальное внимание.

Отличительной особенностью метода МКП от метода PERT является тот факт, что в методе МКП длительность работы является детерминированной величиной, а в методе PERT эта величина носит случайный характер и характеризуется тремя параметрами: оптимистической, пессимистической и наиболее вероятной продолжительностью. При использовании метода PERT на сетевом графике за время выполнения работ принимается среднее значение этих величин.

Применение метода сетевого планирования позволяет:

- выявлять скрытые резервы времени;
- увидеть весь процесс в целом в ракурсе параллельно осуществляемых работ;
- управлять выполнением плана с прогнозированием и предупреждением возможных срывов;
- учесть связи между различными работами, что является основой непротиворечивого календарного планирования;
- повысить эффективность управленческой деятельности.

### **ФАКТОРЫ РИСКА**

Традиционные подходы в управлении проектами, в том числе и сетевой метод, не способны учитывать неопределенности, т.е. ситуации, не поддающиеся оценке, усложняющие выбор вариантов, поведение участников хозяйственной деятельности. Если вероятность ожидаемого события неизвестна, оно может развиваться и наступить различными способами, т.е. имеет место неопределенность. Нередко конечный итог в

целом известен, но неизвестны сроки, отклонения от прогнозируемого варианта, непредвиденные последствия [2].

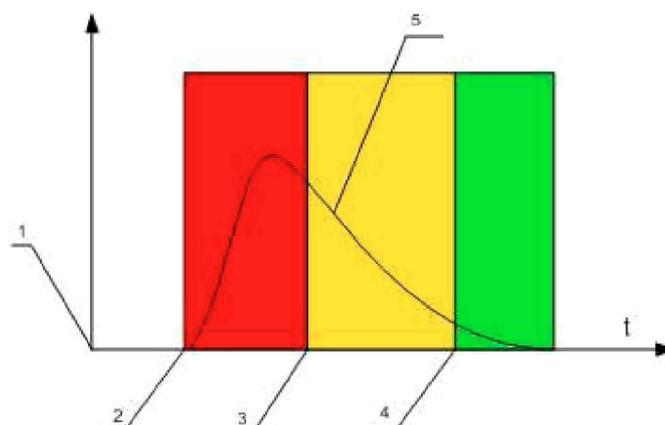
На длительность выполнения проекта в том числе влияют неопределенности, как следствие, от способа управления такими ситуациями зависит успех всего проекта.

При традиционном подходе в управлении проектами проблемы с неопределенностью решаются несколькими способами.

1. Закладывается резервное время для каждой работы. При таком подходе продолжительность работы определяется распределением вероятности. Графически оценка времени выполнения работы представлена на рисунке 1.

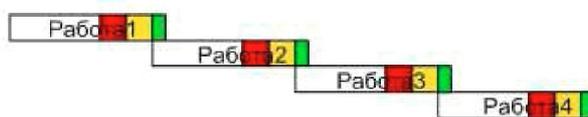
Определение количества резервного времени, как правило, выполняется экспертом, однако данная величина не является вычисляемой. Эксперт полагается исключительно на свой опыт.

Дополнительный запас времени, однако, не гарантирует выполнения работы точно в срок, поскольку исполнитель стремится снизить интенсивность своей работы и начинает работу как можно позже. Таким образом, резервное время расходуется на выполнение самой работы. И если риски, заложенные в резервном времени срабатывают, то срок исполнения срывается.



**Рисунок 1 – Время окончания задачи как распределение вероятности:**

1 – начало работы; 2 – минимальное время завершения работы;  
3 – агрессивная оценка завершения работы; 4 – безопасная оценка завершения работы;  
5 – распределение вероятности срока завершения работы



**Рисунок 2 – Планирование работ**

2. Используются запланированные даты начала и окончания работы. При таком подходе к управлению проектами исполнители стремятся начать и завершить работу точно в запланированное время. Таким образом, досрочное завершение работы не приводит к приближению даты окончания проекта, так как исполнители зависимых работ заняты выполнением плановых работ и не готовы приступить к выполнению ранее завершенной работы. Следовательно, раннее

завершение работы не приводит к устранению запаздывания зависимых от нее работ, а запаздывание работы почти всегда приводит к задержке зависимых, поскольку на этапе планирования все риски были заложены в самих работах (рисунок 2).

В случае запаздывания, как правило, применяют корректирующие действия, такие, как урезание объема работ проекта или выделения дополнительных ресурсов.

### **МЕТОД КРИТИЧЕСКИХ ЦЕПОЧЕК**

Одним из наиболее актуальных методов проектного управления в настоящее время является метод критических цепочек (МКЦ). Он был предложен Элиягу Голдраттом (Eliyahu Goldratt) в 1997 году. МКЦ – это метод планирования и управления проектами, который обращает большее внимание на ограничения, связанные с ресурсами проекта. Он основан на методах и алгоритмах теории ограничений. МКЦ позволяет избежать недостатков традиционного подхода к управлению проектами, поскольку не предполагает жесткой последовательности работ и жесткого планирования, а наоборот, требует от исполнителей гибкости по отношению ко времени начала работ и переключения между ними с целью сокращения общего времени проекта, а не конкретной работы.

Одним из главных понятий данного метода является понятие критической цепи. Критическая цепь – это последовательность работ, от длительности которых зависит общая длительность всего проекта.

МКЦ предполагает выполнение трех действий.

1. Создание календарного плана путем использования достаточно плотных оценок длительности работ. Чаще всего в МКЦ в качестве длительности работы принимается оценка с 50%-ым обеспечением риска (агрессивная оценка).
2. Устранение жестких дат окончания работы (но не проекта). Безусловно, работы хоть и имеют дату окончания в календарном плане, но эта дата не рассматривается как обязательство исполнителей закончить работу именно в указанный срок.
3. Наделение менеджеров проектов достаточной полнотой власти, чтобы они могли защитить ресурсы проекта от «более срочных» работ других проектов или подразделений.

Поскольку работы оцениваются с 50%-ым обеспечением риска по времени, то требование МКЦ о построении календарного плана с использованием только времени, необходимого для выполнения работы, выполняется [3].

В МКЦ условно используются два вида ресурсов: критические и некритические. Критические ресурсы используют критические работы и напрямую влияют на длительность всего проекта. При использовании МКЦ необходимо быть уверенным, что когда работа в критической цепи завершается, то ресурсы для выполнения следующей работы критического пути будут готовы и доступны. Наличие этой информации позволяет отслеживать, когда оценка оставшегося времени текущей работы критической цепи становится меньше буфера предупреждения исполнителя зависимой работы, и уведомлять последнего о том, чтобы он был готов вскоре приступить к выполнению работы.

Для того чтобы защитить дату окончания всего проекта от вариаций задач, МКЦ использует буферы ресурсов и времени. Так же, как и в традиционном подходе, в наличии имеется резерв времени, который, однако, находится не в каждой работе, а в конце всей цепи (рисунок 3). При таком подходе вариации в критической цепи не

имеют прямого влияния на дату окончания проекта, так как гасятся буфером времени. Половина работ может закончиться быстрее, при этом будет активно использоваться преимущество раннего завершения работ. Работы, завершившиеся позже запланированного срока, будут компенсироваться буфером цепи.

Для некритических работ используется «двойной буфер». Первый буфер – свободное время для некритических работ. Второй – в конце некритической цепи – «питающий», он предохраняет зависимые критические цепи от вариаций по времени в некритических цепях (рисунок 4).

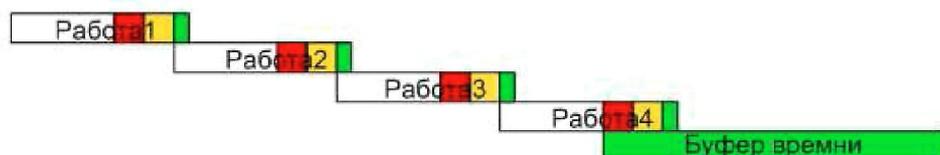


Рисунок 3 – Буфер времени

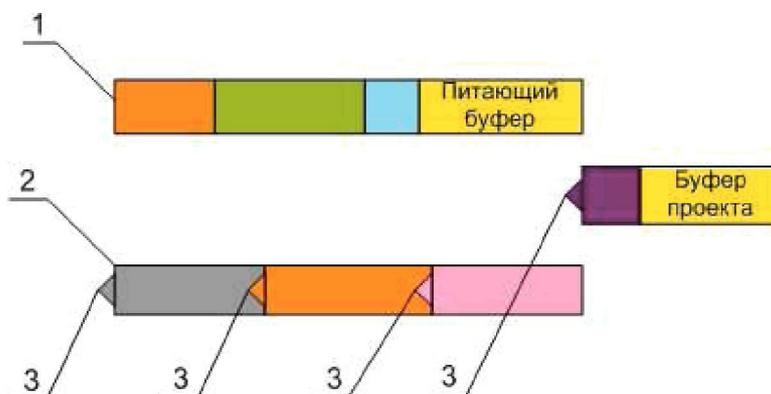


Рисунок 4 – Составление расписания по МКЦ:

1 – некритическая цепь; 2 – критическая цепь;

3 – предупреждение о скором завершении работы

Особо интересным инструментом в МКЦ являются буферы ресурсов. Можно условно выделить два вида таких буферов. Основной буфер – это ресурсы, которые были предупреждены о переходе на новую работу. Второй тип буфера – это дополнительные ресурсы для работ критической цепи. Этот буфер используется для защиты от рисков финальной даты окончания проектов.

Критическая цепь (рисунок 5) образована ограниченными ресурсами. Буферы ресурсов времени в этом случае используются для управления рисками, связанными с ограниченными ресурсами.

Питающие буферы стоят перед работами критических ресурсов, предохраняя таким образом работы критической цепи от сдвига по времени в случае задержки работ некритических цепей.

Контроль проекта осуществляется путем мониторинга расходования буферов. В зависимости от степени расходования буфера принимаются различные решения, которые могут повлиять на скорость выполнения работ.

МКЦ может применяться практически в любых областях, где применяется методология управления проектами, и не требует значительного перестроения процессов в проекте.

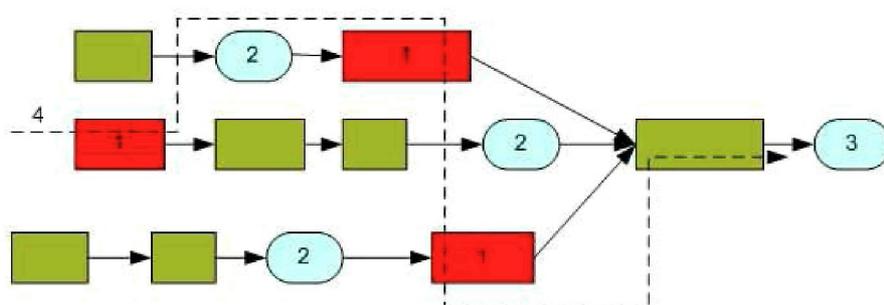
## ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В УПРАВЛЕНИИ ПРОЕКТАМИ

В применении информационных технологий в управлении проектами можно выделить два основных направления:

1. Автоматизация стандарта управления проектами;
2. Автоматизация функций управления проектами.

Автоматизация управления проектами может быть обеспечена средствами таких информационных технологий, как, например, система управления документами в документарной части стандарта или система управления деловыми процессами в процедурной части стандарта.

Стандарт управления проектами предприятия представляет собой, прежде всего, совокупность документов, объясняющих или предписывающих, как, в какой последовательности, в какие сроки, с использованием каких шаблонов нужно выполнять те или иные действия в процессе управления проектами. Эти документы не являются принадлежностью какого-либо одного проекта и образуют нормативно-методическое обеспечение системы управления проектами в целом, а их количество может быть достаточно велико. В силу этого одним из перспективных подходов является организация стандарта как базы знаний, которая обеспечивает все необходимые сервисы по обновлению и поиску документов, по организации взаимосвязей между документами, перекрестных ссылок и т.д.



**Рисунок 5 – Критическая цепь в данном случае состоит из задач, выполняемых ограниченными ресурсами:**

1 – работы, выполняемые критическими ресурсами; 2 – питающие буферы;  
3 – проектный буфер; 4 – критическая цепь

Процедуры управления проектами обычно требуют коллективной работы, в которую вовлекается не только проектная группа, но и постоянные подразделения предприятия (ресурсные, функциональные, специализированные и т.д.). В связи с этим возможно использование технологий управления деловыми процессами (workflow) для поддержания процедурной части стандарта.

К основным областям деятельности по управлению проектами, подлежащим в той или иной степени автоматизации, относятся:

1. Собственно управление проектами;
2. Формирование и ведение бюджета проекта;

3. Управление документами, как управленческими, так и являющимися результатами выполнения проекта;

4. Управление деловыми процессами в проектах, включая процессы согласования документов.

Следует отметить, что средства автоматизации управления проектами необходимо связывать с другими информационными системами предприятия (с системой управления персоналом, с ERP-системой и т.д.).

### **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Сокращение времени и ресурсов в технологической подготовке производства изделия непосредственно влияет на себестоимость и экономическую выгоду данного производства. Поэтому так важно применять методы, которые позволяли бы эффективно управлять ТПП и приносить наибольшие экономические выгоды при минимальных затратах.

Несмотря на видимые плюсы в использовании методов управления проектами в технологической подготовке производства, их практическое применение на производстве практически сводится к нулю. Существует необходимость дальнейшей проработки методов для использования методов управления проектами в ТПП, а также автоматизация столь сложного процесса, что позволит сделать производство более гибким, работу более эффективной, а все предприятие конкурентоспособным.

### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Бобровский С. – Критические цепочки – третья революция в управлении проектами. – Электронные текстовые и графические данные. – [http://www.iteam.ru/publications/project/section\\_35/article\\_2760/](http://www.iteam.ru/publications/project/section_35/article_2760/) – Системные требования: ПК 486 или выше; 8 Мб ОЗУ; Windows 3.1 или Windows 95; SVGA 32768 и более цв.; 640x480; Internet Explorer 4.0 и выше. – Загл. с экрана.
2. Булатов А.С. – Экономика. – М.: Издательство ЮРИСТ,1999. – 896 с.
3. Клименко О. – Метод критической цепи: эффективное управление проектами с использованием буферов времени и ресурсов. – Электронные текстовые и графические данные – [http://www.iteam.ru/publications/project/section\\_35/article\\_3448/](http://www.iteam.ru/publications/project/section_35/article_3448/) – Системные требования: ПК 486 или выше; 8 Мб ОЗУ; Windows 3.1 или Windows 95; SVGA 32768 и более цв.; 640x480; Internet Explorer 4.0 и выше. – Загл. с экрана.
4. Позняков В. В. – Логико-структурный подход в Управлении проектами. – Электронные текстовые и графические данные – [http://www.iteam.ru/publications/project/section\\_35/article\\_2384/](http://www.iteam.ru/publications/project/section_35/article_2384/) – Системные требования: ПК 486 или выше; 8 Мб ОЗУ; Windows 3.1 или Windows 95; SVGA 32768 и более цв.; 640x480; Internet Explorer 4.0 и выше. – Загл. с экрана.

#### **Шевляков Александр Николаевич**

Орловский государственный технический университет, г. Орел

Аспирант кафедры «Информационные системы»

E-Mail: Alexander\_1985@inbox.ru

Тел.: 8-910-306-48-48

## ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И КОМПЬЮТЕРНЫЕ СЕТИ

УДК 004.75

И.В. ЛОГИНОВ, И.В. ИВАНОВ

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ВРЕМЕНИ ОБРАБОТКИ ЗАПРОСА  
В ГЕТЕРОГЕННЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ

*В работе предлагается подход к прогнозированию времени обработки запроса в гетерогенных вычислительных системах, основанный на комплексном использовании методов кластерного и регрессионного анализа. Использование предлагаемого подхода позволяет повысить точность прогнозирования на 20-40%.*

**Ключевые слова:** прогнозирование; гетерогенные вычислительные системы; обработка запросов; планирование.

*In the article suggested modified method of query processing time prognostication for heterogeneous computer system, based on using cluster and regressive analysis. Using suggested method increasing prognostication accuracy in 20-40%.*

**Keywords:** prognostication; heterogeneous computer system; query processing; planning.

В автоматизированных системах управления и обработки информации на основе гетерогенных распределенных вычислительных систем к процессу обработки запросов предъявляются требования по своевременности получения результатов, удовлетворить которые стандартные дисциплины обслуживания (FCFS, LCFS, SITA) не в состоянии [1,2]. Актуальность задачи прогнозирования времени обработки запроса в гетерогенных системах определяется тем, что наличие такого прогноза позволяет повысить эффективность планирования путем использования специальных дисциплин обслуживания.

Прогнозирование времени обработки запроса предлагается осуществлять с помощью алгоритма, представленного на рисунке 1.

На первом этапе формируют выборку запросов из входного потока. Для каждого запроса из выборки измеряют время обработки запроса  $t$ . Для всех вычислительных узлов, входящих в состав гетерогенной вычислительной системы, с использованием систем тестирования [3] определяют производительность  $P$ . Каждый запрос  $Q, Q \in \Lambda$  из потока запросов описывается кортежем вида:

$$Q = \langle S, T, \xi(t), R, \hat{R}, l \rangle, \quad (1)$$

где  $S$  – источник запроса;

$T$  – момент времени поступления запроса в вычислительную систему;

$\xi = \xi(t)$  – требования по своевременности обработки запроса;

$R$  – объективная ресурсоемкость запроса, определяющая совокупность требований к ресурсам различного типа;

$\hat{R}$  – предполагаемая ресурсоемкость запроса, определяемая в системе на этапе расчета функций прогнозирования;

$l$  – объем запроса (объем входных данных).

Ресурсоемкость запроса  $R$  описывается кортежем вида:

$$R = \langle \nu, op, net, arch, n, po \rangle, \quad (2)$$

где  $\nu$  – вычислительная ресурсоемкость;

$op$  – объем требуемой оперативной памяти;

$net$  – требуемый сетевой ресурс;

$arch$  – требуемая архитектура вычислительного узла;

$n$  – количество одновременных потоков;

$po$  – требуемое программное обеспечение (системное и прикладное).

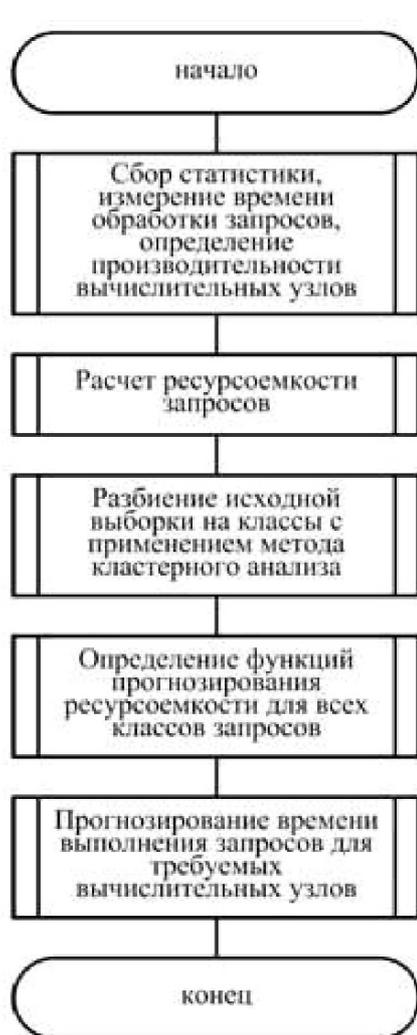


Рисунок 1 – Алгоритм прогнозирования времени обработки запросов

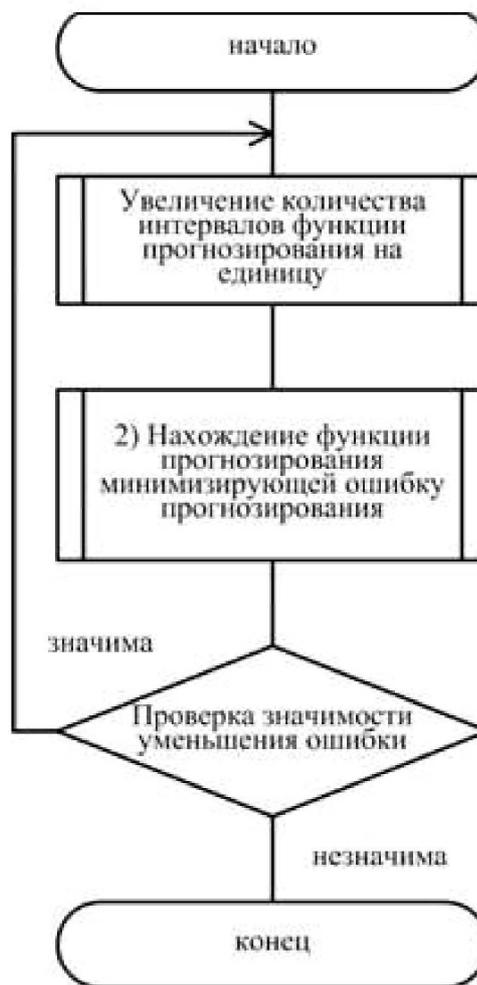


Рисунок 2 – Алгоритм нахождения функции прогнозирования ресурсоемкости запроса

Каждый запрос включает в себя данные, передаваемые на обработку. Обработывающие программы находятся на вычислительных узлах и в состав запроса не входят.

На втором этапе рассчитывают вычислительную ресурсоемкость запросов по формуле (3) для всех запросов из выборки:

$$\nu = t/p. \quad (3)$$

На третьем этапе выборку запросов разбивают на несколько классов с применением метода *k*-средних [4]. Выделение классов запросов  $Cl : Q \in Cl$ , требующих одинаковых ресурсов, позволяет повысить точность прогнозирования времени обработки и упрощает планирование.

На четвертом этапе для каждого класса запросов определяют функцию прогнозирования ресурсоемкости с использованием модифицированного алгоритма регрессионного анализа, заключающегося в использовании нескольких уравнений регрессии. Вычислительная ресурсоемкость запроса представляет собой некоторую функцию от его свойств:  $\nu = g(Q)$ . Предлагается прогнозировать ресурсоемкость на основе объема данных запроса. Вид функции  $g$  определяется алгоритмом обработки данных. Функция прогнозирования  $g$  может относиться к классу линейных, полиномиальных, субэкспоненциальных и экспоненциальных функций [5]. Вид функции прогнозирования предлагается определять путем анализа алгоритма обработки данных, а при его отсутствии путем анализа значимости соответствующих уравнений регрессии.

В вычислительных системах наибольшее распространение получили запросы, ресурсоемкость которых линейно зависит от объема исходных данных. К ним относят: декодирование видео, графики, аудио, преобразование данных электронного документооборота, антивирусную проверку, распознавание текста.

Функция прогнозирования ресурсоемкости  $\hat{\nu}$  на основе линейного уравнения регрессии имеет следующий вид:  $\hat{\nu} = g(l) = k \times l + b$ ,

$$(4)$$

где  $k, b$  – коэффициенты уравнения регрессии.

Поскольку для запросов характерно изменение значений объема входных данных в широком диапазоне (для документооборота – шесть-семь порядков; обработки графики – два-три порядка; архивов – семь-восемь порядков) предлагается прогнозировать ресурсоемкость на основе нескольких уравнений регрессии на разных интервалах диапазона изменения объема данных запроса. Функция прогнозирования ресурсоемкости запроса (4) принимает следующий вид:

$$\hat{\nu} = \begin{cases} g_1(l); l > z_1 \\ \dots \\ g_n(l); l_n \end{cases} = \begin{cases} k_1 \times l + b_1 \\ \dots \\ k_n \times l + b_n \end{cases}, \quad (5)$$

где  $n$  – количество интервалов;

$z_1, \dots, z_n$  – значения границ интервалов.

Для нахождения коэффициентов функции прогнозирования используются два метода, минимизирующие среднеквадратичную (6) и нормированную (7) ошибку[6]:

$$\varepsilon = \sum_{i=0}^m (\hat{\nu} - \tilde{\nu})^2 \rightarrow \min, \quad (6)$$

$$\varepsilon = \sum_{i=0}^m |\hat{\nu} - \tilde{\nu}/\tilde{\nu}| \rightarrow \min. \quad (7)$$

Для нахождения функции прогнозирования, минимизирующую ошибку прогнозирования, используются генетические, адаптивные, эвристические алгоритмы, а также алгоритмы быстрого спуска [7]. Вид функции отклика с несколькими локальными минимума определил использование генетического алгоритма согласно [8] для минимизации ошибки прогнозирования.

Определение функций прогнозирования ресурсоемкости запросов для каждого класса запросов осуществляется с использованием алгоритма, представленного на рисунке 2. Результатом прогноза вычислительной ресурсоемкости является функция прогнозирования  $\hat{\nu}$  и ошибка прогноза  $\varepsilon = \varepsilon(\nu)$ .

На пятом этапе прогнозируют вычислительную ресурсоемкость запроса с использованием функции прогнозирования (5). С использованием формулы (3), значений производительности вычислительных узлов  $P$  и прогноза ресурсоемкости для каждого вычислительного узла рассчитывают время обработки запроса и ошибку прогнозирования:

$$\varepsilon = \varepsilon(t, \hat{\nu}, Cl). \quad (8)$$

Результатом прогнозирования является зависимость плотности вероятности завершения обработки запроса от времени.

Для практической проверки предлагаемого алгоритма прогнозирования в работе исследовалось функционирование системы обработки электронных писем (подсистема учета и документирования) [9]. Исходные данные для эксперимента следующие:

- вычислительная ресурсоемкость алгоритма обработки запроса является линейной;
- гетерогенная вычислительная система содержит семь вычислительных узлов двух типов;
- все запросы относятся к одному классу;
- диапазон изменения объема запроса  $l, l \in [100, 100000000]$  байт;
- диапазон изменения вычислительной ресурсоемкости запроса  $\nu, \nu \in [100000, 1 \times 10^{11}]$  операций.

На первом этапе в результате обработки запросов в течение суток была сформирована выборка, содержащая 2762 запроса. Проведенный анализ с использованием средств тестирования [3] позволил определить производительность вычислительных узлов.

На втором этапе, согласно формуле (3), рассчитана ресурсоемкость всех запросов из выборки. Поскольку, согласно исходным данным, все запросы относятся к одному классу, выполнение третьего этапа не осуществлялось.

На четвертом этапе была определена функция и ошибка прогнозирования. Для сопоставимости значений ошибки функция (6) была нормирована и приведена к следующему виду:

$$\varepsilon = \frac{\sqrt{\frac{\sum_{i=0}^m (\hat{\nu} - \tilde{\nu})^2}{m}}}{\bar{\nu}} \rightarrow \min. \quad (9)$$

Результаты определения функции прогнозирования согласно алгоритму (рисунок 2) представлены в таблице 1. Расчет ошибки прогнозирования проводился с точностью до пятого знака включительно.

Таблица 1 – Результаты определения функции прогнозирования

Количество интервалов	$\min \sqrt{\frac{\sum_{i=0}^m (\hat{\nu} - \tilde{\nu})^2}{m}} / \bar{\nu}$	$\Delta, \%$	$\min \sqrt{\frac{\sum_{i=0}^m  \hat{\nu} - \tilde{\nu} / \tilde{\nu} }{m}} / \bar{\nu}$	$\Delta, \%$
1	2,93552	-	1,22347	-
2	2,71539	7,50	1,07969	11,76
3	2,41981	10,9	1,05596	2,20
4	2,24191	7,44	1,04017	1,50
5	2,14354	4,39	1,03357	0,77

Для случая минимизации нормированной ошибки (7) функция прогнозирования имеет следующий вид:

$$\hat{\nu}_H = \begin{cases} 324,357 \times l + 23154601; l > 24500 \\ 377,645 \times l + 15636248; 5100 < l \leq 24500 \\ 442,095 \times l + 4621270; l \leq 5100 \end{cases} \quad (10)$$

Для случая минимизации среднеквадратичной ошибки (6) функция прогнозирования имеет следующий вид:

$$\hat{\nu}_{CKO} = \begin{cases} 324,357 \times l + 23154601; l > 24500 \\ 352,668 \times l + 18356842; 14300 < l \leq 24500 \\ 375,635 \times l + 16548321; 6800 < l \leq 14300 \\ 416,146 \times l + 8693676; 3200 < l \leq 6800 \\ 446,657 \times l + 4846394; l \leq 3200 \end{cases} \quad (11)$$

Вид зависимости нормированной ошибки прогнозирования от местоположения точек разбиения представлен на рисунках 3 и 4.

Рисунки 3 и 4 показывают наличие нескольких локальных минимумов ошибки прогнозирования, что подтверждает правильность использования генетического алгоритма оптимизации.

На пятом этапе для последующих запросов получен прогноз их ресурсоемкости с использованием выражений (10) и (11). С использованием выражения (3) получен прогноз времени обработки запроса. Результаты прогнозирования в виде зависимости плотности вероятности обработки запроса от времени представлены на рисунке 5 (при минимизации нормированной ошибки) и рисунке 6 (для случая минимизации среднеквадратичной ошибки). Коэффициент корреляции реальной и прогнозной

плотности вероятности обработки запроса составил 0,92. Анализ ошибок прогнозирования показывает:

- ошибка прогнозирования времени обработки запроса в обоих случаях распределена по закону, отличному от нормального;
- значение полученного прогноза при минимизации нормированной ошибки ближе к моде, чем для случая среднеквадратичной ошибки;
- для целей планирования применимы оба метода прогнозирования, однако требуется учет их особенностей.

Использование предлагаемого подхода к прогнозированию времени обработки запросов позволяет повысить точность прогнозирования по сравнению с известными методами [10] на 20-40% и эффективность планирования систем на основе показателя своевременности на 10-15% по сравнению с дисциплинами обслуживания FCFS, LCFS, SITA.

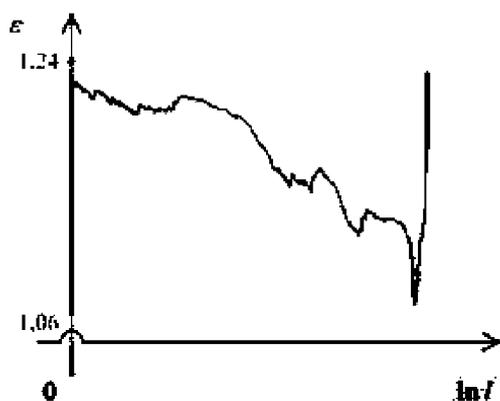


Рисунок 3 – Вид ошибки прогнозирования при разбиении области определения объема запроса на два интервала

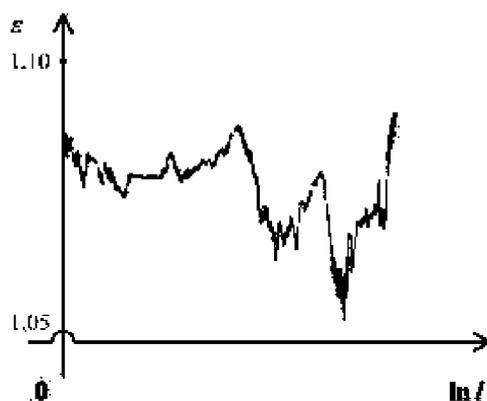


Рисунок 4 – Вид ошибки прогнозирования при разбиении области определения объема запроса на три интервала

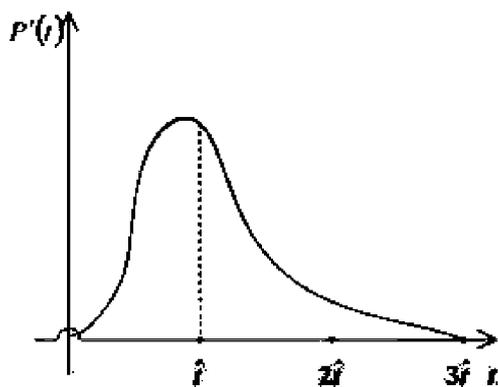


Рисунок 5 – Прогноз времени обработки запроса при минимизации нормированной ошибки

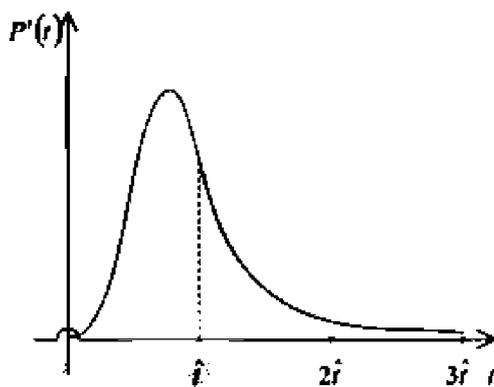


Рисунок 6 – Прогноз времени обработки запроса при минимизации среднеквадратичной ошибки

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Костогрызов А.И., Липаев В.В. Сертификация качества функционирования автоматизированных информационных систем. М.: Вооружение. Политика. Конверсия. 1996 г. – 275 с., ил.
2. Лебеденко Е. В., Логинов И. В. Планирование вычислений в потоковых вычислительных системах кластерного типа с гибридной архитектурой // Информационные технологии моделирования и управления, 2008. №7(50). – с. 846-853.
3. Мандель И. Д. Кластерный анализ. – М.: Финансы и статистика. – 1988. – 176 с.: ил.
4. Воеводин В. В. Вычислительная математика и структура алгоритмов. - М.: Изд. МГУ, 2006. - 112 с.
5. Eigenmann R. Performance Evaluation and Benchmarking with Realistic Applications. The MIT Press., 2001.
6. Hastie T., Tibshirani R., Friedman J. The Elements of Statistical Learning: Data Mining, Inference, and Prediction. (2nd edition). Springer-Verlag, 2008. – 763 pages.
7. Корнеев В. П. Методы оптимизации: Учебник. – М.: Всп. Шк., 2007. – 664 с.: ил.
8. Goldberg D.E. Genetic algorithms in search, optimization and machine learning. Addison Wesley. Reading, MA, 1989.
9. GartnrGroup, Keys to a Succesfull IDM Implementation, 2000, August.
10. Бестужев-Лада И. В. Рабочая книга по прогнозированию. – М.: Мысль, 1982. – 430 с.

**Логинов Илья Валентинович**

Академия ФСО России, г. Орёл  
Аспирант  
Тел.: 8-910-303-80-60  
E-mail: liv\_@list.ru

**Иванов Иван Владимирович**

Академия ФСО России, г. Орёл  
Младший научный сотрудник  
Тел.: 8 (4862) 47-13-59  
E-mail: mr.ivan@rambler.ru