

№ 4 (84) июль-август 2014

Издается с 2002 года. Выходит 6 раз в год

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

### *Редакционный совет*

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

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

### *Главный редактор*

Константинов И.С.

### *Редколлегия*

Архипов О.П. (Орел, Россия)  
Аверченков В.И. (Брянск, Россия)  
Бок Т. (Мюнхен, Федеративная Республика Германия)  
Гайндрик К. (Кишинев, Молдова)  
Долгий А. (Сент-Этьен, Франция)  
Еременко В.Т. (Орел, Россия)  
Иванников А.Д. (Москва, Россия)  
Ипатов О.С. (Санкт-Петербург, Россия)  
Колоколов Ю.В. (Ханты-Мансийск, Россия)  
Коськин А.В. (Орел, Россия)  
Маркарян Г. (Ланкастер, Великобритания)  
Подмастерьев К.В. (Орел, Россия)  
Поляков А.А. (Москва, Россия)  
Распопов В.Я. (Тула, Россия)

### Рубрики номера

1. Математическое и компьютерное моделирование.....5-20
2. Информационные технологии в социально-экономических и организационно-технических системах .....21-50
3. Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами.....51-78
4. Телекоммуникационные системы и компьютерные сети.....79-125
5. Информационная безопасность и защита информации.....126-134
6. Интеллектуальные приборы.....135-140

### *Редакция*

О.И. Константинова  
К.Д. Оболенская  
А.А. Митин

*Сдано в набор 15.06.2014 г.*

*Подписано в печать 26.06.2014 г.*

*Формат 60x88 1/8.*

*Усл. печ. л. 7,5. Тираж 300 экз.*

*Заказ № 02/14П2*

*Отпечатано с готового оригинал-макета  
на полиграфической базе*

*ФГБОУ ВПО «Госуниверситет - УНПК»*

*302030, г. Орел, ул. Московская, 65*

### Адрес учредителя журнала

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

### Адрес редакции

302020, г. Орел, Наугорское шоссе, 40  
(4862) 43-40-39; [www.gu-unpk.ru](http://www.gu-unpk.ru);  
E-mail: [isit@ostu.ru](mailto:isit@ostu.ru)

*Подписной индекс 15998*

*по объединенному каталогу*

**«Пресса России»**

**Материалы статей печатаются в авторской редакции.**

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

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

Зарег. в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций.

Св-во о регистрации средства массовой информации ПИ № ФС77-47350 от 03.11.2011 г.

©Госуниверситет – УНПК, 2014

№ 4 (84) July-August 2014

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

*Editorial council*

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

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

*Editor-in-chief*

Konstantinov I.S.

*Editorial board*

Arhipov O.P. (Orel, Russia)  
Averchenkov V.I. (Bryansk, Russia)  
Bok T. (Munich, Federal Republic of Germany)  
Gaidrik K. (Kishinev, Moldova)  
Dolgij A. (Saint-Etienne, France)  
Eremenko V.T. (Orel, Russia)  
Ivannikov A.D. (Moscow, Russia)  
Ipatov O.S. (St. Petersburg, Russia)  
Kolokolov J.V. (Khanty-Mansiysk, Russia)  
Koskin A.V. (Orel, Russia)  
Markaryan G. (Lancaster, Great Britain)  
Podmasteriev K.V. (Orel, Russia)  
Polyakov A.A. (Moscow, Russia)  
Raspopov V.Ya. (Tula, Russia)

*It is sent to the printer's on 15.06.2014,  
26.06.2014 is put to bed  
Format 60x88 1/8.*

*Convent. printer's sheets 7,5. Circulation 300 copies  
The order № 02/14П2*

*It is printed from a ready dummy layout  
on polygraphic base of State University – ESPC  
302030, Orel, Moskovskaya street, 65*

*Index on the catalogue  
«Pressa Rossii» 15998*

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

In this number

1. Mathematical and computer simulation.....5-20
2. Information technologies in social and economic and organizational-technical systems.....21-50
3. Automation and control of technological processes and manufactures.....51-78
4. Telecommunication systems and computer networks.....79-125
5. Information and data security.....126-134
6. Smart devices.....135-140

The editors

Konstantinova O.I.  
Obolenskaya K.D.  
Mitin A.A.

The address of the founder of journal

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

The address of the editorial office

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

*Journal is registered in Federal Service for  
Supervision in the Sphere of Telecom, Information  
Technologies and Mass Communications.*

*The certificate of registration  
ПН № ФС77-47350 from 03.11.2011.*

## **СОДЕРЖАНИЕ**

### **МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ**

*А.В. БЕЛОУСОВ, М.Г. ОВСЕПЯН, Ю.А. КОШЛИЧ, А.Г. ГРЕБЕНИК*  
Анализ динамики роста монокристалла технического сапфира.....5-14

*С.Н. ЛАЗАРЕВ, В.А. ЛЮБИМОВ*  
Методика оценки технических данных и характеристик средств АСУ производственно-хозяйственной деятельности.....15-20

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

*В.Н. ВОЛКОВ, А.А. СТЫЧУК, А.А. МИТИН*  
Разработка информационной модели представления данных о регламенте электронной услуги.....21-30

*А.С. ДОБРЫНИН, Р.С. КОЙНОВ*  
Алгоритмизация построения расписаний, учитывающих временные ограничения.....31-36

*М.А. КОРАБЛИН, О.И. ЗАХАРОВА*  
Множественность свойств как основа и механизм проверки гипотез.....37-44

*А.Л. МАШКОВА*  
Технологии агентного моделирования и поиска данных в мониторинге и прогнозировании явлений социальной напряженности.....45-50

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

*О.В. ЗАХАРОВА*  
Верификация программной системы моделирования АЛУ непосредственного формирования в процессах проектирования.....51-61

*О.А. ИВАЩУК, Д.А. КВАНИН*  
Автоматизированное управление экологической безопасностью локальных городских территорий.....62-68

*А.М. СОЛОВЬЁВ, В.И. РАКОВ*  
О результатах исследования процесса оценки качества функционирования усилителей низкой частоты.....69-78

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

*В.В. ВЛАСОВ, А.Н. ЗБИНЯКОВ*  
Модель контроля параметров сети Ethernet.....79-84

*О.В. МОИСЕЕВ, А.В. ЯКОВЛЕВ*  
Анализ потенциальной помехоустойчивости каналов в системах цифровой радиосвязи.....85-98

*А.А. ИЛЮХИН, А.Н. ОСИПОВ*  
Алгоритм оптимизации ресурсов радиointерфейса спутниковых каналов обмена данными оперативно-диспетчерского управления газотранспортными предприятиями.....99-106

*И.А. СТАРОВОЙТ, Е.Г. ЖИЛЯКОВ*  
Влияние узкополосных помех на помехоустойчивость систем связи, основанных на применении широкополосных сигналов.....107-111

*Р.Н. ТАКТАРОВ, Н.К. ЮРКОВ*  
Методика реализации системы инвентаризации сетевого оборудования.....112-117

*Д.И. УШАКОВ*  
О возможности повышения устойчивости сигналов с OFDM на воздействие джиттера несущей частоты.....118-125

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

*В.В. БУХАРИН, В.В. ДВОРЯДКИН, С.Ю. КАРАЙЧЕВ*  
Управление доступом к информационным ресурсам информационно-телекоммуникационной сети при обеспечении информационной безопасности.....126-134

### **ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ**

*Д.А. ТУПИКИН, С.В. КИСЕЛЁВА, И. АГИБАЛОВ*  
Оптоэлектронное устройство визуализации с механической разверткой.....135-140

## **CONTENT**

### **MATHEMATICAL AND COMPUTER SIMULATION**

<i>BELOUSOV A.V., OVSEPYAN M.G., KOSHLYCH Yu.A., GREBENIK A.G.</i> Analysis of the dynamics of technical sapphire crystal growth.....	5-14
<i>LAZAREV S.N., LYUBIMOV V.A.</i> Methods of technical data and performance vehicles automated control systems industrial and economic activity.....	15-20

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

<i>VOLKOV V.N., STYCHUK A.A., MITIN A.A.</i> Development of information model of data presentation about regulations of electronic services to the population.....	21-30
<i>DOBRYNIN A.S., KOJNOV R.S.</i> Algorithmization of construction schedule that consider time limits.....	31-36
<i>KORABLIN M.A., ZAXAROVA O.I.</i> The multiplicity of properties as the basis and mechanism hypothesis testing.....	37-44
<i>MASHKOVA A.L.</i> Agent modeling and data mining in social tension monitoring and forecasting.....	45-50

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

<i>ZAXAROVA O.V.</i> Verification of program system of modelling ALU of direct formation in design processes.....	51-61
<i>IVASHHUK O.A., KVANIN D.A.</i> Automated environment safety management of the local urban territories.....	62-68
<i>RAKOV V.I., SOLOV'YOV A.M.</i> About results of research of process of the assessment of quality functioning of amplifiers of low frequency.....	69-78

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

<i>VLASOV V.V., ZBINYAKOVA N.</i> Control model of network Ethernet parameters.....	79-84
<i>MOISEEV O.V., YAKOVLEV A.V.</i> Analysis of the channel potential interference immunity in digital radio systems.....	85-98
<i>ILYUXIN A.A., OSIPOV A.N.</i> Algorithm of optimization of resources of the air-interface of satellite channels of the data interchange of supervisory control of gas transmission companies.....	99-106
<i>STAROVOJT I.A., ZhILYAKOV E.G.</i> Effects of narrow-band disturbance on interference immunity communication systems based on the application of broadband signals.....	107-111
<i>TAKTAROV R.N., YURKOV N.K.</i> Implementation methods of the system of inventorying network equipment.....	112-117
<i>USHAKOV D.I.</i> About possibility increasing immunity OFDM signals on impact jitter of carrier frequency.....	118-125

### **INFORMATION AND DATA SECURITY**

<i>BUXARIN V.V., DVORYADKIN V.V., KARAJCHEV S.Yu.</i> Control of access to the information resources of information-telecommunication system in providing information security.....	126-134
--	---------

### **SMART DEVICES**

<i>TUPIKIN D.A., KISELYOVA S.V., AGIBALOV I.</i> Electrooptical visualization device with mechanical sweep.....	135-140
--	---------

УДК 004.932:528.83

А.В. БЕЛОУСОВ, М.Г. ОВСЕПЯН, Ю.А. КОШЛИЧ, А.Г. ГРЕБЕНИК

**АНАЛИЗ ДИНАМИКИ РОСТА МОНОКРИСТАЛЛА ТЕХНИЧЕСКОГО САПФИРА**

*В статье формализован алгоритм анализа динамики роста монокристалла технического сапфира на этапе затравления при производстве по методу Киропулоса. Предлагается способ оценки скорости роста монокристаллов на основе анализа распределения интенсивности излучения по трассировочным лучам. Основное внимание уделяется математической обработке радиометрических изображений, полученных в тигле ростовой установки производства ООО «Техсапфир».*

**Ключевые слова:** система управления; автоматизированное затравление; сапфир; метод Киропулоса; оператор Собея; распределение Гаусса; радиометрическое изображение.

Область применения сапфира определяется следующими его свойствами: высокой механической прочностью, химической и биологической инертностями, высокой прозрачностью и отсутствием проводимости для электрического тока.

Основные сферы применения искусственных сапфиров:

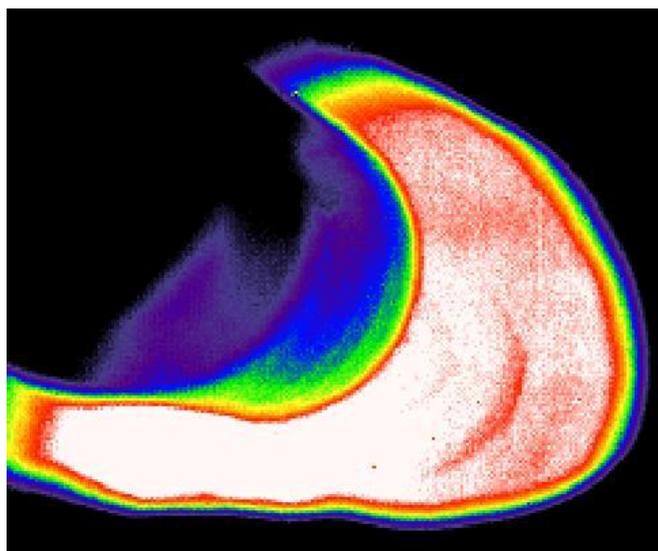
1. Микроэлектроника (подложки для полупроводниковых устройств).
2. Оптоэлектроника (подложки для светодиодов, применяемых для общего освещения, подсветки экранов, в светосигнальных устройствах, рекламных поверхностях и т.д.).
3. Оптика и приборостроение (линзы, окна и световоды для оптических приборов, в том числе, видео- и фотокамер, приборов военного назначения).
4. Медицина (оптические окна лазерных приборов, световоды, скальпели и протезы: костей, зубные импланты, хрусталики и т.д.).
5. Часовая промышленность (часовые стекла и детали механизма).
6. Промышленное машиностроение (детали, от которых требуется высокая прочность и устойчивость в агрессивных средах: трубы, тигли, воронки, капилляры, химическая посуда и т.д.).
7. Автомобилестроение (защитные стекла фар, фонарей и сигналов).
8. Авиация и космос (иллюминаторы самолетов и космических кораблей, обтекатели ракет и самолетов).

Большая часть мирового рынка искусственных сапфиров – пластины для изготовления подложек для чипов и светодиодов. Технология выращивания кристаллов сапфира была разработана уже в 60-х годах (а первые образцы были получены еще в начале XX века). Сейчас используется несколько методов (Вернейля, Киропулоса, Чохральского, горизонтально направленной кристаллизации (ГНК)) [1-3]. Однако каждый производитель вносит собственные изменения как в конструкцию установок для выращивания кристаллов (ростовых машин), так и в саму технологию. Смысл этих изменений заключается в получении кристаллов большего размера и лучшего качества. В связи с недостаточной теоретической проработкой производства по методу Киропулоса, позволяющего получать кристаллы наибольшего размера, недостаточно точной (в плане измерений) элементной базы средств измерения и отсутствием формализованного алгоритма процесс затравления

производится оператором вручную. Результат зависит от профессионализма и определенных качеств оператора, т.е. упирается в человеческий фактор.

Для решения проблемы предлагается программно-аппаратный комплекс, который при помощи формализованного алгоритма затравления на основе визуальной информации позволит значительно повысить уровень автоматизации процесса производства.

При помощи предоставленных производителем библиотек для разработки приложений можно получить радиометрические измерения (в виде изображения, каждый пиксель которого несет в себе информацию о цветовой температуре поверхности расплава – цифрового уровня (рис. 1)) [4-7].



*Рисунок 1 – Радиометрические измерения, полученные в тигле ростовой установки ООО «Техсапфир»*

Это не что иное, как массив данных, каждая координата которого содержит информацию об интенсивности излучения. Для представления изображения в «более читаемой» для ЭВМ форме применяется оператор Собеля, который использует область изображения  $3 \times 3$  пикселя. Оператор Собеля представляет собой более неточное приближение градиента изображения, но он достаточно качественен для практического применения во многих задачах. Точнее, оператор использует значения интенсивности только в окрестности  $3 \times 3$  каждого пикселя для получения приближения соответствующего градиента изображения и только целочисленные значения весовых коэффициентов яркости для оценки градиента.

Для обработки изображения выбирается окрестность  $3 \times 3$  пикселя (рис. 2).

$z_1$	$z_2$	$z_3$
$z_4$	$f(x,y)$	$z_6$
$z_7$	$z_8$	$z_9$

*Рисунок 2 – Обрабатываемая окрестность изображения*

Нахождение градиента заключается в использовании весового коэффициента для средних элементов:

$$G_x = \frac{\partial f(x,y)}{\partial x} = (z_7 + 2z_8 + z_9) - (z_1 + 2z_2 + z_3)$$

и

$$G_y = \frac{\partial f(x,y)}{\partial y} = (z_3 + 2z_6 + z_9) - (z_1 + 2z_4 + z_7).$$

Это увеличенное значение используется для уменьшения эффекта сглаживания за счет придания большего веса средним точкам. Маски, используемые оператором Собеля, отображены на рисунке 3.

-1	-2	-1
0	0	0
1	2	1

-1	0	1
-2	0	2
-1	0	1

*Рисунок 3 – Маски оператора Собеля*

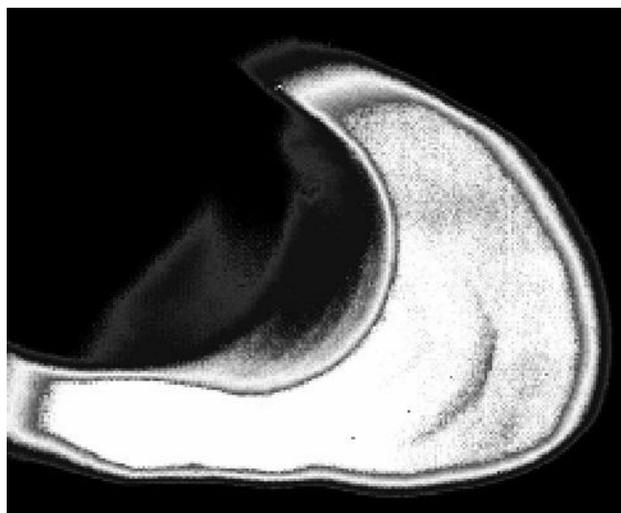
Рассмотренные выше маски применяются для получения составляющих градиента  $G_x$  и  $G_y$ . Для вычисления величины градиента эти составляющие необходимо использовать совместно:

$$f(x,y) = \sqrt{G_x^2 + G_y^2}.$$

Но для практического применения достаточно вычисления

$$\nabla f(x,y) \approx |G_x| + |G_y|.$$

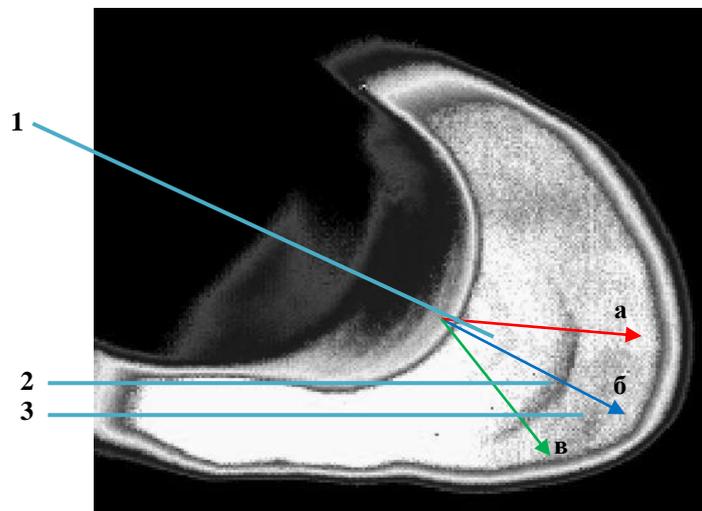
В итоге обработки получится изображение, которое представлено на рисунке 4.



*Рисунок 4 – Обработанное изображение*

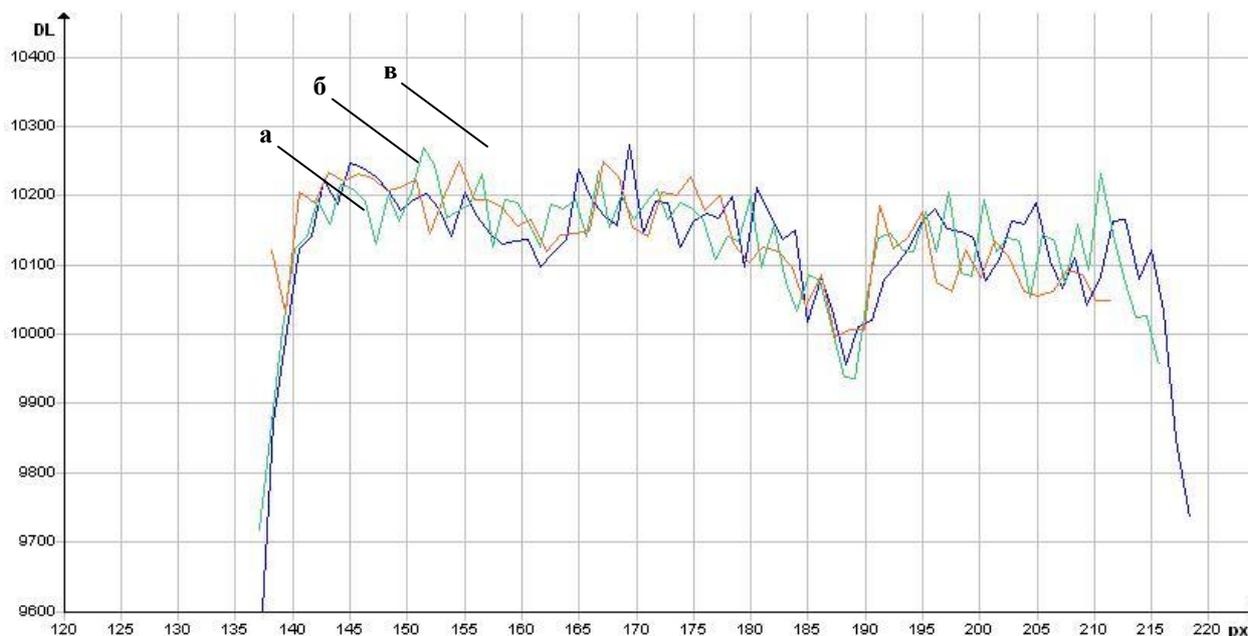
Динамика роста монокристалла определяется расстоянием между так называемой перетяжкой кристалла и его краем, определить которое можно, вычислив глобальные экстремумы распределений интенсивности (рис. 5).

На основе разработанного алгоритмического обеспечения получения и обработки изображений состояния монокристалла на этапе затравления при помощи предоставленных производителем библиотек для разработки приложений можно получить радиометрические измерения (в виде изображения, каждый пиксель которого несет в себе информацию о цветовой температуре поверхности расплава – цифрового уровня (рис. 6)) [7, 8].



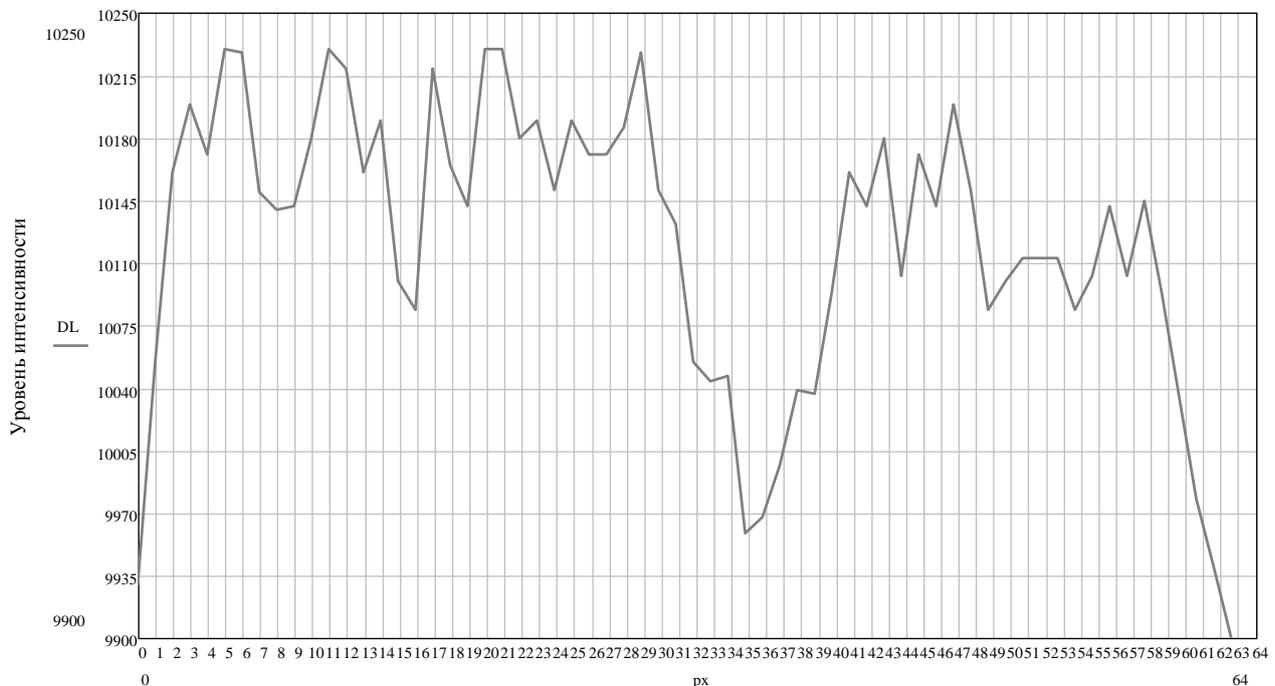
**Рисунок 5 – Обработанные радиометрические измерения в тигле ростовой установки (1 – край затравочного кристалла, 2 – «перетяжка» кристалла, 3 – край монокристалла; на рисунке условно обозначены трассировочные лучи а, б, в)**

Динамика роста монокристалла определяется расстоянием между так называемой перетяжкой кристалла 2 и его краем 3, определить которое можно, вычислив локальные экстремумы распределений интенсивности на трассировочных лучах а, б, в (рис. 6).



**Рисунок 6 – Распределение уровня интенсивности (DL) по трассировочным лучам (отмеченные тренды на графике соответствует распределению интенсивности по соответствующему трассировочному лучу на рисунке 2)**

Согласно разработанному алгоритмическому обеспечению получения и обработки изображений состояния монокристалла на этапе затравления происходит захват кадра при каждом повороте затравкодержателя. Поиск локальных экстремумов распределения интенсивности по трассировочному лучу затрудняют яркостные шумы (рис. 7). Поэтому для обработки полученных распределений производится сглаживание сигнала.



**Рисунок 7 – Распределение интенсивности излучения по трассировочному лучу (DL – уровень интенсивности в условных единицах цифрового уровня)**

При анализе методов фильтрации сигналов [1] выбор был произведен в пользу сглаживания данных на основе функции Гаусса (1), поскольку такое сглаживание подавляет шум, поддерживая требование, чтобы точки «были похожи» на своих соседей. Уменьшая весовые коэффициенты для отдалённых точек, можно быть уверенным, что для них это требование будет не таким жёстким.

$$K(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\cdot\sigma} \cdot e^{-\left(\frac{t^2}{2\cdot\sigma^2}\right)}, \quad (1)$$

где  $\sigma$  – среднееквадратическое отклонение гауссиана.

Непосредственно сами элементы вектора сглаженных данных DH находятся по формуле (2)

$$DH_i = \frac{\sum_{j=0}^{m-1} K\left(\frac{px_i - DH_j}{b}\right) DH_j}{\sum_{j=0}^{m-1} K\left(\frac{px_i - px_j}{b}\right)}, \quad (2)$$

где  $b$  – апертура фильтра,  $m$  – количество точек.

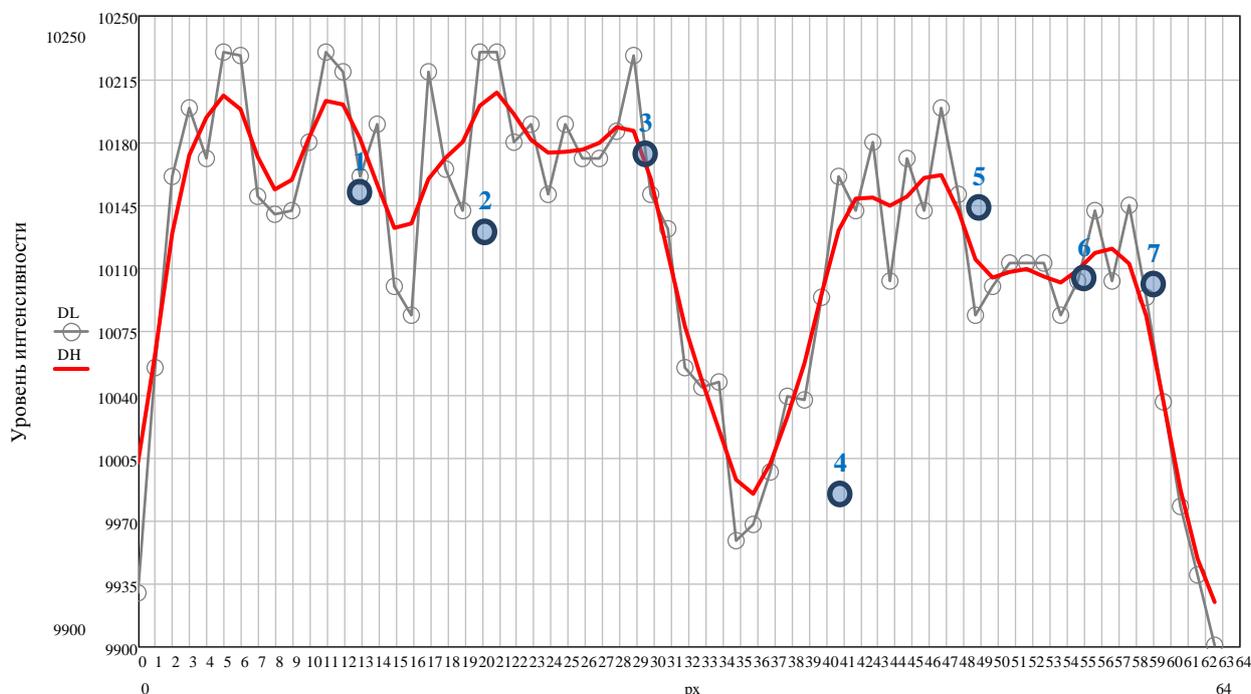
Если  $\sigma$  очень мала (например,  $\sigma \ll 1$ ), то сглаживание даст незначительный результат, поскольку весовые коэффициенты всех пикселей, находящихся не в центре, будут очень малы.

Для большей  $\sigma$  у соседних пикселей весовые коэффициенты при применении схемы взвешенного среднего будут больше, что, в свою очередь, означает, что среднее значение будет сильно стремиться к согласованию с соседями – это будет хорошая оценка значения

пикселя, а за счёт размывания исчезнет большая часть шума.

Увеличение  $\sigma$  приведёт к тому, что наряду с шумом исчезнет и большая часть сигнала.

Сглаженное при помощи функции Гаусса с  $\sigma=0,37$  и  $b=3$  распределение интенсивности по трассировочному лучу представлено на рисунке 8.



**Рисунок 8 – Распределение интенсивности, сглаженное на основе функции Гаусса (DL – уровень интенсивности в условных единицах цифрового уровня, DH – сглаженное распределение интенсивности, 1-7 – точки локальных минимумов распределения DH)**

Но оперировать со сглаженной кривой DH для определения экстремумов не имеет смысла, поскольку в искомые значения минимумов распределения 2 и 4, координаты которых соответствуют краю перетяжек монокристалла (в разрезе плоскости, проходящей через трассировочный луч), попадут дополнительные точки (1, 3, 5-7), экстремальные значения в которых вызваны неравномерностью распределения температуры и яркостными шумами.

Получение значений глобальных экстремумов с достаточной точностью возможно при аппроксимации распределения интенсивности (рис. 9). В качестве метода аппроксимации была выбрана полиномиальная аппроксимация на основе метода наименьших квадратов. При росте количества перетяжек необходимо изменять степень аппроксимирующего полинома.

$$DA(px) = \sum_{i=0}^n C_i px^{n-i}, \tag{3}$$

где  $n$  – степень полинома.

Решением задачи является вектор, минимизирующий отклонение  $E(x)$  (4) – общую ошибку аппроксимации.

$$E = \sum_{j=0}^{m-1} (DH(px_j) - \sum_{i=0}^n C_i px_j^{n-i})^2, \tag{4}$$

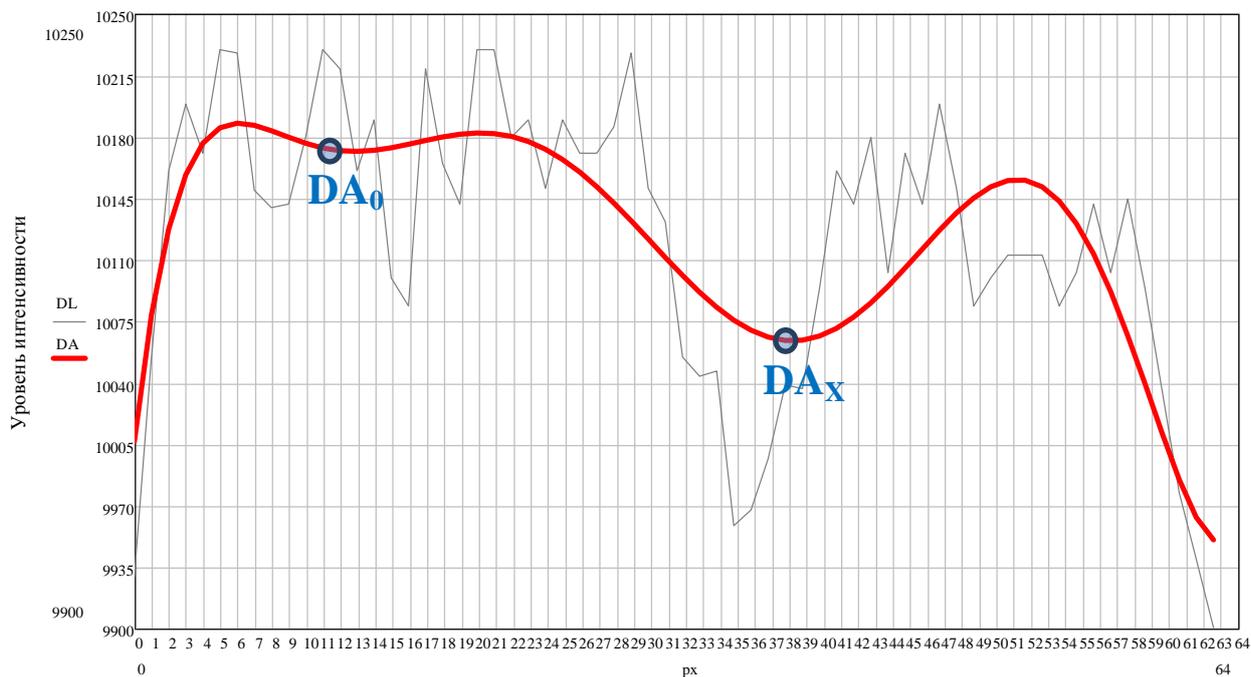
где  $m$  – количество точек распределения.

Нахождение коэффициентов аппроксимирующего полинома сводится к решению системы из  $n$  уравнений (5):

$$\frac{\partial \mathcal{E}}{\partial c_i} = 0. \quad (5)$$

В качестве численного метода решения системы алгебраических уравнений выбран алгоритм с использованием сингулярного разложения (SVD – Singular Value Decomposition), позволяющий решать плохо обусловленные проблемы и даже проблемы с вырожденной системой базисных функций.

Касательно рассматриваемого случая, когда в поле зрения камеры находится первичная и растущая перетяжка сапфира, т.е. функция должна иметь два минимума, с достаточной точностью распределение может быть аппроксимировано полиномом седьмой степени ( $n=7$ ) (рис. 9).



**Рисунок 9 – Полиномиальная аппроксимация распределения интенсивности, сглаженная на основе функции Гаусса (DL – уровень интенсивности в условных единицах цифрового уровня, DA – аппроксимирующий полином)**

Значение  $d_0$ , в котором аппроксимирующий полином DA принимает экстремальное значение  $DA_0$ , соответствует расстоянию от центра первоначального касания затравочным кристаллом расплава до первой перетяжки монокристалла, а искомое значение  $d_x$ , в котором аппроксимирующий полином DA принимает экстремальное значение  $DA_x$  – расстоянию до границы перехода фаз, определение динамики изменения которого соответствует определению динамики роста кристалла по соответствующему фронту.

Для получения двумерной визуальной модели кристалла (рис. 10) в плоскости, перпендикулярной затравкодержателю ростовой установки, достаточно перейти от декартовых координат к полярным с последующим определением расстояний  $d_0, d_1, \dots, d_x$ .

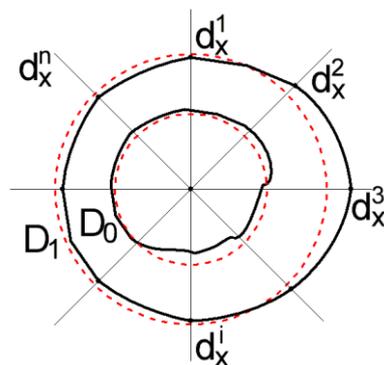


Рисунок 10 – Двумерная модель кристалла

Таким образом, программная реализация [9] формализованного алгоритма позволит получить данные о скорости кристаллизации и оценивать динамику роста. Полученные данные могут быть использованы для получения визуальных моделей кристаллов. Использование информации в системах управления позволит значительно повысить степень автоматизации процессов производства монокристаллов технического сапфира по методу Киропулоса. В процессе затравления управляющий сигнал необходимо формировать в зависимости от динамики фронта кристаллизации, добиваясь равномерного по всем направлениям роста кристалла.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дарковский Ю.В. Автоматизация процесса производства монокристаллов сапфира методом Киропулоса / Оборудование и технологии роста кристаллов – 2009: I-й Международный практический семинар. – Брянск, 2009.
2. Багдасаров Х.С., Горяинов Л.А. Тепло- и массоперенос при выращивании монокристаллов направленной кристаллизацией. – М.: ФИЗМАЛИТ, 2007. – 224 с. – ISBN 978-5-9221-0806-5.
3. Лобацевич К.Л. Повышение стабильности скорости кристаллизации монокристаллов лейкосапфира по методу Киропулоса введением прогнозирующего управления по скорости изменения массы монокристалла: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. – Рыбинск, 2010. – 141 с.
4. Юдин Д.А., Магергут В.З. Сегментация изображений процесса обжига с применением текстурного анализа на основе самоорганизующихся карт // Информационные технологии, 2013. – № 5. – С. 65-70.
5. Юдин Д.А., Магергут В.З. Программный комплекс системы технического зрения для оценки состояния процесса обжига // Программные продукты и системы, 2013. – № 2. – 38 с.
6. Yudin D.A., Magergut V.Z. Machine vision system for assessment of firing process parameters in rotary kiln // World Applied Sciences Journal, 2013. – Т. 24. – № 11. – С. 1460-1466.
7. Mark S. Nixon and Alberto S. Aguado. Feature Extraction and Image Processing // Academic Press, 2008. – 88 с.
8. Bradsky G., Kaehler A. Learning OpenCV // O'Reilly, 2008. – 1 p. – ISBN 978-0-596-51613-0
9. Белоусов А.В. Web-интерфейс системы диспетчеризации распределенных объектов электропотребления / А.В. Белоусов, С.Н. Глаголев, Ю.А. Кошлич, А.Б. Быстров // Инновации на основе информационных и коммуникационных технологий, 2012. – № 1. – С. 325-328.

**Белоусов Александр Владимирович**

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород  
Кандидат технических наук, доцент, начальник управления информатизации и коммуникаций  
E-mail: ntk@intbel.ru

**Овсеян Мартик Георгиевич**

ООО «Техсапфир», г. Белгород  
Директор  
E-mail: ntk@intbel.ru

**Кошлич Юрий Алексеевич**

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород  
Ведущий инженер управления информатизации и коммуникаций  
E-mail: koshlich@yandex.ru

**Гребеник Артем Геннадьевич**

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород  
Студент  
E-mail: iitusnik@gmail.com

---

A.V. BELOUSOV (*Candidate of Engineering Science, Associate Professor, Head of the Management of Information and Communications*)  
*Belgorod Shukhov State Technology University, Belgorod*

M.G. OVSEPYAN (*Director*)  
*LLC «Texsapfir», Belgorod*

Yu.A. KOSHlich (*Senior Engineer of the Management of Information and Communications*)

A.G. GREBENIK (*Student*)  
*Belgorod Shukhov State Technology University, Belgorod*

**ANALYSIS OF THE DYNAMICS OF TECHNICAL SAPPHIRE CRYSTAL GROWTH**

*The paper formalized algorithm analysis of the dynamics of growth of a crystal sapphire in the production of method Kyropoulos. It is proposed a method of estimating the rate of growth of single crystals on the basis of analysis of the distribution of the radiation intensity on trace rays. Focuses on the mathematical treatment of radiometric images obtained in the crucible growth installation produced by TechSapphire Ltd.*

**Keywords:** *control system; automated seeding; sapphire; Kyropoulos method; Sobel operator; Gaussian distribution; radiometric image.*

**BIBLIOGRAPHY (TRANSLITERATED)**

1. Darkovskij Yu.V. Avtomatizaciya processa proizvodstva monokristallov sapfira metodom Kiropulosa / Oborudovanie i texnologii rosta kristallov – 2009: I-j Mezhdunarodny'j prakticheskij seminar. – Bryansk, 2009.
2. Bagdasarov X.S., Goryainov L.A. Teplo- i massoperenos pri vy'rashivanii monokristallov napravlennoj kristallizaciej. – M.: FIZMALIT, 2007. – 224 s. – ISBN 978-5-9221-0806-5.
3. Lobacevich K.L. Povy'shenie stabil'nosti skorosti kristallizacii monokristallov lejkosapfira po metodu Kiropulosa vvedeniem prognoziryuyushhego upravleniya po skorosti izmeneniya massy' monokristalla: dissertaciya na soiskanie uchyonoj stepeni kandidata texnicheskix nauk. – Ry'binsk, 2010. – 141 s.
4. Yudin D.A., Magergut V.Z. Segmentaciya izobrazhenij processa obzhiga s primeneniem teksturnogo analiza na osnove samoorganizuyushhixsya kart // Informacionny'e texnologii, 2013. – № 5. – S. 65-70.
5. Yudin D.A., Magergut V.Z. Programmny'j kompleks sistemy' texnicheskogo zreniya dlya ocenki sostoyaniya processa obzhiga // Programmny'e produkty' i sistemy', 2013. – № 2. – 38 s.

6. Yudin D.A., Magergut V.Z. Machine vision system for assessment of firing process parameters in rotary kiln // World Applied Sciences Journal, 2013. – Т. 24. – № 11. – С. 1460-1466.
7. Mark S. Nixon and Alberto S. Aguado. Feature Extraction and Image Processing // Academic Press, 2008. – 88 s.
8. Bradsky G., Kaehler A. Learning OpenCV // O'Reilly, 2008. – 1 p. – ISBN 978-0-596-51613-0
9. Belousov A.V. Web-interfejs sistemy' dispetcherizacii raspredelyonny'x ob''ektov e'lektropotrebleniya / A.V. Belousov, S.N. Glagolev, Yu.A. Koshlich, A.B. By'strov // Innovacii na osnove informacionny'x i kommunikacionny'x tehnologij, 2012. – № 1. – С. 325-328.

УДК 629.083

С.Н. ЛАЗАРЕВ, В.А. ЛЮБИМОВ

**МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКИХ ДАННЫХ И ХАРАКТЕРИСТИК СРЕДСТВ АСУ ПРОИЗВОДСТВЕННО-ХОЗЯЙСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ**

*В статье представлена методика оценки данных и характеристик средств автоматизированных систем управления производственно-хозяйственной деятельностью, позволяющая произвести обоснованный выбор конкретных технических средств из представленного множества выпускаемых различными производителями из имеющихся на рынке продаж.*

**Ключевые слова:** автоматизированная система управления; задачи принятия решений.

Эффективность эксплуатации АСУ производственно-хозяйственной деятельностью (АСУ ПХД) во многом определяется готовностью технических средств выполнять функциональные задачи по предназначению. Вместе с тем, в ходе эксплуатации решаются задачи по плановой и неплановой замене технических средств АСУ ПХД. Особенно актуальной данная задача является в ходе частичной и комплексной модернизации вычислительных сетей. В связи с этим возникает научно-техническая проблема реализации всесторонне обоснованного выбора перспективных образцов технических средств АСУ ПХД, удовлетворяющих требованиям вычислительной сети.

Методика оценки технических данных и характеристик средств АСУ ПХД необходима для обоснования выбора конкретных технических средств из представленного множества выпускаемых различными производителями из имеющихся на рынке продаж.

Оценку выбора будем проводить на основе перечня показателей, характеризующих техническую, функциональную, надежность и экономическую составляющие технических средств АСУ ПХД.

Условия решения задачи:

- множество однотипных технических средств АСУ ПХД определено, конечно;
- типы (номенклатура) технических средств АСУ ПХД известны;
- известны технические, надежность, стоимостные показатели конкретных технических средств;
- известны конечные (минимально необходимые) требования сети;
- известны значения представленных показателей.

Исходя из рассмотренных условий, можно сделать вывод, что данная задача может быть сведена к задаче принятия решения в условиях определенности (все параметры известны, с течением времени они практически не изменяются) и задача носит многокритериальный характер (принятие решения при нескольких критериях) [1-4].

Среди задач принятия решений при нескольких критериях важное место занимают задачи многокритериальной оптимизации. Главной особенностью этих задач, как и решаемой в данной работе, является то, что все критериальные функции  $f_1, \dots, f_n$  являются числовыми. В этом случае можно провести более тонкий анализ свойств задачи и разработать эффективные методы ее решения.

Также можно отметить, что в рассматриваемой задаче выполняется предположение о том, что задача является критериальной; критерии являются независимыми по предпочтению, имеется возможность сравнить любую пару значений на шкале каждого из частных критериев [1].

Введем дополнительные предположения:

– первое предположение состоит в том, что критериальное пространство  $W'$  является  $n$ -мерным линейным пространством  $\mathbb{R}^m$ , т.е. частные критерии не только являются числовыми: наборы их значений можно складывать и умножать на число, то есть набор значений критериев  $f(x)$  является  $m$ -мерным вектором;

– вторым важным предположением является предположение о монотонности значений критериев по предпочтению, то есть используется предположение о том, что улучшению качества решения соответствует увеличение (или уменьшение) значения критерия. В процессе анализа задач с критериальными функциями  $f_1, \dots, f_n$ , где  $n > 1$ , аналогичным образом удобно предположение о том, что увеличение (или уменьшение) значения частного критерия (при постоянных значениях других критериев) предпочтительно для лиц, принимающих решение. Такие частные критерии иногда называются монотонными по предпочтению, а отдельные компоненты  $f_j, j = \overline{1, n}$  вектор-функции  $f$  – целевыми функциями [1];

– третьим предположением является то, что возможно увеличение (уменьшение) значения каждого из частных критериев (показателей).

### ОБЩАЯ ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ

Определение: задачей многокритериальной максимизации называется задача выбора решения из некоторого множества  $X \subseteq W$ , которая удовлетворяет следующим требованиям:

- задача является критериальной;
- критерии независимы по предпочтению;
- отображение  $f$  действует в  $\mathbb{R}^m$ .

Задачу многокритериальной максимизации часто записывают в следующем виде, аналогичном задаче скалярной оптимизации:

$$f(x) \rightarrow \max, \quad x \in X$$

или

$$y \rightarrow \max, \quad y = f(x), \quad x \in X \subseteq W, \quad f: W \rightarrow \mathbb{R}^m.$$

Поскольку в задаче многокритериальной оптимизации критерии независимы по предпочтению и являются числовыми характеристиками, монотонными по предпочтению, то для сравнения критериальных векторов можно использовать обычные алгебраические сравнения значений частных критериев. Можно также рассмотреть квазипорядок «не хуже», заданный на  $y' \in \mathbb{R}^m$  объединением бинарных отношений доминирования по Парето и равноценности (эквивалентности) [1, 2].

Необходимость использования нескольких критериев для оценки вариантов выбора лучших технических средств АСУ ПХД обусловлена разнородностью характеристик вариантов и многообразием достигаемых при решении проблемы целей. Это связано с тем, что рассматриваемые варианты альтернативных технических средств АСУ ПХД обладают многими свойствами, параметрами и характеристиками, которые выражаются критериями  $K_1, K_2, \dots, K_n$ . Тогда каждому варианту  $A_i$  можно сопоставить  $n$ -мерный вектор (кортеж) вида  $x_i = (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{in})$ , компонентами которого будут числовые оценки  $x_{ig} = K_g(A_i)$  характеристик варианта по шкалам  $X_g$  критериев  $K_g, g = \overline{1, n}$ .

В этом случае разрешение проблемной ситуации выбора варианта технического средства АСУ ПХД может быть связано с достижением многих целей. Тогда каждый вариант  $A_i$  оценивается по многим критериям, которые называются критериями оценки качества решения (выбора варианта).

Каждый такой критерий является числовой функцией  $y = f(x)$ , где  $x$  – скалярная или векторная переменная. Качество варианта  $A_i$  при наличии нескольких различных целей характеризуется  $h$ -мерным вектором  $y_i = (y_{i1}, y_{i2}, \dots, y_{ih})$ , координатами которого будут оценки по частным критериям качества  $y_{ik} = f_k(x_i)$ .

Такая точка зрения на роль критериев обычно присуща при исследовании операций, имеющих дело с числовыми показателями [1].

Решение задачи в данной постановке требует выполнение дополнительных правил (условий).

**Первое условие:** требуется корректное измерение характеристик вариантов (проблема измерения). То есть необходимо определить, какие показатели характеризуют технические средства АСУ ПХД, по каким критериям и как оцениваются варианты, как получить необходимую для выбора информацию.

**Второе условие:** необходимо преобразование значений отдельных показателей, оценки по частным критериям в общий интегральный показатель (проблема агрегирования). Агрегирование частных оценок – один из главных и незаменимых этапов в задаче многокритериального выбора.

**Третье условие:** требуется нормирование значений. При измерении характеристик, описывающих варианты последующей обработки результатов измерений, необходимо решить задачу сопоставимости разнородных характеристик. Это связано с тем, что восприятие такой разнородной информации при принятии решения затруднительно и неоднозначно. Поэтому предлагается в методике такую информацию приводить к более удобному, нормализованному виду с учетом того, что числовые шкалы многих характеристик вариантов технических средств АСУ ПХД имеют разную размерность и различный размах шкалы.

В рассматриваемой задаче шкалы  $X_g$  частных числовых критериев  $K_g$  вариантов имеют разные единицы измерения, тогда оценки по критериям предлагается сделать безразмерными с использованием нижеприведенных выражений [1]:

$$x_g^1 = x_g / x_g^{\max}, \quad (1)$$

$$x_g^1 = x_g / (x_g^{\max} - x_g^{\min}), \quad (2)$$

$$x_g^1 = (x_g - x_g^{\min}) / (x_g^{\max} - x_g^{\min}), \quad (3)$$

где  $x_g^{\max}$  и  $x_g^{\min}$  – максимальные и минимальные оценки по  $g$ -му критерию, определяющие размах шкалы.

## ЭТАПЫ МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКИХ ДАННЫХ И ХАРАКТЕРИСТИК СРЕДСТВ АСУ ПХД

**Первый этап.** Производится выбор конкретных технических средств АСУ ПХД из множества имеющихся и удовлетворяющих допустимым требованиям вычислительной сети. Данный выбор осуществляется на основе вербальных требований, предъявляемых к техническим средствам: производительность, надежность, стоимость и др.

Требования предъявляются (уточняются) с учетом выбранных технических средств АСУ ПХД (мультиплексоры, концентраторы, ПЭВМ и др.). В обобщенном виде данная процедура называется формированием множества вариантов решений  $A_i$ . Данное множество должно быть конечным.

**Второй этап.** Осуществляется выбор наиболее значимых параметров (технических характеристик), имеющих числовые значения; составляется их перечень. Данный перечень показателей, как правило, характеризует техническую, функциональную, надежность и экономическую составляющие технических средств АСУ ПХД. Для сравнительной оценки выбранных вариантов используются несколько показателей (критериев). Это обусловлено разнородностью характеристик вариантов и многообразием достигаемых при решении проблемы целей. Сформированные на первом этапе варианты альтернативных технических средств АСУ ПХД обладают многими свойствами, параметрами и характеристиками, которые выражаются критериями  $K_1, K_2, \dots, K_n$ .

Каждый вариант  $A_i$  имеет  $n$ -мерный вектор (кортеж) вида  $x_i = (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{in})$ , компонентами которого будут числовые оценки показателей (критериев)  $x_{ig} = K_g(A_i)$  каждого варианта по шкалам  $X_g$  критериев  $K_g, g = \overline{1, n}$ .

**Третий этап.** Осуществляется нормирование значений критериев (показателей) для решения задачи сопоставимости разнородных характеристик. В методике предлагается такую информацию приводить к более удобному, нормализованному виду с учетом того, что числовые шкалы многих характеристик вариантов технических средств АСУ ПХД имеют разную размерность и различный размах шкалы. В рассматриваемой задаче шкалы  $X_g$  частных числовых критериев  $K_g, g = \overline{1, n}$  вариантов имеют разные единицы измерения. В этом случае оценки по критериям предлагается сделать безразмерными с использованием вышеприведенных выражений (1-3).

**Четвертый этап.** Осуществляется преобразование значений отдельных показателей оценки по частным критериям в общий интегральный показатель (решение задачи агрегирования). Интегральный показатель предлагается формировать на основе аддитивной свертки, то есть представлять в виде суммы локальных критериев для каждого варианта:

$$f(x) = \sum_{i=1}^h f_i. \quad (4)$$

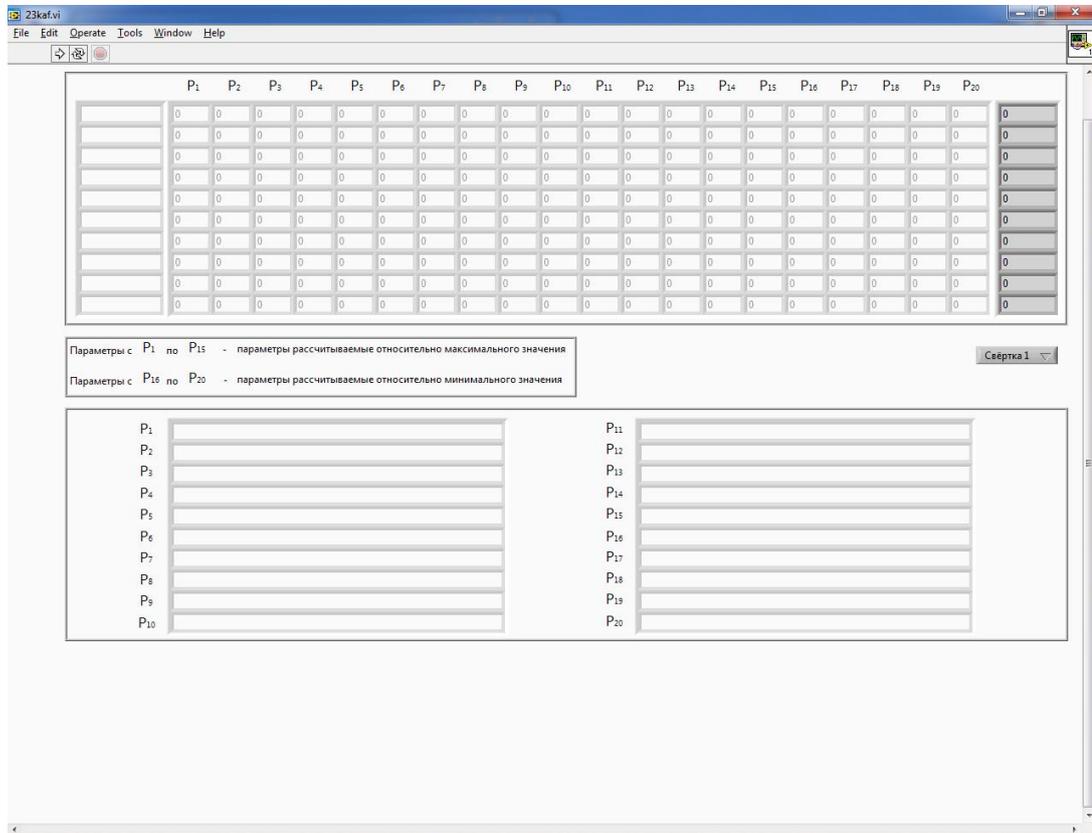
**Пятый этап.** На этом заключительном этапе производится оценка вариантов по обобщенному критерию. Выбор наилучшего варианта по максимальному значению обобщенного (интегрального) показателя (критерия) осуществляется следующим образом:

$$y \rightarrow \max, \quad y = f(x), \quad x \in X \subseteq W, \quad f: W \rightarrow R^m.$$

Предлагаемая методика комплексная (в ней учитываются как индивидуальные, так и интегральные показатели), нетрудоемкая, гибкая, несложная в применении на практике и универсальная, т.к. построена на известных методах оптимизации. Данная методика может быть использована в качестве инструмента для обоснованного выбора однородных (одной

номенклатуры) технических средств АСУ ПХД. Также с ее помощью можно оперативно оценить эффективность выбираемых технических средств.

Для удобства применения разработанной методики создана программа ЭВМ, реализованная в программной среде LabVIEW, лицевая панель которой представлена на рисунке 1.



**Рисунок 1 – Программа, необходимая для использования методики оценки технических данных и характеристик средств АСУ производственно-хозяйственной деятельности**

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Петровский А. Б. Теория принятия решений. – М.: Издательский центр «Академия», 2009. – 400 с.
2. Аттетков А.В., Галкин С.В, Зарубин В.С. Методы оптимизации: учебник для ВУЗов / под ред. В.С. Зарубина. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001. – 440 с.
3. Калинин В.Н., Резников Б.А., Варакин Е.И. Теория систем и оптимального управления. Часть 2. Понятия, модели, методы и алгоритмы оптимального выбора: учебник для ВУЗов. – 2-е изд. – МО СССР, 1988. – 589 с.
4. Спицнадель В.Н. Теория и практика принятия оптимальных решений: учебное пособие. – СПб.: Издательский дом «Бизнес-пресса», 2002. – 393 с.

**Лазарев Сергей Николаевич**  
 Академия ФСО России, г. Орел  
 Заместитель начальника кафедры  
 Тел.: 8 920 280 89 67  
 E-mail: serg.orel@mail.ru

Любимов Владимир Алексеевич  
Академия ФСО России, г. Орел  
Сотрудник

---

S.N. LAZAREV (*Deputy Head of the Department*)

V.A. LYUBIMOV (*Employee*)  
*Academy of Federal Agency of Protection of the Russian Federation, Orel*

**METHODS OF TECHNICAL DATA AND PERFORMANCE VEHICLES AUTOMATED CONTROL SYSTEMS INDUSTRIAL AND ECONOMIC ACTIVITY**

*The paper presents a methodology for evaluation of the data and characteristics of means of automated control systems of industrial and economic activities, allowing making an informed choice of the specific technology represented by the set produced by various manufacturers of available market sales.*

**Keywords:** *automated control system; the problem of decision-making.*

**BIBLIOGRAPHY (TRANSLITERATED)**

1. Petrovskij A. B. Teoriya prinyatiya reshenij. – M.: Izdatel'skij centr «Akademiya», 2009. – 400 s.
2. Attetkov A.V., Galkin S.V., Zarubin V.S. Metody' optimizacii: uchebnik dlya VUZov / pod red. V.S. Zarubina. – M.: Izd-vo MGTU im. N.E'. Baumana, 2001. – 440 s.
3. Kalinin V.N., Reznikov B.A., Varakin E.I. Teoriya sistem i optimal'nogo upravleniya. Chast' 2. Ponyatiya, modeli, metody' i algoritmy' optimal'nogo vy'bora: uchebnik dlya VUZov. – 2-e izd. – MO SSSR, 1988. – 589 s.
4. Spicnadel' V.N. Teoriya i praktika prinyatiya optimal'ny'x reshenij: uchebnoe posobie. – SPb.: Izdatel'skij dom «Biznes-prensa», 2002. – 393 s.

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ  
И ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

УДК 658.512.6

В.Н. ВОЛКОВ, А.А. СТЫЧУК, А.А. МИТИН

**РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ДАННЫХ  
О РЕГЛАМЕНТЕ ЭЛЕКТРОННОЙ УСЛУГИ**

*В данной статье авторы освещают разработку информационной модели представления данных о регламенте электронной услуги. Разработана инфологическая модель. Схема структуры услуги описана с помощью диаграммы Джексона. Разработана структура хранения списка переменных и структура графического представления услуги.*

**Ключевые слова:** электронная услуга; регламент электронной услуги; электронное правительство; обслуживание населения; инструментальное средство; контроль оказания услуг.

Электронные услуги населению (ЭУН) являются составной частью электронного правительства – способа предоставления информации и оказания уже сформировавшегося набора государственных услуг гражданам, бизнесу, другим ветвям государственной власти и государственным чиновникам, при котором личное взаимодействие между государством и заявителем минимизировано и максимально возможно используются информационные технологии [1].

Оказание ЭУН представляет собой сложный многоуровневый процесс, среди участников которого выделяются три основных группы: заказчики, поставщики и продуценты услуг [7]. Заказчик – сторона, получающая услугу. Продуцент – это организация, в которую обращается лицо, желающее получить услугу, обладающая специализированной организационно-технической системой поддержки жизненного цикла электронной услуги. Каждый продуцент имеет свой список предоставляемых им услуг. В качестве исполнителя могут выступать: поставщики услуг, продуцент, заказчик услуги. Поставщики услуг (исполнители) – организации, выполняющие те или иные действия, направленные на выполнение услуги. Сам заказчик, строго говоря, выступает в роли заказчика только в момент начала и конца исполнения услуги. В процессе выполнения он становится одним из исполнителей, от него может потребоваться предоставление документов, совершение некоторых действий, которые лишь он в состоянии выполнить [11].

Информационная модель – модель объекта, представленная в виде информации, описывающей существенные для данного рассмотрения параметры и переменные величины объекта, связи между ними, входы и выходы объекта и позволяющая путём подачи на модель информации об изменениях входных величин моделировать возможные состояния объекта [12].

Построение информационной модели для регламентов электронных услуг является одной из отправных точек для дальнейшего проектирования соответствующих подсистем. Это связано не только с тем, что она позволяет отображать имеющиеся услуги, но и является общей при интеграции с другими решениями. То есть структура данных как физическое представление информационной модели должна быть оговорена заранее и не изменяться.

Наиболее распространенным инструментом описания информационной модели является стандарт IDEF1(X) [14], представляющий данные в нотации «сущность-связь» (рис. 1).

Для того, чтобы сформировать структуру данных для нее, требуется определить параметры, которые стоит хранить. Так как язык представляет собой сетевую структуру, то услуги хранятся в виде операторов и связей между ними. В зависимости от типа услуги – простая или составная – требуется различный способ их хранения. Для корректного использования простой услуги требуется информация о ее интерфейсе, входных и выходных параметрах.

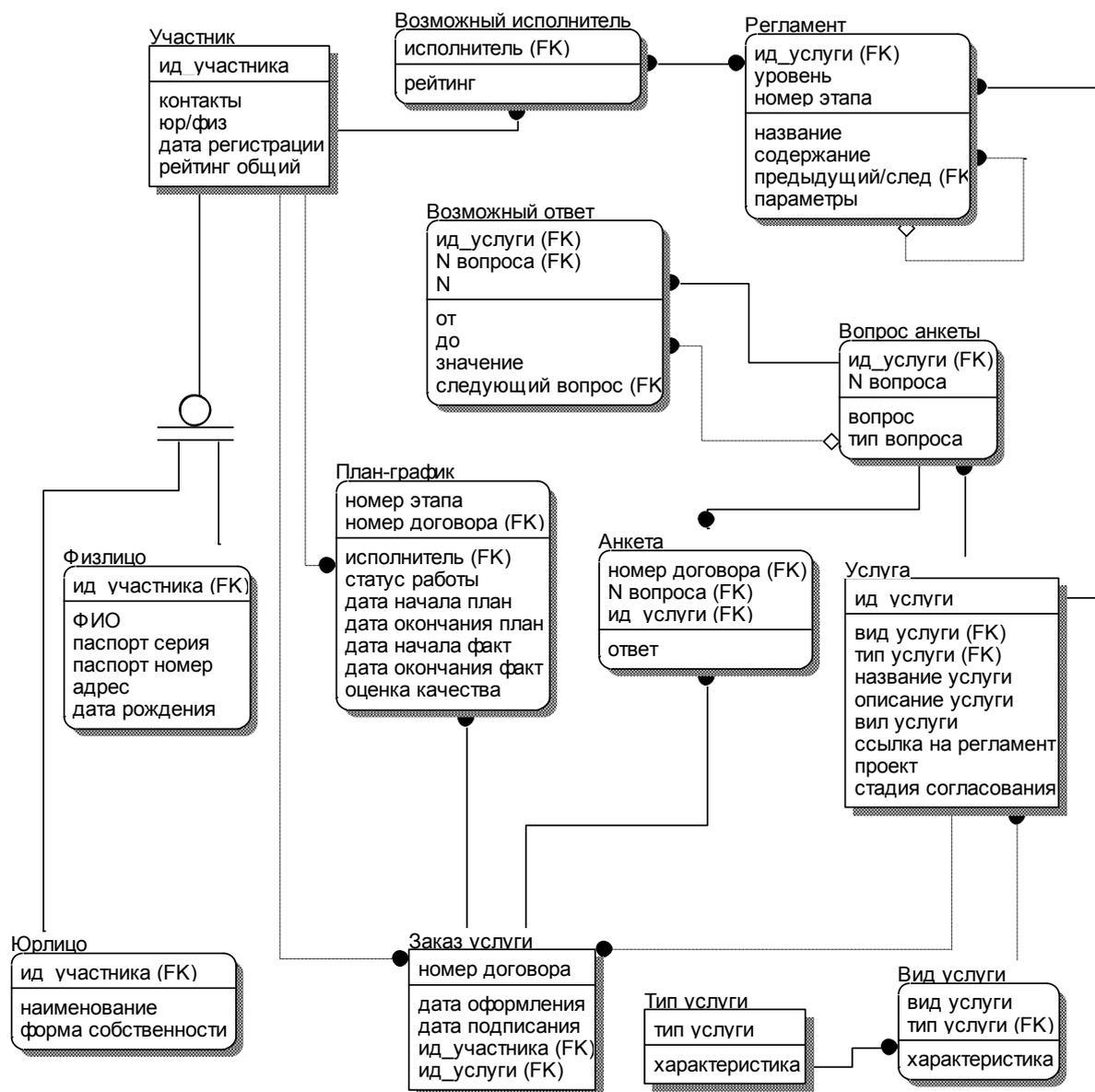


Рисунок 1 – Инфологическая модель

Схема структуры услуги, описанная с помощью диаграммы Джексона, изображена на рисунке 2. Первоначально требуется описать способ хранения услуги, так как она является элементарной единицей, с которой будет оперировать система для написания регламентов услуг [15].

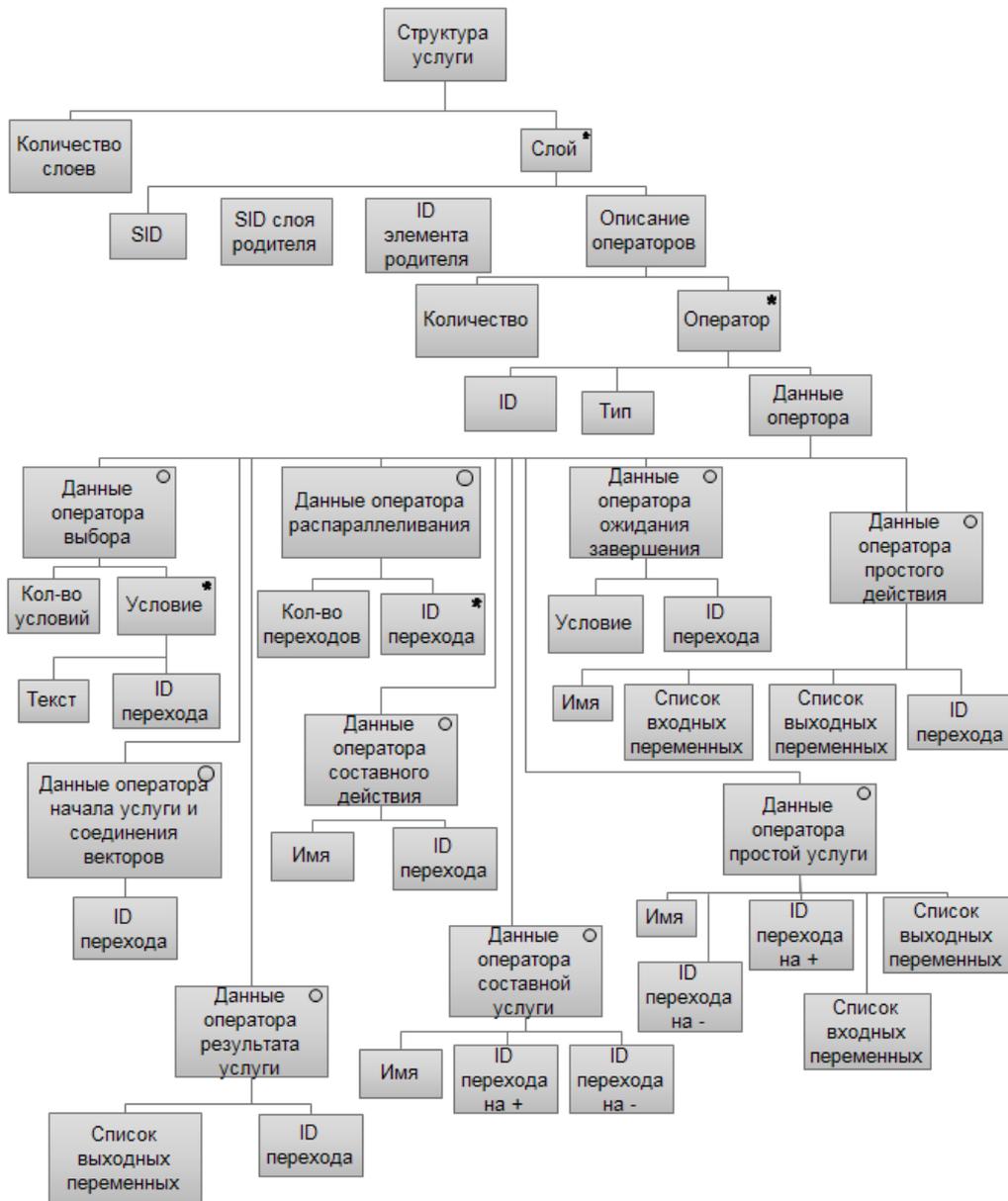


Рисунок 2 – Структура хранения модели услуги

Структура хранения услуги:

- название (для отображения);
- количество входных параметров (V1);
- количество выходных параметров (V2);
- (V1 + V2) параметров (тип параметров);
- регламентируемое время.

Схожую структуру имеет описание простого действия, только оно не имеет описания внутреннего представления. Взамен добавляется имя библиотеки и имя функции для вызова из нее для выполнения этой функции.

Структура хранения простого действия:

- название (для отображения);

- имя библиотеки;
- имя функции в библиотеке;
- количество входных параметров (V1);
- количество выходных параметров (V2);
- (V1 + V2) параметров (тип параметров);
- регламентированное время.

Для хранения составной услуги требуется намного больше данных информации, так как для нее известна ее структура. В то же время для нее не требуется хранить все параметры напрямую, так как они определяются в ходе построения и выполнения схемы услуги. При хранении услуги следует отталкиваться от способа ее построения. В данном случае используется графический способ.

Каждый пользователь или составитель для наглядности и удобства будет по возможности уместать схему на экран монитора. Для того, чтобы сделать ее более компактной, можно использовать, например, составные услуги и составные действия. Ввиду того, что требуется сохранить, а потом и восстановить созданную структуру, требуется хранить все такие «экраны». Экраны представляют собой дерево: есть главный экран, на котором схематично изображена услуга, каждое составное действие или составная услуга порождают новый экран-потомок. Для идентификации каждого экрана требуется знать его родителя и элемент языка, который он раскрывает (рис. 3).

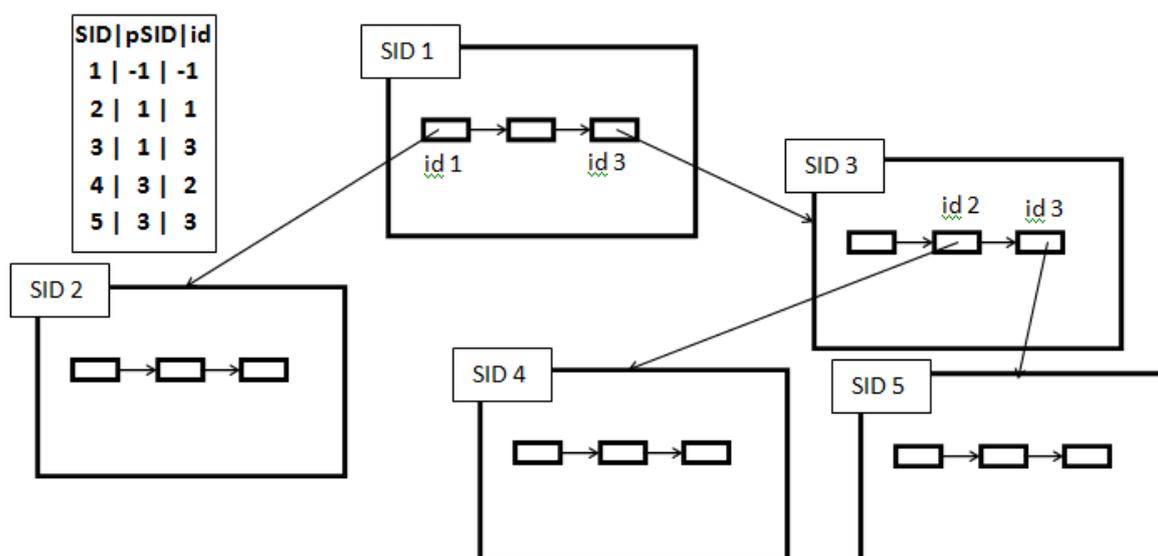


Рисунок 3 – Схема рабочих поверхностей (экранов)

Для оператора выбора характерно наличие нескольких условий. При этом если условие истинно, то по нему можно перейти к следующему оператору. По этой причине требуется хранить пары условие и куда перейти при истинности:

- количество условий (N);
- <Условие, Следующий идентификатор, если Условие истинно> (N пар).

При использовании оператора распараллеливания требуется перейти от одного к нескольким оператором:

- количество выходов (N);
- идентификатор оператора, в который можно перейти (N элементов).

Ожидание завершения может закончиться либо по условию, если оно есть, либо выполняются все входящие операторы. После этого требуется перейти к следующему оператору:

- условие завершения ожидания;
- идентификатор для перехода.

Простое действие нельзя добавить на схему, если оно не содержится в текущей базе. Вся информация о нем содержится в базе, поэтому нужно иметь только ссылку на это действие из базы. Также следует хранить список входных и выходных переменных:

- имя для поиска в базе;
- список входных переменных;
- список выходных переменных;
- идентификатор для перехода.

Простую услугу нельзя добавить на схему, если она не содержится в текущей базе. Вся информация о ней содержится в базе, поэтому нужно иметь только ссылку на эту услугу из базы. Также следует хранить список входных и выходных переменных:

- имя для поиска в базе;
- список входных переменных;
- список выходных переменных;
- идентификатор для перехода по успеху;
- идентификатор для перехода по неудаче.

Составное действие должно быть описано внутри текущей услуги. Для него требуется ввести имя для отображения:

- имя для отображения;
- идентификатор для перехода.

Составная услуга должна быть описана внутри текущей услуги. Для нее требуется ввести имя для отображения:

- имя для отображения;
- идентификатор для перехода.

При использовании оператора «соединение векторов» требуется только указать идентификатор для перехода:

- идентификатор для перехода.

Оператор «начало услуги или действия»:

- идентификатор для перехода.

Оператор конец действия хранения дополнительной информации не требует.

Оператор «услуга выполнена» используется по завершению услуги. Так как услуга выполнена, требуется вернуть выходные данные, результат выполнения услуги. Следовательно, требуется указать те переменные, которые надо считать результирующими:

- список выходных переменных;
- идентификатор для перехода.

Оператор «услуга отказана» используется для обозначения неудачного выполнения услуги. Так как услуга не выполнена, требуется вернуть выходные данные, результат выполнения услуги, соответствующие ошибке или отказу выполнения услуги. Следовательно, требуется указать те переменные, которые надо считать результирующими при отказе выполнения. Если таких переменных нет, то написать об отказе в выполнении услуги:

- список выходных переменных;
- идентификатор для перехода.

Данный язык имеет свои переменные, которыми оперирует. Переменные требуются для принятия решения при построении конкретной услуги, а также для хранения сведений о пользователе. Также информация внутри услуги хранится внутри переменных. С помощью переменных можно создавать условия для оператора выбора и для условного завершения оператора ожидания.

Переменные в данном языке строго типизированные. На данный момент имеются следующие типы: числовой, строковый, логический, перечислимый.

Переменные логического типа могут принимать значение «истина» или «ложь». Над ними можно проводить операции: логическое И, логическое ИЛИ, отрицание, проверка на равенство.

Переменные числового типа. С переменными данного типа можно проводить обыкновенные арифметические операции и операции сравнения.

Переменные строкового типа в основном служат для хранения информации о заказчике и ходе выполнения услуги. Также в переменные данного типа записываются результаты выполнения услуги.

Перечислимый тип может использоваться для составления условий в операторе выбора. Это может быть удобно, когда количество вариантов соответствует количеству выходов у оператора. Элементами перечислимого типа являются строки. Для переменных такого типа добавляются операции работы со множествами: проверка принадлежности множеству, включение во множество, равенство множеств.

Для каждой услуги составляется список всех переменных. Это связано с тем, что большинство услуг имеют собственный набор входных и выходных параметров. Только составитель услуги может определить, какие из этих выходных параметров уже имеются в услуге, а какие нет, если одна и та же логическая переменная может использоваться в разных фактических переменных. Для того, чтобы сократить общее количество переменных, можно объединить несколько фактически разных переменных в одну логическую. Это позволит не узнавать у заказчика одни и те же данные несколько раз, а также уменьшит общее количество входных переменных в услуге. Будем называть предыдущие переменные псевдонимами новой логической переменной.

Для хранения списка переменных и ее псевдонимов используется структура (рис. 4), в которой содержится информация о количестве переменных и данные этой переменной. Данные переменной представляют собой информацию об ее имени, типе, описании, вариантах (для перечислимого типа), а также количество псевдонимов и информацию о них. Псевдонимы характеризуются номером экрана, идентификатором элемента на этом экране, типом (входной параметр, выходной параметр) и порядковым номером параметра.

Такая структура позволяет хранить и обрабатывать переменные языка, кроме того, она является достаточно гибкой и позволяет добавить новые типы данных.

Для хранения графического описания услуги требуется еще одна структура данных (рис. 5). На ней видно, что все операторы опираются на идентификатор экрана, позицию и размер.



Рисунок 4 – Структура хранения списка переменных

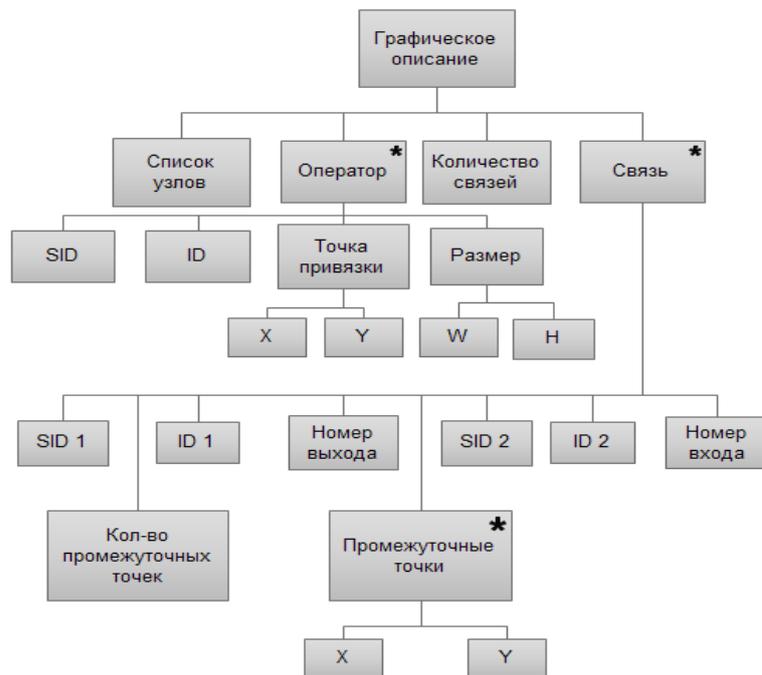


Рисунок 5 – Структура графического представления услуги

В то же время, как видно на схеме, соединительные линии опираются на идентификаторы операторов. Если линия не прямая, то связь содержит информацию о точках перегиба.

Важной с точки зрения оформления заказа на выполнение услуги является анкета. К каждому описанию регламента услуги в библиотеке прилагается «анкета» – список вопросов, на которые необходимо ответить заказчику для определения нужного «пути» предоставления услуги. Анкета может содержать три типа вопросов – вопросы, на которые следует ответить «да» или «нет», вопросы, подразумевающие выбор одного из нескольких вариантов, и вопросы, требующие ввода значения параметра. В зависимости от вида услуги на вопросы отвечает либо оператор, работающий с заказчиком, либо сам заказчик, если заказ услуги происходит, например, через веб-интерфейс. Также подсистема может включать в себя базу данных, в которой будут храниться данные о клиентах, которым предприятие уже предоставляло услуги, что позволит на некоторые вопросы анкеты отвечать автоматически. Использование базы данных будет удобно для поставщиков услуг, которые предоставляются периодически и могут потребоваться много раз одному и тому же лицу.

*Исследования проводились в рамках гранта Президента Российской Федерации МК-5206.2014.9.*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Волков В.Н. Формирование рейтингов поставщиков электронных услуг населению / В.Н. Волков, А.А. Стычук, А.А. Котляр, С.В. Новиков, Д.В. Рыженков // Информационные системы и технологии (ИСИТ): материалы Международной научно-технической интернет-конференции, 1 апреля-31 мая 2013 г. – Орел: ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК», 2013. [Электронный ресурс]. – URL: <http://irsit.ru/files/article/322.pdf>. – 9 с.
2. Волков В.Н. Контроль хода оказания электронных услуг населению // Международная научно-техническая интернет-конференция «Информационные системы и технологии» [Электронный ресурс]. – URL: <http://isit-conf.ostu.ru/conferences/1/materials/manager/view/129>.
3. Константинов И.С. Подсистема формирования плана-графика хода оказания электронной услуги / И.С. Константинов, В.Н. Волков, О.С. Радченко, Н.О. Борисов // Международная научно-техническая интернет-конференция «Информационные системы и технологии» [Электронный ресурс]. – URL: <http://isit-conf.ostu.ru/conferences/1/materials/manager/view/110>.
4. Константинов И.С. Концепция «Создание, сопровождение и реализация электронных услуг населению» (проект) / И.С. Константинов, В.Н. Волков, О.А. Иващук и др. – Орел: Информационное агентство «Стерх», 2010. – 16 с.
5. Константинов И.С. Язык формального описания регламентов описания электронных услуг – ЛОГИ / И.С. Константинов, В.Н. Волков, О.А. Иващук и др. – Орел: Информационное агентство «Стерх», 2010. – 32 с.
6. Архипов О.П. Создание бизнеса предоставления электронных услуг населению как одно из ключевых направлений инновационного развития России / О.П. Архипов, О.А. Иващук, И.С. Константинов, А.В. Коськин, О.А. Савина // Информационные системы и технологии, 2011. – № 4(66). – С. 83-89.
7. Архипов О.П. Создание бизнеса предоставления электронных услуг населению / О.П. Архипов, О.А. Иващук, И.С. Константинов, А.В. Коськин, О.А. Савина // Развитие информационных технологий и их значение для модернизации социально-экономической системы: материалы международной научно-практической конференции (12 мая 2011 г.). – Саратов: Изд-во ЦПМ «Академия бизнеса», 2011. – С. 87-91.
8. Константинов И.С., Волков В.Н., Стычук А.А. Анализ и обобщение принципов организации обслуживания населения с применением технологии удаленного доступа // Информационные системы и технологии, 2011. – № 5(67). – С. 78-85.

9. Стычук А.А., Новиков С.В. Реализация сервиса резервного копирования при организации оказания электронных услуг населению // Компьютерные науки и технологии (КНиТ): материалы II Международной научно-технической конференции, 3-5 октября 2011 г. – Белгород: ООО «ГиК», 2011. – С. 517-522.
10. Волков В.Н., Загрядский В.И., Фролов А.И. Автоматизация построения регламентов электронных услуг населению // Информационные системы и технологии, 2012. – № 3. – С. 5-8.
11. Волков В.Н., Стычук А.А., Архипов П.О. Формулировка принципов и правил постановки задачи организации оказания электронных услуг населению [Электронный ресурс] // Информационные технологии в науке, образовании и производстве (ИТНОП): материалы V Международной научно-технической конференции, 17-18 мая 2012 г. – Орел: ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК», 2012. – URL: <http://irsit.ru/files/article/109.pdf>. – 6 с.
12. Цикритизис Д., Лоховски Ф. Модели данных. – М.: Финансы и статистика, 1985. – 344 с.
13. Стычук А.А., Постников М.В. Актуальность и проблемы использования свободного программного обеспечения для оказания электронных услуг населению // Информационные системы и технологии, 2012. – № 5(73). – С. 100-105.
14. Методология IDEF1X. Информационное моделирование. – М.: Мета-Технология, 2003. – 120 с.
15. Карпова Т.С. Базы данных: модели реализации. – СПб.: Питер, 2001. – 304 с.

**Волков Вадим Николаевич**

ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК», г. Орел  
Кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Информационные системы»  
Тел.: 8 (4862) 43-09-44  
E-mail: vadimvolkov@list.ru

**Стычук Алексей Александрович**

ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК», г. Орел  
Кандидат технических наук, доцент, заместитель директора ресурсного центра информатизации образования по научно-методической работе  
Тел.: 8 (4862) 43-49-56  
E-mail: stichuck@rambler.ru

**Митин Александр Александрович**

ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК», г. Орел  
Кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Информационные системы»  
Тел.: 8 (4862) 43-56-11  
E-mail: mcc77@yandex.ru

---

V.N. VOLKOV (*Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department «Information systems»*)

A.A. STY'ChUK (*Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Deputy Director of the Resource Center of Informatization of Education on Scientific and Methodological Work*)

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

**DEVELOPMENT OF INFORMATION MODEL OF DATA PRESENTATION ABOUT REGULATIONS OF ELECTRONIC SERVICES TO THE POPULATION**

*In this article authors shine development of information model of data presentation about regulations of electronic service. The infological model is developed. The scheme of structure of service is described by means of*

*Jackson's chart. The structure of storage of the list of variables and structure of graphical representation of service is developed.*

**Keywords:** *electronic service; regulations of electronic service; electronic government; population service; tool means; control of rendering of service.*

**BIBLIOGRAPHY (TRANSLITERATED)**

1. Volkov V.N. Formirovanie rejtingov postavshhikov e'lektronny'x uslug naseleniyu / V.N. Volkov, A.A. Sty'chuk, A.A. Kotlyar, S.V. Novikov, D.V. Ry'zhenkov // Informacionny'e sistemy' i texnologii (ISiT): materialy' Mezhdunarodnoj nauchno-texnicheskoj internet-konferencii, 1 aprelya-31 maya 2013 g. – Orel: FGBOU VPO «Gosuniversitet – UNPK», 2013. [E'lektronny'j resurs]. – URL: <http://irsit.ru/files/article/322.pdf>. – 9 c.
2. Volkov V.N. Kontrol' xoda okazaniya e'lektronny'x uslug naseleniyu // Mezhdunarodnaya nauchno-texnicheskaya internet-konferenciya «Informacionny'e sistemy' i texnologii» [E'lektronny'j resurs]. – URL: <http://isit-conf.ostu.ru/conferences/1/materials/manager/view/129>.
3. Konstantinov I.S. Podsystema formirovaniya plana-grafika xoda okazaniya e'lektronnoj usluzi / I.S. Konstantinov, V.N. Volkov, O.S. Radchenko, N.O. Borisov // Mezhdunarodnaya nauchno-texnicheskaya internet-konferenciya «Informacionny'e sistemy' i texnologii» [E'lektronny'j resurs]. – URL: <http://isit-conf.ostu.ru/conferences/1/materials/manager/view/110>.
4. Konstantinov I.S. Koncepciya «Sozdanie, soprovozhdenie i realizaciya e'lektronny'x uslug naseleniyu» (proekt) / I.S. Konstantinov, V.N. Volkov, O.A. Ivashhuk i dr. – Orel: Informacionnoe agentstvo «Sterx», 2010. – 16 s.
5. Konstantinov I.S. Yazy'k formal'nogo opisaniya reglamentov opisaniya e'lektronnyx uslug – LOGI / I.S. Konstantinov, V.N. Volkov, O.A. Ivashhuk i dr. – Orel: Informacionnoe agentstvo «Sterx», 2010. – 32 s.
6. Arxipov O.P. Sozdanie biznesa predostavleniya e'lektronny'x uslug naseleniyu kak odno iz klyuchevy'x napravlenij innovacionnogo razvitiya Rossii / O.P. Arxipov, O.A. Ivashhuk, I.S. Konstantinov, A.V. Kos'kin, O.A. Savina // Informacionny'e sistemy' i texnologii, 2011. – № 4(66). – S. 83-89.
7. Arxipov O.P. Sozdanie biznesa predostavleniya e'lektronny'x uslug naseleniyu / O.P. Arxipov, O.A. Ivashhuk, I.S. Konstantinov, A.V. Kos'kin, O.A. Savina // Razvitie informacionny'x texnologij i ix znachenie dlya modernizacii social'no-e'konomicheskoj sistemy': materialy' mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii (12 maya 2011 g.). – Saratov: Izd-vo CPM «Akademiya biznesa», 2011. – S. 87-91.
8. Konstantinov I.S., Volkov V.N., Sty'chuk A.A. Analiz i obobshhenie principov organizacii obsluzhivaniya naseleniya s primeneniem texnologii udalennogo dostupa // Informacionny'e sistemy' i texnologii, 2011. – № 5(67). – S. 78-85.
9. Sty'chuk A.A., Novikov S.V. Realizaciya servisa rezervnogo kopirovaniya pri organizacii okazaniya e'lektronny'x uslug naseleniyu // Komp'yuterny'e nauki i texnologii (KNiT): materialy' II Mezhdunarodnoj nauchno-texnicheskoj konferencii, 3-5 oktyabrya 2011 g. – Belgorod: OOO «GiK», 2011. – S. 517-522.
10. Volkov V.N., Zagryadckij V.I., Frolov A.I. Avtomatizaciya postroeniya reglamentov e'lektronny'x uslug naseleniyu // Informacionny'e sistemy' i texnologii, 2012. – № 3. – S. 5-8.
11. Volkov V.N., Sty'chuk A.A., Arxipov P.O. Formulirovka principov i pravil postanovki zadachi organizacii okazaniya e'lektronny'x uslug naseleniyu [E'lektronny'j resurs] // Informacionny'e texnologii v nauke, obrazovanii i proizvodstve (ITNOP): materialy' V Mezhdunarodnoj nauchno-texnicheskoj konferencii, 17-18 maya 2012 g. – Orel: FGBOU VPO «Gosuniversitet – UNPK», 2012. – URL: <http://irsit.ru/files/article/109.pdf>. – 6 c.
12. Cikritizis D., Loxovski F. Modeli danny'x. – M.: Finansy' i statistika, 1985. – 344 s.
13. Sty'chuk A.A., Postnikov M.V. Aktual'nost' i problemy' ispol'zovaniya svobodnogo programmogo obespecheniya dlya okazaniya e'lektronny'x uslug naseleniyu // Informacionny'e sistemy' i texnologii, 2012. – № 5(73). – S. 100-105.
14. Metodologiya IDEF1X. Informacionnoe modelirovanie. – M.: Meta-Texnologiya, 2003. – 120 s.
15. Karpova T.S. Bazy' danny'x: modeli realizacii. – SPb.: Piter, 2001. – 304 s.

УДК 004.02.021

А.С. ДОБРЫНИН, Р.С. КОЙНОВ

## АЛГОРИТМИЗАЦИЯ ПОСТРОЕНИЯ РАСПИСАНИЙ, УЧИТЫВАЮЩИХ ВРЕМЕННЫЕ ОГРАНИЧЕНИЯ

*Задачи построения расписаний (JSSP) в различных сферах человеческой деятельности имеют важнейшее теоретическое и прикладное значение. Во многих из них присутствуют специфические временные ограничения, описывающие допустимые для планирования отрезки времени и периоды простоев на интервале планирования. Статья описывает алгоритм распределения работ в условиях временных ограничений для задач построения производственных и учебных расписаний, а также сервисной деятельности.*

**Ключевые слова:** внедрение; ит-сервис; ит-провайдер; сервисный подход; процесс; процессный подход; метрика; компонент; открытое управление; согласованное управление.

### ЭЛЕМЕНТЫ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ

Базовая задача построения производственных расписаний [1] для непрерывного времени формализуется как задача на графах, в которой узлы представляют собой события, дуги – отдельные процессы или работы. С каждой дугой ассоциирован двухкомпонентный вес, представленный вещественным числом и временной разницей с возможностью их взаимного отождествления. Этапы решения базовой задачи [1] реализованы в рамках модельно-алгоритмического комплекса (МАК) [2] и дают неплохие результаты на практике.

Особый интерес представляет задача, в которой необходимо учитывать ограничения, связанные с невозможностью выполнять работы в определенные отрезки времени. Сложность заключается в вариативном характере таких ограничений, которые могут изменяться в различных постановках. Рассмотрим элементы математической модели для достаточно общего случая, предполагая, что на периодических интервалах времени  $t + \Delta t$  структура ограничений одинакова.

Одним из компонентов математической модели объекта планирования, используемой для построения расписаний в ограничениях, является вектор кортежей работ  $\overline{W}$ , полученный в ходе решения задачи [1], где каждая отдельная запись представляет собой параметры отдельной работы, такие, как: идентификатор работы (ID), дата начала (beginDate), дата раннего окончания (earlyEndDate), дата позднего окончания (lastEndDate), компонент временного смещения (offsetDate).

$$w_i = \{ID_i, beginDate_i, earlyEndDate_i, lastEndDate_i, offsetDate_i\}. \quad (1)$$

В рамках процедуры составления расписаний отдельный кортеж (запись) представляет набор связанных данных, привязанных к некоторому идентификатору работы, часть из которых используется алгоритмом построения расписаний.

Важным элементом математической модели также является логическая матрица работ и простоев  $timeMap[d \in Days, h \in Hours]$ , которая описывает временную сетку интервалов проведения работ, такую, что:

$$timeMap[d, h] = \begin{cases} 1, & \text{допустимо размещение элемента работы} \\ 0, & \text{простой, размещение не допускается} \end{cases}. \quad (2)$$

При детальном описании временных компонент матрица работ и простоев может быть трансформирована в кортеж работ и простоев (при наличии более двух временных компонент). В общем случае структура матрицы или кортежа зависит от размерности времени, требуемой точности задания отрезков времени и динамики процессов. В задачах

построения производственных расписаний целесообразно использовать «сжатую» интерпретацию, когда известно, что производственные процессы четко привязаны к конкретным дням недели (3).

$$M[DayOfWeek[d], h] = \begin{cases} 1, & \text{допустимо размещение элемента работы} \\ 0, & \text{простой, размещение не допускается} \end{cases} \quad (3)$$

Введем понятие прямого и обратного временного сдвига, которое будет означать единичное приращение минимальной компоненты кортежа в сторону уменьшения или увеличения времени. Например, для кортежа  $K[d \in Day, h \in Hour, m \in Minute]$  сдвигом будет кортеж  $K[d, h, m + / - 1]$ . Рассматриваемый в статье алгоритм назначения работ (time – labeling) использует модель ограничений, представленных выражением 3.

### КЛЮЧЕВЫЕ МЕХАНИЗМЫ АЛГОРИТМА

Для упрощения понимания сути алгоритма выделим несколько ключевых механизмов:

1) Двухкомпонентный, двунаправленный механизм временных итераций (МВИ).

Итератор `workIterator` сдвигает временной кортеж в прямом направлении, итератор `durationIterator` сдвигает временной кортеж в обратном направлении (рис. 1).

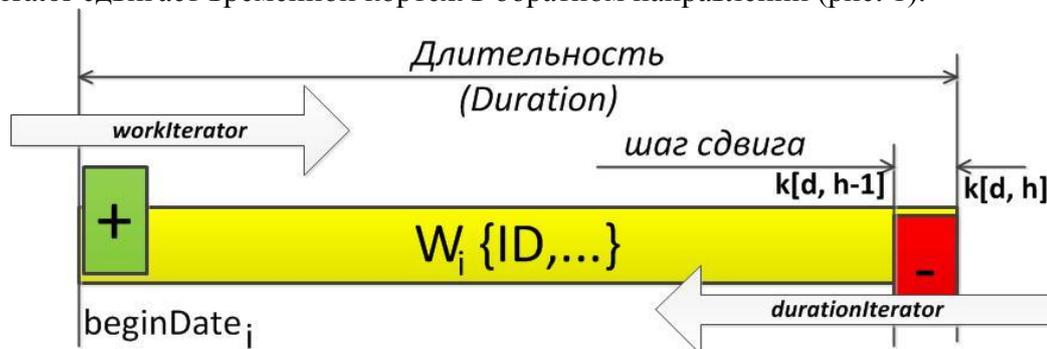


Рисунок 1 – Схема двунаправленных итераций по времени

2) Механизм сдвига (МС), который учитывает смещения и непосредственно влияет на окрестность  $\overline{W}_N \in \overline{W}$  работ, расположенных справа относительно текущей работы  $w_i$ .

Возможность поиска работ, расположенных в окрестности текущей работы  $w_i$  справа или слева, достигается за счет реализации в информационной модели дуги графа ссылки на стартовый и конечный узел (листинг 1).

```

/*Интерфейс для дуги графа IEdge<T>*/
public interface IEdge<T> : IComparable<IEdge<T>>
{
    ///Временной интервал дуги (выраженный через временную разницу)
    TimeSpan Duration { get; set; }
    /// Стартовый узел для дуги, как INode<T>
    INode<T> start_node { get; }
    /// Конечный узел дуги, как INode<T>
    INode<T> end_node { get; }

    string start_nodeid { get; } ///Стартовый идентификатор узла
    string end_nodeid { get; }   ///Конечный идентификатор узла
    string name { get; set; }    ///Наименование дуги
    string manager { get; set; }
    double Weigth { get; set; }  ///Вес дуги
}
    
```

Листинг 1 – Информационная модель дуги графа

Информационная модель дуги графа содержит ссылки на стартовый и конечный узел графа, реализующие поведенческий механизм  $INode < T >$ . Также имеется возможность поиска работы по уникальным строковым идентификаторам узлов. Таким образом, итерационный процесс по отдельной дуге графа воздействует на окрестность дуг, расположенных после текущей дуги (рис. 2)

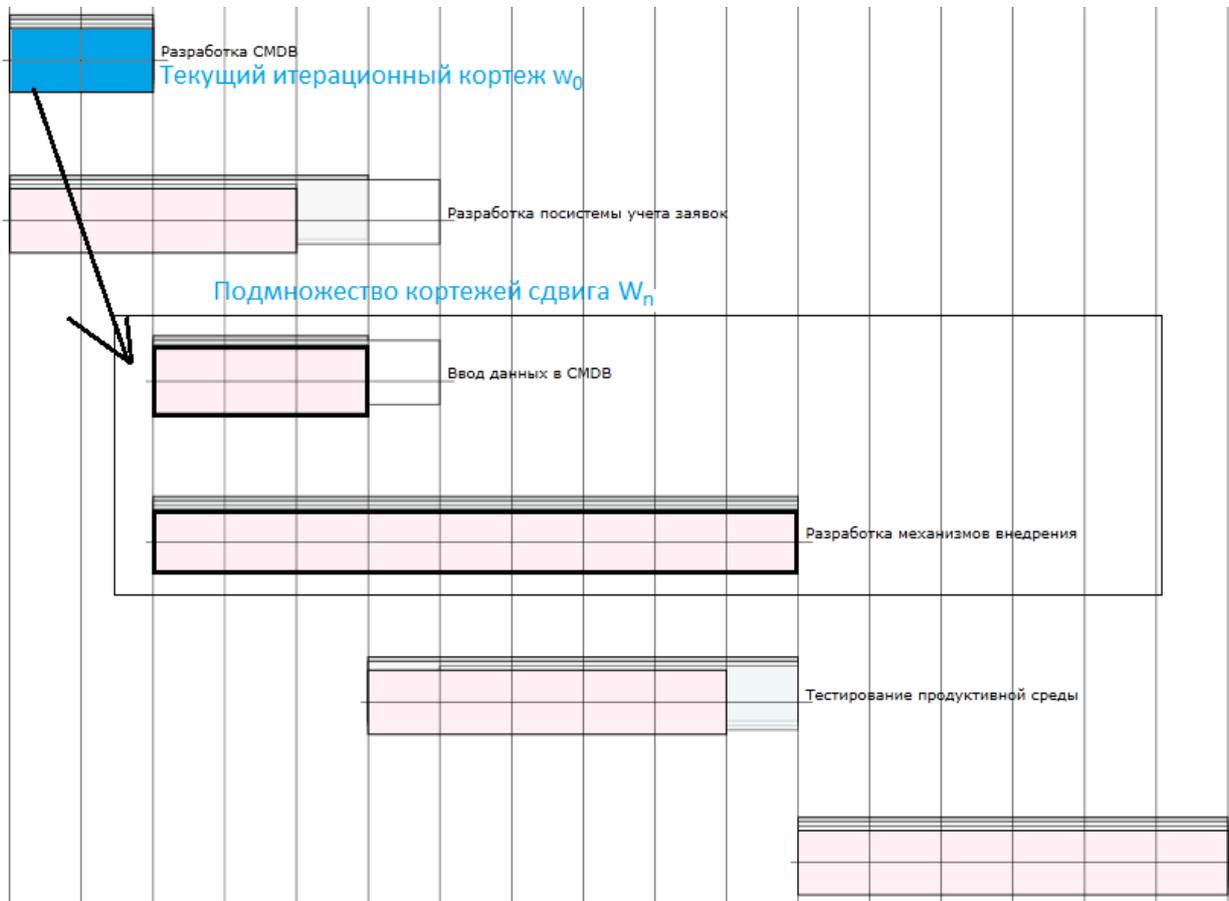


Рисунок 2 – Подмножества сдвига при итерационном движении

3) Механизм временной разметки – МВР (time-labeling) с использованием списка запретов.

Суть итерационного механизма заключается в следующем: если на очередном  $i$ -шаге итерации элемент кортежа  $k_i[d, h]$  для работы  $w_i$  не может быть распределен, происходит сдвиг всех временных характеристик работ окрестности справа от  $w_i$  с учетом смещения для следующей работы, на интервал времени  $k_i[d, h+1]$ , если таковой отсутствует в списке запретов. В противном случае длительность текущей работы уменьшается на интервал времени  $k_i[d, h-1]$ , при этом сдвиг временных характеристик работ окрестности справа  $w_i$  не производится. Так как имеется  $n$  работ в окрестности слева от текущей работы  $w_i$  и итерирование каждой из них приводит к сдвигам  $w_i$ , целесообразно использовать список запретов  $tabooList$ , каждый элемент которого представляет собой кортеж  $k_{taboo}[id, k_i[d, h]]$ . Список запретов создается отдельно для каждой работы  $w_i$  и содержит даты, которые уже использовались ранее для сдвига работы  $w_i$ .

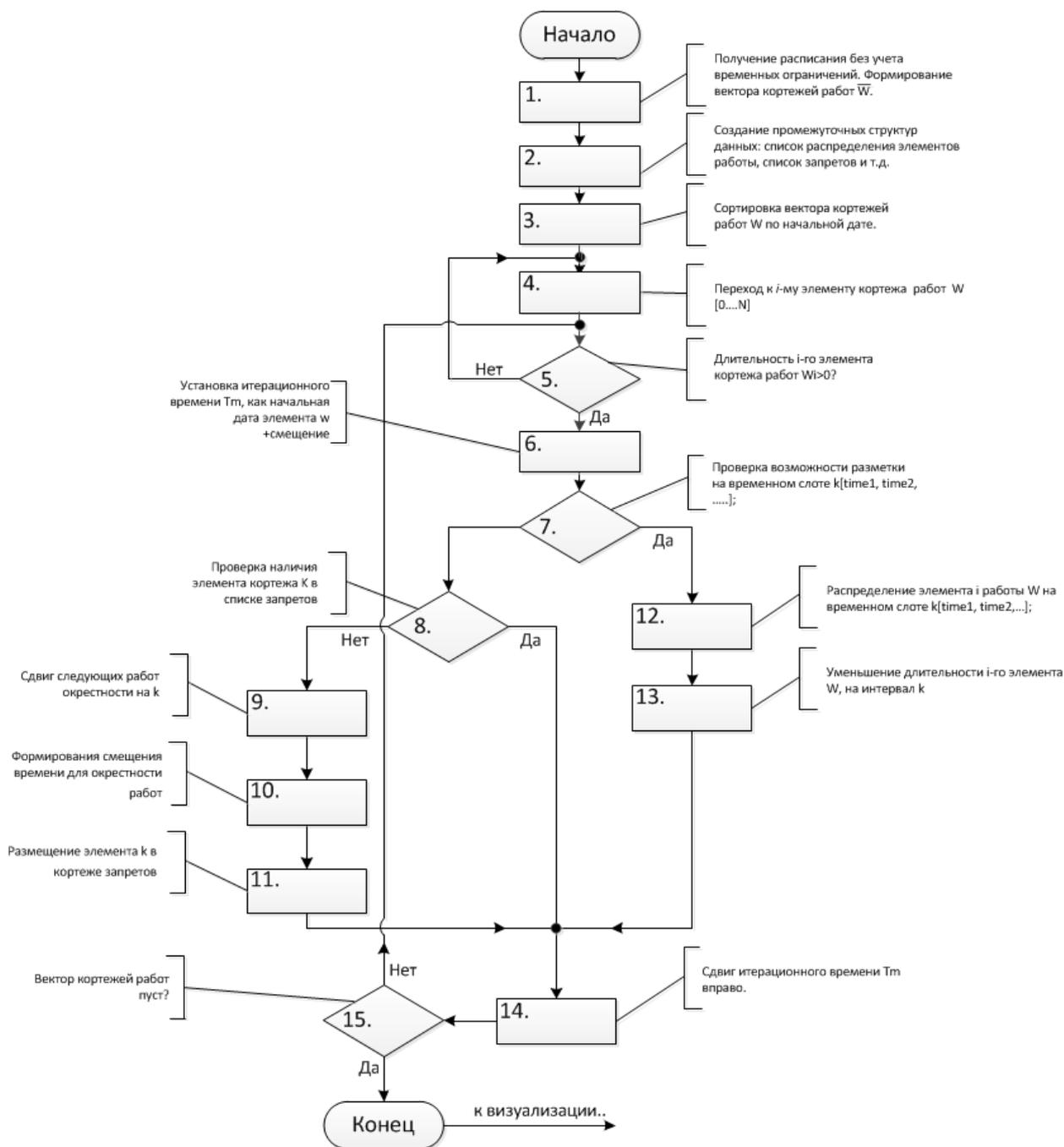


Рисунок 3 – Блок-схема алгоритма разметки (labeling) работ

### СОДЕРЖАТЕЛЬНОЕ ОПИСАНИЕ АЛГОРИТМА

Опираясь на описанные выше механизмы, сформулируем алгоритм построения расписаний, пригодный для сколь угодно сложных практических случаев временных ограничений при условии их однородности.

- 1) Сортировка вектора  $\bar{W}$  по возрастанию даты начала работы  $beginDate$ .
- 2) Определение даты начала проекта  $prjDate$  как  $w_0\{..., beginDate, ...\}$ .

3) Двухнаправленная итерационная процедура по каждой работе  $w_i \in \overline{W}$ ,  $i = 0 \dots N-1$ , включающая действия по формированию кортежей её размещения во времени. Формирование вектора кортежей  $\overline{LBL}$ , каждый элемент которого содержит идентификатор работы и дату начала разметки для временного сдвига.

4) Визуализация вектора кортежей  $\overline{LBL}$  с использованием механизма рендеринга WPF.

### БЛОК-СХЕМА АЛГОРИТМА

Представленная в данном разделе блок-схема построена с опорой на процесс отладки работающей версии на языке программирования C# в рамках модельно-алгоритмического комплекса (МАК) построения расписаний [2]. Алгоритм был опробован на 10 тестовых структурах графов при произвольной генерации значений для матрицы временных ограничений. Блок-схема представлена на рисунке 3.

### О РЕАЛИЗАЦИИ АЛГОРИТМА

Рассмотренный в работе алгоритм реализован в составе модельно-алгоритмического комплекса МАК [2], опробован на множестве модельных структур графов работ (более 10) при произвольных способах задания кортежей временных ограничений.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Добрынин А.С., Кулаков С.М., Зимин В.В. Формализация задачи составления расписаний для стадии внедрения ИТ-сервиса // Научное обозрение: теория и практика, 2013. – № 2. – С. 47-52.
2. Добрынин А.С. О формировании комплекса инструментальных средств ИТ-провайдера для построения расписаний процесса внедрения сервиса / А.С. Добрынин, С.М. Кулаков, В.В. Зимин, Н.Ф. Бондарь // Научное обозрение, 2013. – № 8. – С. 93-101.
3. Мартин Р.С., Мартин М. Принципы, паттерны и методики быстрой разработки приложений на языке программирования C#. – М.: Символ-Плюс, 2013. – 786 с.
4. OGC-ITIL V3-2 Service Transition, TSO. – 2007.

#### Добрынин Алексей Сергеевич

ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный университет», г. Новокузнецк  
Старший преподаватель, заведующий лабораториями  
E-mail: serpentfly@mail.ru

#### Койнов Роман Сергеевич

ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный университет», г. Новокузнецк  
Заведующий сектором информационного обеспечения  
E-mail: koynov\_rs@mail.ru

---

A.S. DOBRY'NIN (*Senior Teacher, Head of the Laboratories*)

R.S. KOJNOV (*Head of the Department of Information Provision*)  
*Siberian State Industrial University, Novokuznetsk*

### ALGORITHMIZATION OF CONSTRUCTION SCHEDULE THAT CONSIDER TIME LIMITS

*Problems of schedules building (JSSP) have important theoretical and practical significance in various fields of human activity. In many cases there is specific time limit which describes the permissible lengths of time for planning*

*and periods of downtime on a scheduling interval. In the article algorithm distribution of work under time constraints for the tasks of building production and training schedules and service activities as well is described.*

**Keywords:** *introduction; IT services; IT provider; service approach; process; process approach; metric; component; transparent management; coordinated management.*

**BIBLIOGRAPHY (TRANSLITERATED)**

1. Dobry'nin A.S., Kulakov S.M., Zimin V.V. Formalizatsiya zadachi sostavleniya raspisanij dlya stadii vnedreniya IT-servisa // Nauchnoe obozrenie: teoriya i praktika, 2013. – № 2. – S. 47-52.
2. Dobry'nin A.S. O formirovanii kompleksa instrumental'ny'x sredstv IT-provajdera dlya postroeniya raspisanij processa vnedreniya servisa / A.S. Dobry'nin, S.M. Kulakov, V.V. Zimin, N.F. Bondar' // Nauchnoe obozrenie, 2013. – № 8. – S. 93-101.
3. Martin R.S., Martin M. Principy', patterny' i metodiki by'stroj razrabotki prilozhenij na yazy'ke programirovaniya C#. – M.: Simvol-Plyus, 2013. – 786 s.
4. OGC-ITIL V3-2 Service Transition, TSO. – 2007.

УДК 004.9:519.2

М.А. КОРАБЛИН, О.И. ЗАХАРОВА

## МНОЖЕСТВЕННОСТЬ СВОЙСТВ КАК ОСНОВА И МЕХАНИЗМ ПРОВЕРКИ ГИПОТЕЗ

*В статье рассмотрена актуальная задача, связанная с проверкой гипотез о состоянии сложных объектов и их идентификацией. Задача решается с помощью введения понятия множественность свойств анализируемого объекта, являющегося основой идентификации. Рассмотрен конкретный пример, показывающий использование множественных свойств в задаче идентификации объекта с использованием развития апостериорных гипотез в концепции Байеса.*

*Ключевые слова:* идентификация; множественность свойств; проверка гипотез; свойства объекта; качества объекта; альтернативные гипотезы; инкапсуляция; концепция Байеса.

### ВВЕДЕНИЕ

Идентификация объекта во многих приложениях связана с проверкой гипотез о его состоянии. Такие гипотезы выдвигаются обычно для сложных объектов (или субъектов), состояние которых в общем случае представляется неочевидным, а его идентификация связана с использованием косвенных признаков, опосредованных связей и свойств.

В качестве объекта идентификации могут выступать самые разные системы – технические, социальные, экономические и т.п. Не умаляя общности, можно утверждать, что особое значение задачи идентификации приобретают, когда объектом исследования является человек как представитель определенного социума (клиент компании, сотрудник предприятия, носитель болезни, обладатель определенных знаний и т.п.).

Информация о свойствах социального или маргинального субъекта может отсутствовать, может быть искажена или умышленно фальсифицирована. В таких ситуациях исследователь встречается с явлением «скрытой сущности» [6], которая формируется в условиях априорной неопределенности о состоянии объекта. Задачи идентификации в условиях скрытой сущности многочисленны, они могут принадлежать к самым разным сферам деятельности – от кредитования клиентов банка до определения авторства неизвестного текста, спама и т.п. Все эти и им подобные задачи проверки гипотез возможны только на основе использования информативных свойств, присущих объекту, и свидетельств о наличии или отсутствии таких свойств.

Свойство как философская категория [1] характеризует объект с различных точек зрения (разных ракурсов) – в одном и том же объекте можно одновременно «увидеть» разные свойства, характеризующие объект, например, возраст, пол, наличие или отсутствие детей, получаемый доход и т.п.

Множественность и одновременность свойств является основой идентификации практически любого объекта. В редких случаях мы можем ограничиться одним свойством с целью упрощения идентификации. В реальных задачах мы должны наблюдать взаимодействия различных свойств, связанных с объектом.

Использование «наивного» Байеса в задачах идентификации хорошо известно, однако концепция множественности и одновременности используемых гипотез порождает совершенно новую «картину» их взаимодействия. В этой работе она представляется специфическими рисунками, на которых приведены схемы взаимодействия свойств (основных и второстепенных), а также соответствующих гипотез (альтернативных и безальтернативных, а также априорных и апостериорных).

Схемы, представленные на рисунках 1 и 2, следует рассматривать как инструменты, которые в условиях известных ограничений дают возможность подобрать наиболее желаемые вероятности гипотез, которые рассматриваются как наиболее эффективный идентификатор объекта.

### МНОЖЕСТВЕННОСТЬ СВОЙСТВ

Рассмотрим конкретный пример, показывающий использование множественных свойств в задаче идентификации объекта с использованием развития апостериорных гипотез в концепции Байеса [1, 7, 8, 9]. Для иллюстрации развиваемого подхода представим в качестве объекта некоторого студента-мужчину, а в качестве основного свойства – успеваемость этого студента. В таблице 1 представлены свойства объекта: основное свойство «Успеваемость» и два второстепенных свойства «Спорт» как увлечение и/или профессиональное занятие объекта и «Семья» как обязанность или необходимость содержания (женат, наличие детей) или отсутствие таких обязанностей (холост).

Цель разработки – оценить успеваемость студента с определенной степенью достоверности и с учетом влияния косвенных, второстепенных свойств. Такое влияние может быть как положительным, так и отрицательным (снижение успеваемости). Условимся, что эти три свойства независимы и каждое из них имеет собственную структуру.

Структура свойства «Успеваемость» включает в себя три несовместные альтернативы (Отличник, Хорошист, Двоечник):

$$\text{Успеваемость (B)} = \text{Отличник (B}_1\text{)}, \vee \text{Хорошист (B}_2\text{)}, \vee \text{Двоечник (B}_3\text{)}; \quad (1)$$

Аналогично определяется структуры свойств «Спорт» и «Семья» (по три несовместные альтернативы):

$$\text{Спорт (П)} = \text{Мастер спорта (П}_1\text{)}, \vee \text{Разрядник (П}_2\text{)}, \vee \text{Любитель (П}_3\text{)}; \quad (2)$$

$$\text{Семья (O)} = \text{Холост (O}_1\text{)}, \vee \text{Женат (O}_2\text{)}, \vee \text{Дети (O}_3\text{)}. \quad (3)$$

Теперь для каждого из определенных свойств мы можем определить полную группу несовместных гипотез и полную вероятность по свойству «Возраст» [7, 8, 9]:

$$\sum_{i=1}^3 P(B_i) = 1; P(B) = \sum_{i=1}^3 P(B / B_i) \cdot P(B_i); \quad (4)$$

Аналогично определяем вероятности по свойству «Спорт» и полную группу несовместных гипотез.

$$\sum_{i=1}^2 P(\Pi_i) = 1; P(\Pi) = \sum_{i=1}^2 P(\Pi / \Pi_i) \cdot P(\Pi_i); \quad (5)$$

То же самое проводим для свойства «Семья»

$$\sum_{i=1}^2 P(O_i) = 1; P(O) = \sum_{i=1}^2 P(O / O_i) \cdot P(O_i); \quad (6)$$

В соответствии с теоремой об умножении вероятностей:

$$P(B * \Pi * O) = P(B) * P(\Pi) * P(O) = \frac{P(B * \Pi * O) = P(B) * P(\Pi) * P(O) =}{\left[ \sum_{i=1}^3 P(B / B_i) * P(B_i) \right] * \left[ \sum_{i=1}^2 P(\Pi / \Pi_i) * P(\Pi_i) \right] * \left[ \sum_{i=1}^2 P(O / O_i) * P(O_i) \right]}. \quad (7)$$

Таблица 1 – Основные и второстепенные свойства объекта

Основное свойство объекта: «Успеваемость»			
Гипотезы	Отличник	Хорошист	Двоечник
Вероятности гипотез	0,5	0,3	0,2
Второстепенное свойство объекта: «Спорт»			
Гипотезы	Мастер спорта	Разрядник	Любитель
Вероятности гипотез	0,3	0,1	0,1
Второстепенное свойство объекта: «Семья»			
Гипотезы	Холост (нет детей)	Женат (нет детей)	Дети (есть дети)
Вероятности гипотез	0,5	0,2	0,1

В основном свойстве представлены альтернативные гипотезы: «Отличник», «Хорошист» или «Двоечник». Эти гипотезы образуют полную группу событий:  $(0,5 + 0,3 + 0,2 = 1)$ .

Второстепенные свойства также содержат альтернативные гипотезы. По свойству «Спорт» («Мастер спорта», «Разрядник» или «Любитель») и по свойству «Семья» («Холост» (нет детей), «Женат» (нет детей), «Дети» (есть дети)). Полная группа событий в этих гипотезах может присутствовать, а может и нет, например, для свойства «Спорт»:  $(0,3 + 0,1 + 0,1 \leq 1)$ .

Все гипотезы в приведенной таблице 1 на начальном этапе находятся в априорном состоянии.

Основной принцип множественности для этого примера заключается в том, что три разных свойства характеризуют один общий объект, рассматривая его с разных точек зрения как «студента», «спортсмена» и «семьянина» одновременно.

Наряду с использованием альтернативных гипотез, представленных по строкам таблицы 1, мы используем столбцы той же таблицы, которые устанавливают безальтернативные связи между гипотезами.

Такие «вертикальные» связи реализуются операциями перемножения независимых гипотез:

$$(\text{Отличник}) \& (\text{Мастер спорта}) \& (\text{Холост}) \Rightarrow (0,5 * 0,3 * 0,5 = 0,075); \quad (8)$$

$$(\text{Хорошист}) \& (\text{Разрядник}) \& (\text{Женат}) \Rightarrow (0,3 * 0,1 * 0,2 = 0,006); \quad (9)$$

$$(\text{Двоечник}) \& (\text{Любитель}) \& (\text{Дети}) \Rightarrow (0,2 * 0,1 * 0,1 = 0,002). \quad (10)$$

(здесь и далее амперсанд «&» интерпретируется здесь как логическое «и», «OR» – как логическое «или»).

Каждая из формул (8-10) представляет определенный тип объекта: первый тип – наиболее вероятный (0,075), второй тип менее вероятен (0,006), третий тип маловероятен (0,002).

Ниже представлена общая формула, связывающая альтернативные и безальтернативные гипотезы:

$$\begin{aligned} & [(\text{Отличник}) \& (\text{Мастер спорта}) \& (\text{Холост})] \text{ OR} \\ & [(\text{Хорошист}) \& (\text{Разрядник}) \& (\text{Женат})] \text{ OR} \\ & [(\text{Двоечник}) \& (\text{Любитель}) \& (\text{Дети})] \Rightarrow \\ & (0,075) + (0,006) + (0,002) = 0,083; \end{aligned}$$

На рисунке 1 представлена вычислительная схема (Excel), которая наглядно показывает, как трансформируются априорные данные (гипотезы) в апостериорные. В качестве основы этой схемы используются три капсулы в центре (по числу свойств), представленные в форме вертикальных колонок, реализующих произведения (8), (9), (10).

Стрелки с наименованиями в прямоугольных рамках указывают на вероятности априорных гипотез, соответствующих вертикальным столбцам таблицы 1. Перемножения, выполняемые внутри капсул, составляют строку вероятностей, сумма которых определяется величиной  $\sum = 0,083$ .

Все слагаемые в этой строке приводятся к вероятностной шкале:

$$0,075/0,083 = \underline{0,904}; \quad 0,006/0,083 = \underline{0,072}; \quad 0,002/0,083 = \underline{0,024},$$

что, в конечном счете, определяет строку апостериорных вероятностей.

Сравнение априорного и апостериорного основного свойства приводит к результату, который значительно меняет априорные гипотезы по успеваемости в «лучшую» сторону (табл. 2).

Таблица 2 – Сравнение априорных и апостериорных вероятностей

Гипотезы	Отличник	Хорошист	Двоечник
Априори	0,5	0,3	0,2
Апостериори	0,904	0,072	0,024

Априори сформулированные основные гипотезы, связанные с объектом, могут быть многократно реконструированы с использованием второстепенных гипотез. Фактически в этом и заключается концепция инкапсуляции: второстепенные гипотезы «вкладываются» в определенные капсулы, где доминируют основные гипотезы.

Мы интерпретируем понятие инкапсуляции с двух точек зрения – как сохранение ресурсов (капсула) и как возможности перераспределения этих ресурсов. При этом конструктивными инструментами инкапсуляции являются гипотезы и их совокупности – именно они владеют вероятностными ресурсами и дают новые возможности «перетекания» этих ресурсов из одних гипотез в другие. Цель такого перераспределения – обеспечить апостериорные результаты идентификации, которые удовлетворяют соответствующим проверкам гипотез.

Формула Байеса и связанные с ней вычисления дают исследователю право выбирать, какие конкретно второстепенные гипотезы следует размещать в описанных выше капсулах. Размещение второстепенных гипотез на рисунках 1 и 2 имеет множество вариантов, которые могут «качнуть» основные гипотезы как в сторону повышения их достоверности, так и снижения. В литературе известна схема множественного рекуррентного пересчета основных гипотез, которая приводит к абсолютной достоверности одних гипотез и полной недостоверности других одновременно [2].

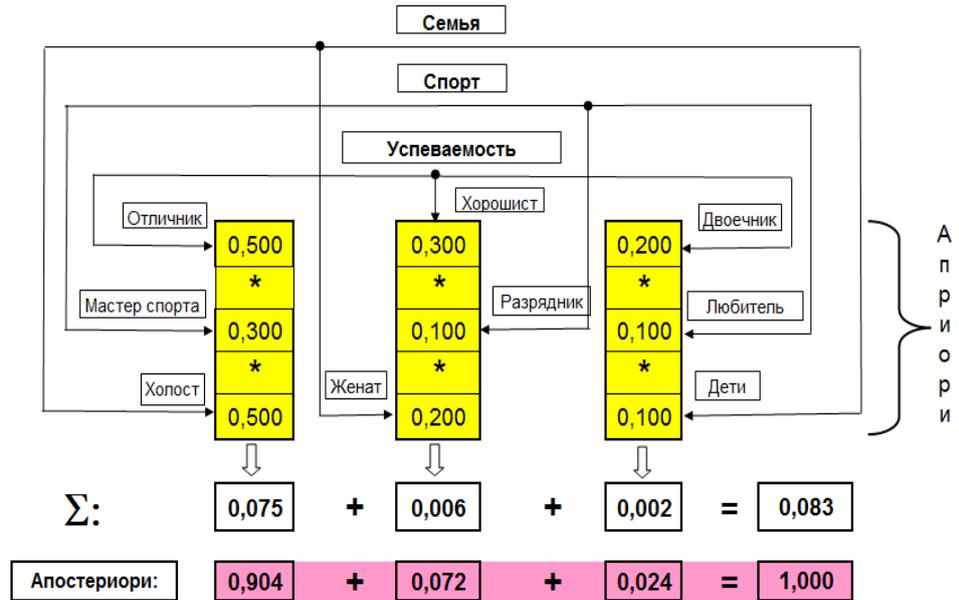


Рисунок 1 – Вычислительная схема трансформации априорных данных в апостериорные

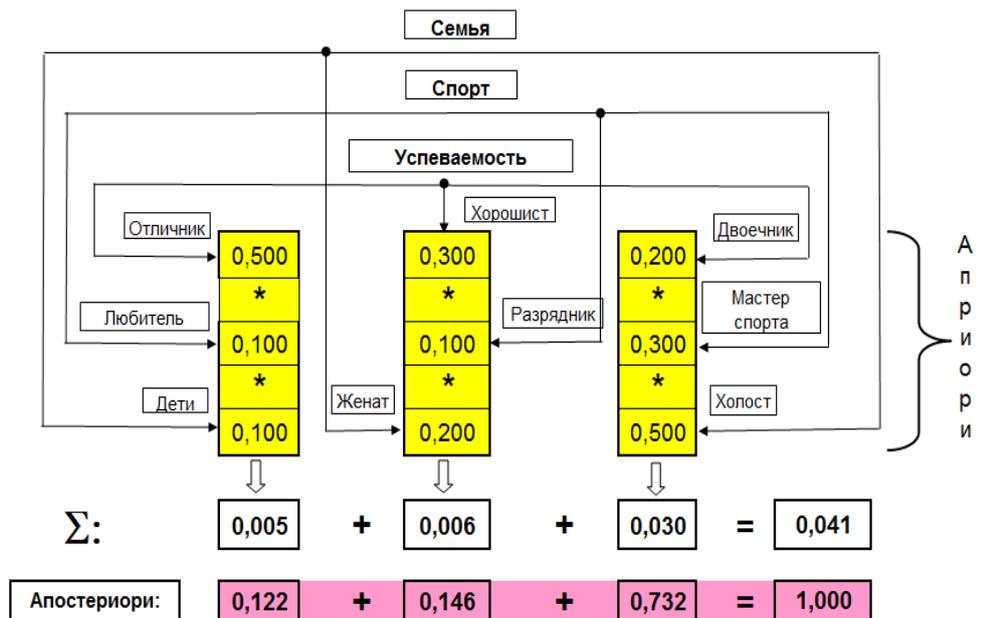


Рисунок 2 – Схема расчетов для проверки гипотез

Возвращаясь к таблице 1, мы можем отметить, что второстепенные свойства могут быть размещены в различных конфигурациях (сочетаниях гипотез) (табл. 3).

Таблица 3 – Второстепенное свойство «Спорт»

Мастер спорта	Разрядник	Любитель
Разрядник	Любитель	Мастер спорта
Любитель	Мастер спорта	Разрядник

В общем случае число таких сочетаний по «Спорту» равно:  $3*3*3=9$ .

Проведем проверку гипотез с изменениями в конфигурациях второстепенных свойств (табл. 4).

Таблица 4 – Проверка гипотез

Основное свойство: «Успеваемость»			
Гипотезы	Отличник	Хорошист	Двоечник
Вероятности гипотез	0,5	0,3	0,2
Второстепенное свойство: «Спорт»			
Гипотезы	Любитель	Разрядник	Мастер спорта
Вероятности гипотез	0,1	0,1	0,3
Второстепенное свойство: «Семья»			
Гипотезы	Дети	Женат (нет детей)	Холост (нет детей)
Вероятности гипотез	0,1	0,2	0,5

В качестве примера будем использовать информацию, приведенную в таблице 4. Обратите внимание на отличия между таблицами 1 и 4.

С использованием расчетов по схеме, представленной на рисунке 2, мы внесли измененные данные (табл. 4) по второстепенным свойствам, которые приводят к совершенно новым результатам проверки гипотез по успеваемости объекта (табл. 5).

Таблица 5 – Результаты проверки гипотез

Гипотезы	Отличник	Хорошист	Двоечник
Априори	0,5	0,3	0,2
Апостериори	0,122	0,146	0,732

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Варианты использования множественных свойств в задачах проверки гипотез дают исследователю новые возможности: управление апостериорными результатами, манипулирование гипотезами, достижение желаемых результатов проверки.

Инструментальные схемы, изображенные на рисунках 1 и 2, легко развиваются в различных направлениях: увеличение емкости капсул и их количество в соответствии с используемыми свойствами, развитие и использование промежуточных решений, сравнение вариантов по свойствам, наблюдение динамики гипотез и т.п. Дальнейшее развитие описываемого метода будет направлено на тестирование модели и классификацию объектов на реальных данных

Здесь уместно поставить вопрос о поиске экстремальных гипотез в задачах проверки и гармонизации оптимальной процедуры с учетом множественности свойств.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кораблин М.А., Бедняк О.И. Категориальный анализ как метод оценки кредитоспособности клиента – физического лица // Экономический анализ: теория и практика, 2010. – № 6. – С. 18-24.

2. Бернштейн С.Н. Теория вероятностей. – 2-е изд., доп. – М.: Л.: 1934, 200 с.
3. [Электронный ресурс]. – URL: [http://dic.academic.ru/dic.nsf/enc%20\\_philosophy%20/1075](http://dic.academic.ru/dic.nsf/enc%20_philosophy%20/1075).
4. Инкапсуляция: статья. [Электронный ресурс]. – URL: <http://ru.wikipedia.org/wiki/Инкапсуляция>.
5. Формула полной вероятности и формула Байеса: учебник по теории вероятностей – [Электронный ресурс]. – URL: [http://www.matburo.ru/tvbook\\_sub.php?p=par16](http://www.matburo.ru/tvbook_sub.php?p=par16).
6. Бедняк О.И. Решение задач идентификации скрытой сущности объекта в процессе принятия управленческих решений с помощью категориального анализа // «Системы управления и информационные технологии», выпуск «Перспективные исследования», 2011. – № 1.1(43). – С. 108-112.
7. Бедняк О.И. Категориальный анализ в задачах идентификации скрытой сущности объекта на примере скоринга // Информационные технологии моделирования и управления, 2011. – № 1(66). – С. 37-43.
8. Бедняк О.И. Категориальный анализ и оценка поведения клиентов для прогнозирования рыночных отношений / О.И. Бедняк, М.А. Кораблин, А.А. Салмин, С.С. Таев // Информационные технологии, 2009. – № 11. – С. 47-50.
9. Бедняк О.И. Инкапсуляция свойств при решении задач проверки гипотез // Информационные технологии моделирования и управления, 2014. – № 2(86). – С. 126-131.

**Кораблин Михаил Александрович**

Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, г. Самара  
Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой информационных систем и технологий  
Тел.: 8 (846) 228-00-21

**Захарова Оксана Игоревна**

Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, г. Самара  
Кандидат технических наук, доцент кафедры информационных систем и технологий  
Тел: 8 (846) 228-00-21  
E-mail: xeniya-luna@list.ru

---

M.A KORABLIN (*Doctor of Engineering Science, Head of the Department of Information Systems and Technologies*)

O.I. ZAXAROVA (*Candidate of Engineering Science, Associate Professor of the Department of Information Systems and Technologies*)  
*Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, Samara*

**THE MULTIPLICITY OF PROPERTIES AS THE BASIS AND MECHANISM HYPOTHESIS TESTING**

*In this article the current problem related to the testing of hypotheses about the state of complex objects and their identification is described. The problem is solved by introducing the concept of multiplicity properties of the analyzed object, which is the basis of identification. A specific example shows the use of multiple properties in the problem of identification of the object with the development of post-hoc hypotheses in the concept of Bayes.*

**Keywords:** *identification; multiplicity of properties; hypothesis testing; object properties; the quality of the object; alternative hypotheses; encapsulation; the concept of Bayes.*

**BIBLIOGRAPHY (TRANSLITERATED)**

1. Korablin M.A., Bednyak O.I. Kategorial'ny'j analiz kak metod ocenki kreditosposobnosti klienta – fizicheskogo lica // E'konomicheskij analiz: teoriya i praktika, 2010. – № 6. – S. 18-24.
2. Bernshtejn S.N. Teoriya veroyatnostej. – 2-e izd., dop. – М.: Л.: 1934, 200 с.
3. [E'lektronny'j resurs]. – URL: [http://dic.academic.ru/dic.nsf/enc%20\\_philosophy%20/1075](http://dic.academic.ru/dic.nsf/enc%20_philosophy%20/1075).
4. Inkapsulyaciya: stat'ya. [E'lektronnyj resurs]. – URL: <http://ru.wikipedia.org/wiki/Inkapsulyaciya>.

5. Formula polnoj veroyatnosti i formula Bajesa: uchebnik po teorii veroyatnostej – [E'lek-tronny'j resurs]. – URL: [http://www.matburo.ru/tvbook\\_sub.php?p=par16](http://www.matburo.ru/tvbook_sub.php?p=par16).
6. Bednyak O.I. Reshenie zadach identifikacii skry'toj sushhnosti ob''ekta v processe prinyatiya upravlencheskix reshenij s pomoshh'yu kategorial'nogo analiza // «Sistemy' upravleniya i informacionny'e texnologii», vy'pusk «Perspektivny'e issledovaniya», 2011. – № 1.1(43). – S. 108-112.
7. Bednyak O.I. Kategorial'ny'j analiz v zadachax identifikacii skry'toj sushhnosti ob''ekta na primere skoringa // Informacionny'e texnologii modelirovaniya i upravleniya, 2011. – № 1(66). – S. 37-43.
8. Bednyak O.I. Kategorial'ny'j analiz i ocenka povedeniya klientov dlya prognozirovaniya ry'nochny'x otnoshenij / O.I. Bednyak, M.A. Korablin, A.A. Salmin, S.S. Taev // Informacionny'e texnologii, 2009. – № 11. – S. 47-50.
9. Bednyak O.I. Inkapsulyaciya svojstv pri reshenii zadach proverki gipotez // Informacionny'e texnologii modelirovaniya i upravleniya, 2014. – № 2(86). – S. 126-131.

УДК 004.94:004.89

А.Л. МАШКОВА

## ТЕХНОЛОГИИ АГЕНТНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ И ПОИСКА ДАННЫХ В МОНИТОРИНГЕ И ПРОГНОЗИРОВАНИИ ЯВЛЕНИЙ СОЦИАЛЬНОЙ НАПРЯЖЕННОСТИ

*В статье предлагается новый подход к мониторингу явлений социальной напряженности, основанный на технологии Data Mining. Информация из ведомственных баз данных и открытых сайтов может быть собрана в «портрет» индивида, отражающий его активное или пассивное участие в актах протеста. Для прогнозирования явлений социальной напряженности может быть разработана агентная модель, интегрирующая полученные данные с перспективными сценариями динамики социально-политической ситуации.*

***Ключевые слова:** анализ данных; агентное моделирование; автоматизированный мониторинг; социальная напряженность.*

### ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Развитие средств связи и информационных технологий вместе с либеральным законодательством, реализующим принципы свободы слова и печати, облегчают размещение закрытых ранее материалов и доступ к ним широких масс. В руках оппозиционеров существующего политического строя, как внутренних, так и внешних, такие материалы становятся орудием воздействия на сознание их читателей и зрителей, формируя у них специальным образом искаженную картину общественной жизни. В сфере особо опасного влияния находится молодежь, в большинстве своем еще не имеющая устойчивого материального положения и законченного представления о своих социальных задачах [1, 3].

Не вызывает сомнения, что в отношении наиболее вредоносных резидентов и их окружения принимаются меры слежения и ограничения, однако акты протеста различного характера, вплоть до террористических, совершаемых из идеологических соображений, свидетельствуют об их недостаточности. Повсеместное же применение мер слежения потребовало бы слишком значительных человеческих и финансовых ресурсов [2].

В качестве возможного выхода из сложившегося положения предлагается разработка научно-обоснованных инструментов выявления и ограничения ангажированных идеологических влияний. К числу таких инструментов относятся вычислительные средства мониторинга оппозиционно-настроенных групп и математические модели прогнозирования актов протеста, позволяющие проводить сценарный анализ ситуации и оценивать эффективность планируемых законодательных и оперативных мер.

### АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ МОНИТОРИНГ СОЦИАЛЬНОЙ НАПРЯЖЕННОСТИ

В сети Интернет, а также в базах данных различных ведомств, содержатся огромные объемы информации, которая может быть использована для решения поставленных задач. Ведомственные базы данных хранят полный набор объективных характеристик («социальный портрет») индивида (рис. 1).



Рисунок 1 – Формирование «социального портрета» индивида на основе информации из ведомственных баз данных

Кроме того, при анализе социальной напряженности необходимо учитывать такие психологические особенности индивида, как подверженность влиянию, целеустремленность, способность принимать самостоятельные решения, определяющие его интерес к движениям протеста и его возможной роли в них. Получение подобной информации представляет некоторые трудности, однако оно возможно на современном уровне развития систем массовых коммуникаций.

На различных сайтах, в особенности в социальных сетях, представлены взгляды и интересы множества людей. Собранные воедино, они представляют собой ценный материал, из которого с помощью специальных процедур обработки данных (Data Mining) можно извлечь информацию о субъективных характеристиках индивида, получить его «психологический портрет» (рис. 2).



Рисунок 2 – Источники информации для составления «психологического портрета» индивида

Таким образом, задача мониторинга социальной напряженности согласовывается с концепцией «электронного правительства» и введения универсальных индивидуальных карт гражданам РФ.

### **ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ СОЦИАЛЬНОЙ НАПРЯЖЕННОСТИ И АКТОВ ПРОТЕСТА**

Следующей целью при анализе социально-политической ситуации является прогнозирование ее развития, в частности, распространения негативных влияний и провокаций актов протеста.

На сегодняшний день математические прогнозы социальных явлений строятся чаще всего на основе регрессионных моделей, которые в общих чертах работают следующим образом: «...В текущем году миграция в регион из азиатских стран составила 3000 человек, при этом зафиксировано 6 случаев столкновения местного населения с переселенцами. В следующем году запланирована миграция 4000 человек и ожидается 8 столкновений...» [6]. Этот грубый пример иллюстрирует несовершенство инструментария прогнозирования, применяемого ведомственными аналитиками.

Такие перспективные инструменты, как агентные имитационные модели, сейчас представляют интерес лишь для небольшой группы исследователей. Агентные имитационные модели относятся к классу алгоритмических моделей, реализуемых на вычислительных машинах, и применяются для анализа сложных социально-экономических процессов, не поддающихся математической формализации.

В агентных моделях изменение глобальных характеристик исследуемой системы происходит в результате взаимодействия отдельных индивидов – агентов [7, 8]. Такой принцип в полной мере отражает протекание социальных процессов в реальном мире, где поведение людей отчасти направляется государственными институтами, но не может до конца ими контролироваться. Особенно ярко стихийность коллективного поведения проявляется в предреволюционных ситуациях, когда, по выражению В.И. Ленина, «верхи не могут, а низы не хотят». Все же, несмотря на универсальность агентного моделирования, за отсутствием требуемых исходных данных оно продолжает оставаться «академической игрушкой» [4, 5].

Расширение объемов оперативной информации за счет реализации автоматизированных процедур мониторинга откроет новые возможности для построения агентных моделей прогноза социальной напряженности. Для использования в агентной модели полученные «портреты» должны быть упрощены вплоть до группировки индивидов в кластеры, однородные с точки зрения социальных установок (рис. 3). В этом случае отпадет необходимость в изучении поведения отдельного индивида; достаточно будет определить поведение, типичное для некоторого кластера, и на основе «портрета» отнести наблюдаемого индивида к кластеру.

Решение данной задачи требует проведения специальных экспериментов-наблюдений на контрольных группах. Контрольные группы должны быть образованы из реальных объединений различных типов, начиная с простого товарищеского объединения по интересам в политических и философских вопросах и заканчивая экстремистскими группировками. Эксперимент ставит перед собой следующие цели:

- определение типичных ролей в группировке, характера взаимного влияния представителей различных ролей, а также способов идентификации индивидов с их ролями на основе данных из открытых источников информации (социальных сетей и сайтов);
- построение и проверка адекватности моделей поведения участников группировки;
- наблюдение за влиянием информационных материалов на членов группировки.



*Рисунок 3 – Получение исходных данных для агентной модели социальной напряженности*

Динамика объединений и группировок определяется не только составом их участников, но и набором экономических, социально-этнических, политических факторов. Совокупность данных факторов образует по отношению к группировке внешнюю среду. В современных исследованиях моделирование вероятностей возникновения тех или иных факторов осуществляется в рамках сценарного подхода. Средства агентного моделирования удобны для реализации вычислительных экспериментов по прогнозированию динамики наблюдаемых группировок в различных сценариях внешней среды, таких, как «Экономический кризис», «Военное вторжение», «Информационная война» и др. [4].

Интеграция данных мониторинга социальной ситуации и результатов экспериментов позволит создать динамическую модель прогнозирования социальной напряженности в масштабах страны.

## **ВЫВОДЫ**

Разработка предлагаемого инструментария откроет качественно новые возможности для анализа и прогнозирования общественных настроений и явлений социальной напряженности:

1. Учет потенциально опасных оппозиционных объединений сможет производиться на основе автоматизированных процедур анализа открытых источников информации, что обеспечит значительно большую широту охвата без привлечения дополнительных оперативных сотрудников.

2. Выявление источников размещения запрещенных материалов в сети Интернет; анализ их последующего распространения по сети и влияния на участие в акциях протеста их читателей и зрителей.

3. Моделирование динамики наблюдаемых группировок с учетом воздействия иностранных резидентов и внутренних оппозиционеров; падения уровня жизни в стране; усиления межэтнических конфликтов и других социально-экономических факторов.

4. Прогнозирование организации массовых акций протеста и террористических актов.

5. Оценка эффективности законодательных мер в отношении членов радикальных оппозиционных группировок и участников массовых беспорядков.

Дальнейшее уточнение характеристик используемых моделей и алгоритмов требует знакомства со структурой информации, находящейся в распоряжении органов безопасности и других государственных ведомств, методами сбора оперативных данных, а также с результатами закрытых исследований по данной тематике.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Битянова М.Р. Социальная психология: наука, практика и образ мыслей. – М.: Изд-во Эксмо-Пресс, 2004. – 576 с.
2. Галкин А.А. Социальная напряженность; под ред. А.И. Волкова. – М.: ИС РАН, 1994. – Вып. 3. – С. 53-62.
3. Дюркгейм Э. Правила, относящиеся к объяснению социальных факторов // Социология. Ее предмет, метод, предназначение. – М., 2005. – 228 с.
4. Савина А.Л. Алгоритмические аспекты построения агентной модели миграционных потоков // Труды Пятой всероссийской научно-практической конференции «Имитационное моделирование. Теория и практика» ИММОД-2011. – Т. 1. – СПб.: ОАО «ЦТСС», 2011. – С. 255-259.
5. Савина А.Л. Математическая модель принятия решений агентами в имитационной модели миграционных потоков // Информационные системы и технологии, 2011. – № 6. – С. 66-72.
6. УФМС России по Орловской области. Аналитический отчет, характеризующий миграционную ситуацию в Орловской области за 2010 год. – Орел, 2011.
7. Epstein J., Axtell R. Growing Artificial Societies: Social Science From the Bottom Up. MIT Press // Brookings Institution, 1996.
8. Gilbert N., Troitzsch K. Simulation for the Social Scientist // Open University Press, 1999. – Second Edition, 2005.

**Машкова Александра Леонидовна**

ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК», г. Орел

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Информационные системы»

Тел.: 8 920 285 67 45

E-mail: aleks.savina@gmail.com

---

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

### AGENT MODELING AND DATA MINING IN SOCIAL TENSION MONITORING AND FORECASTING

*The paper proposes a new approach to social tension monitoring, based on data mining technology. Information from departmental databases and open sites may be collected in a "portrait" of the individual, reflecting its active or passive participation in acts of protest. It is also considered to produce an agent-based model that integrates the data with prospective scenarios of socio-political situation for the prediction of dynamics of social tension.*

**Keywords:** data mining; agent modeling; automatic monitoring; social tension.

**BIBLIOGRAPHY (TRANSLITERATED)**

1. Bityanova M.R. Social'naya psixologiya: nauka, praktika i obraz my'slej. – M.: Izd-vo E'ksmo-Press, 2004. – 576 s.
2. Galkin A.A. Social'naya napryazhyonnost'; pod red. A.I. Volkova. – M.: IS RAN, 1994. – Vy'p. 3. – S. 53-62.
3. Dyurkgejm E'. Pravila, otnosyashhiesya k ob''yasneniyu social'ny'x faktorov // Sociologiya. Eyo predmet, metod, prednaznachenie. – M., 2005. – 228 s.
4. Savina A.L. Algoritmicheskie aspekty' postroeniya agentnoj modeli migracionny'x potokov // Trudy' Pyatoj vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii «Imitacionnoe modelirovanie. Teoriya i praktika» IMMOD-2011. – T. 1. – SPb.: OAO «CTSS», 2011. – S. 255-259.
5. Savina A.L. Matematicheskaya model' prinyatiya reshenij agentami v imitacionnoj modeli migracionny'x potokov // Informacionny'e sistemy' i texnologii, 2011. – № 6. – S. 66-72.
6. UFMS Rossii po Orlovskoj oblasti. Analiticheskij otchyot, karakterizuyushhij migracionnu'yu situaciyu v Orlovskoj oblasti za 2010 god. – Orel, 2011.
7. Epstein J., Axtell R. Growing Artificial Societies: Social Science From the Bottom Up. MIT Press // Brookings Institution, 1996.
8. Gilbert N., Troitzsch K. Simulation for the Social Scientist // Open University Press, 1999. – Second Edition, 2005.

УДК 658.012.11

О.В. ЗАХАРОВА

**ВЕРИФИКАЦИЯ ПРОГРАММНОЙ СИСТЕМЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ АЛУ  
НЕПОСРЕДСТВЕННОГО ФОРМИРОВАНИЯ В ПРОЦЕССАХ ПРОЕКТИРОВАНИЯ**

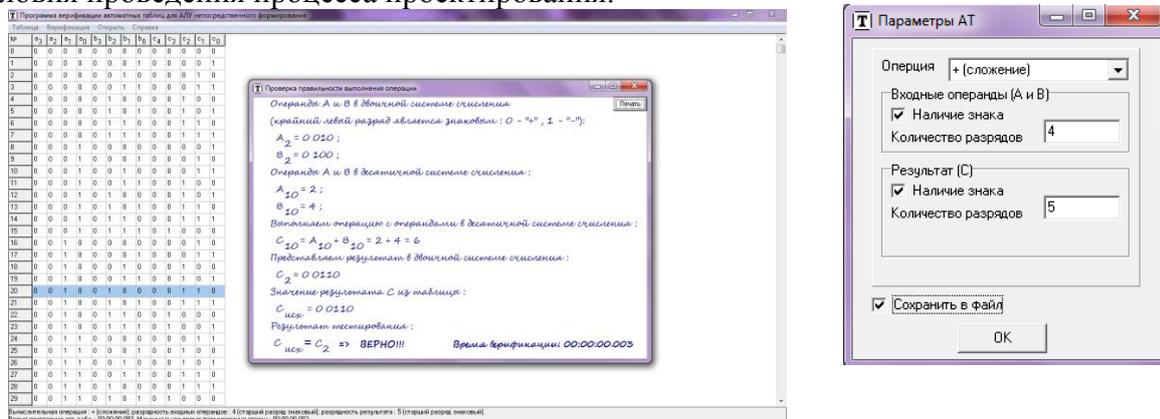
В статье предложены программные инструментальные средства для верификации АЛУ непосредственного формирования (автоматной таблицы, математических моделей АЛУ непосредственного формирования, ядра АЛУ непосредственного формирования). Предложены методики верификации строк автоматных таблиц вычислительных операций, логических форм и структуры ядра АЛУ непосредственного формирования. Проведены испытания по предложенным методикам.

**Ключевые слова:** арифметико-логическое устройство (АЛУ); верификация; контроль.

Любая программная система должна включать в себя верификацию как один из этапов разработки программного обеспечения, направленный на подтверждение того, что разработанные программные инструментальные средства соответствуют предъявленным к ним требованиям и функционируют правильно:

- 1) разработанные инструментальные средства моделирования АЛУ непосредственного формирования [1-3], исходя из методики моделирования [3, 4], включают три важных этапа: 1) построение автоматных таблиц вычислительных операций (рис. 1);
- 2) построение унифицированных совершенных нормальных форм (УСНФ) (рис. 2);
- 3) моделирование структуры АЛУ непосредственного формирования (АЛУ НФ) (рис. 3).

В программной системе моделирования АЛУ НФ естественно присутствуют проверки на правильность функционирования. Однако верификация при проектировании проявляет двойкий смысл: 1) как этап проверки правильности функционирования разработанной программной системы; 2) как программный инструментарий для проектирования вычислительных средств, который фактически, с одной стороны, должен обеспечить требуемые показатели эффективности, с другой стороны, должен обеспечить комфортные условия проведения процесса проектирования.



**Рисунок 1 – Инструментальные средства построения и проверки автоматных таблиц вычислительных операций**

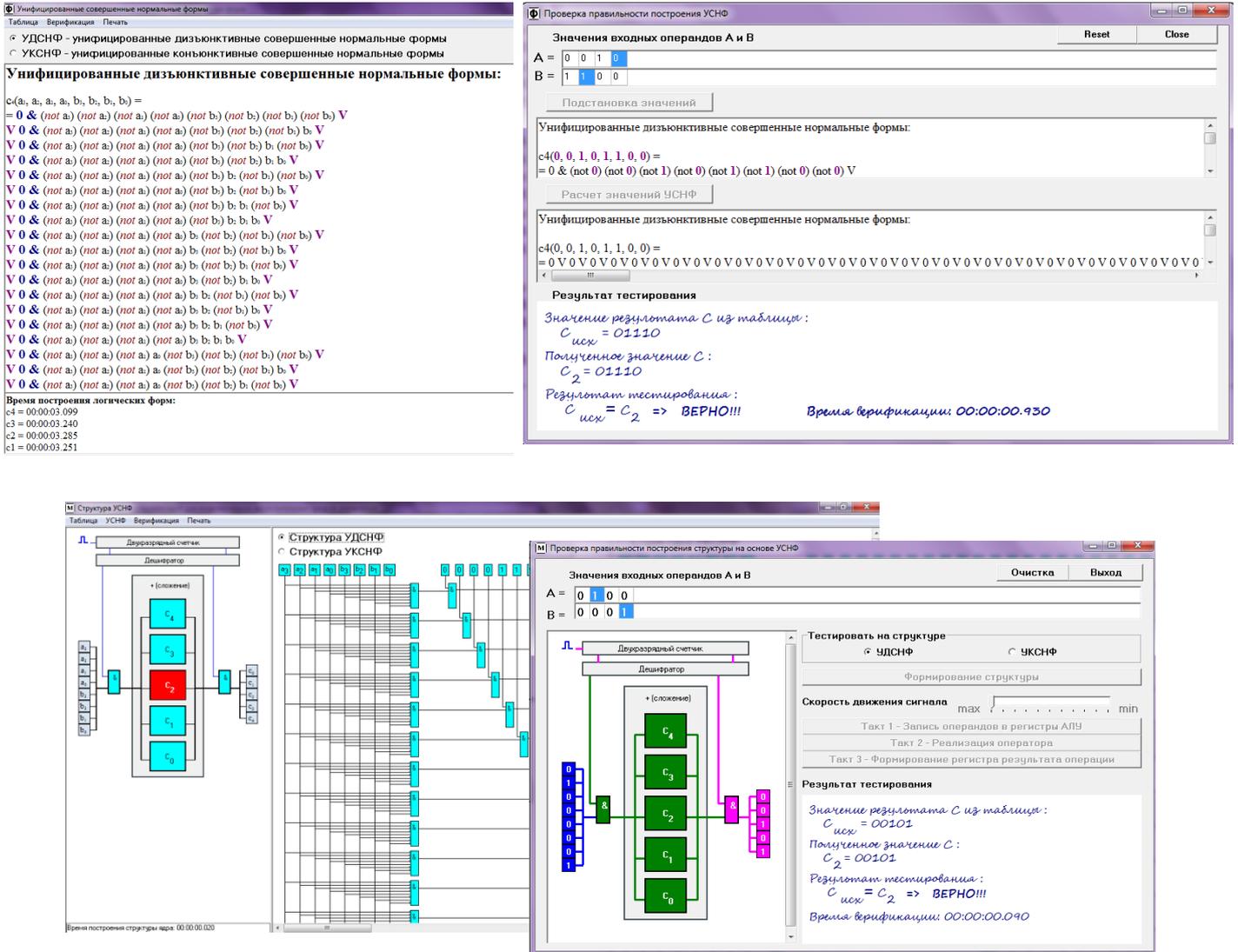


Рисунок 3 – Инструментальные средства построения структуры АЛУ, структуры УСНФ, моделирования процессов функционирования ядер и проверки структуры УСНФ

Инструментарий определяет достижимые показатели АЛУ НФ и задаёт темп исследования, способствующий творческой деятельности. Для всего этого необходимы временные оценки формирования автоматной таблицы, формирования строки таблицы истинности, построения логических форм, построения структуры ядра АЛУ непосредственного формирования, проверки правильности построения строки автоматной таблицы, проверки правильности построения автоматной таблицы, проверки правильности построения логических форм, проверки правильности построения структуры ядра АЛУ непосредственного формирования.

Следовательно, разработка программ верификации в отмеченном смысле автоматных таблиц, логических форм и структуры ядра АЛУ непосредственного формирования является актуальной.

В настоящей работе предлагаются методики верификации для проведения эффективного процесса проектирования вычислительных средств, в котором должны быть обеспечены комфортные условия проведения процесса проектирования, а именно: методики

верификации строк автоматных таблиц вычислительных операций, математических моделей и структуры ядра АЛУ непосредственного формирования.

### ПАРАМЕТРЫ ЭФФЕКТИВНОСТИ

Принято считать, что обеспечение комфортности моделирования обусловлено показателями, представленными в таблице 1.

Таблица 1 – Пример параметров достижимости

Наименование	Ед. изм.	Значение
Верификация строки в таблице истинности	мс	Не более 100
Верификация логической формы	мс	Не более 1000
Верификация структуры ядра АЛУ	мс	Не более 1000

Ввиду длительных расчетов построения автоматных таблиц вычислительных операций, формирования логических форм разрядов результата, а также структуры разрядов результата и структуры АЛУ НФ, общее время моделирования не превышает значений таблицы 2, а время верификации должно соответствовать показателям таблицы 3. Следует отметить, что в соответствии с методикой моделирования АЛУ непосредственного формирования [3, 4] ограничения на разрядность операндов, количество ядер и количество операций отсутствуют.

Таблица 2 – Общее время моделирования

№	Разрядность входных операндов*	Число ядер	Число операций	Время моделирования**
1	Более 32	1 – 20	1 – 20	Свыше 30 минут
2	20 – 32	1 – 16	1 – 16	Свыше 10 минут
3	16 – 20	1 – 10	1 – 10	Не более 10 минут
4	8 – 16	1 – 10	1 – 10	Не более 3 минут
5	2 – 8	1 – 10	1 – 10	Не более 1 минуты

**Примечание:** \* – суммарное число разрядов всех входных операндов; \*\* – на 64 разрядных персональных компьютерах с частотой задающего генератора не менее 2 ГГц.

Таблица 3 – Время верификации

Разрядность входных операндов*	Время верификации строки в таблице Истинности	Время верификации логической формы	Время верификации структуры ядра АЛУ
От 2 до 4	Не более 20 мс	Не более 100 мс	Не более 100 мс
От 4 до 8	Не более 30 мс	Не более 300 мс	Не более 200 мс
От 8 до 12	Не более 50 мс	Не более 700 мс	Не более 700 мс
От 12 до 16	Не более 100 мс	Не более 1000 мс	Не более 1000 мс

**Примечание:** \* – суммарное число разрядов всех входных операндов.

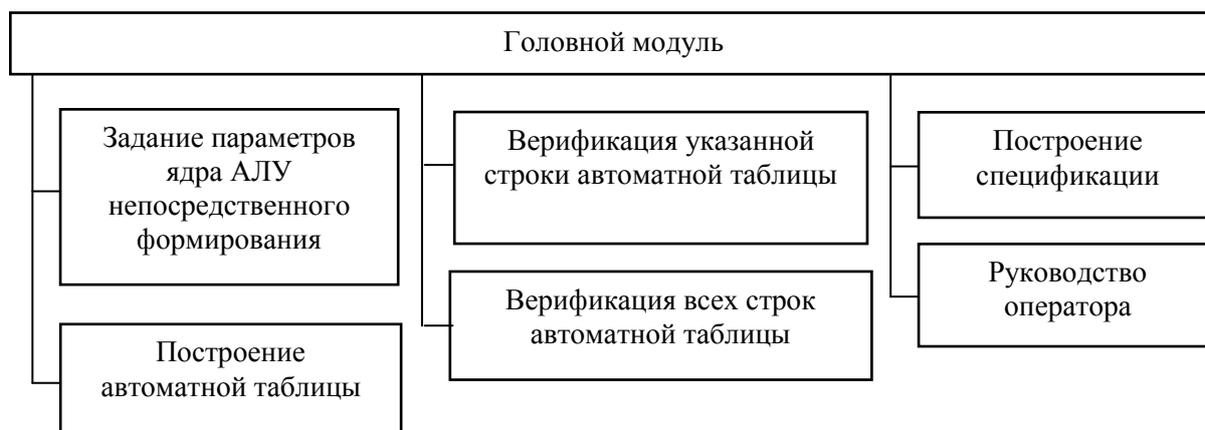
### АЛГОРИТМ, ПРОГРАММНАЯ СИСТЕМА И МЕТОДИКА ВЕРИФИКАЦИИ СТРОКИ АВТОМАТНОЙ ТАБЛИЦЫ

Алгоритм верификации строки в таблице истинности:

- 1) выбрать строку автоматной таблицы;

- 2) перевести значения операндов из двоичной системы счисления ( $A_2$  и  $B_2$ ) в десятичную систему счисления ( $A_{10}$  и  $B_{10}$ );
- 3) выполнить требуемую операцию над операндами  $A_{10}$  и  $B_{10}$  (результат  $C_{10}$ );
- 4) перевести полученный результат  $C_{10}$  в двоичную систему счисления ( $C_{2\_рез}$ );
- 5) сравнить табличное значение операнда  $C_{2\_исх}$  и полученное значение  $C_{2\_рез}$ . Если значения совпадают, то проверяемая строка автоматной таблицы сформирована верно, в противном случае – неверно;
- б) вывести время, затраченное на выполнение верификации.

Семантически программа верификации автоматных таблиц для АЛУ непосредственного формирования [5] детализируется структурой рисунка 4.



**Рисунок 4 – Структура программы верификации автоматных таблиц для АЛУ непосредственного формирования» [5]**

Методика испытаний в программе верификации автоматных таблиц для АЛУ непосредственного формирования [5]:

- 1) сформировать автоматную таблицу пунктом меню «Таблица → Создать таблицу» (в открывшейся форме указать операцию, разрядность входных операндов, разрядность результата и нажать кнопку «ОК»), далее зафиксировать время формирования автоматной таблицы и максимальное время формирования строки автоматной таблицы (строка состояния внизу главной формы) для значений разрядности входного операнда 2, 4, 6 и 8 и разрядности выходных операндов 3, 5, 7 и 9 соответственно для операции «сложение» и 4, 8, 12 и 16 соответственно для операции «умножение»;

- 2) провести верификацию строк в автоматной таблице и зафиксировать результаты пунктом меню «Верификация → Верификация строки» количеством не менее 20-ти строк автоматной таблицы, если общая разрядность входных операндов не более 8-ми, и не менее 100 строк автоматной таблицы, если разрядность входных операндов от 8-ми до 16-ти;

- 3) провести программную верификацию всех строк автоматной таблицы для автоматического определения максимального времени пунктом меню «Верификация → Верификация всех строк таблицы»;

- 4) при неудовлетворительных значениях пункта 3 программная система непригодна для моделирования и должна быть переустановлена.

## АЛГОРИТМ, ПРОГРАММНАЯ СИСТЕМА И МЕТОДИКА ТЕСТИРОВАНИЯ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ АЛУ НЕПОСРЕДСТВЕННОГО ФОРМИРОВАНИЯ

Алгоритм верификации математических моделей АЛУ непосредственного формирования:

- 1) построить совершенные нормальные формы (математические модели АЛУ непосредственного формирования) по автоматной таблице операции (УДСНФ или УКСНФ);
- 2) задать значения входных операндов  $A$  и  $B$ ;
- 3) произвести подстановку значений разрядов операндов в совершенные нормальные формы;
- 4) рассчитать значения разрядов результирующего операнда;
- 5) сравнить табличное значение операнда  $C_{исх}$  и полученное значение  $C_{рез}$ . Если значения совпадают, то математические модели АЛУ непосредственного формирования построены верно, в противном случае – неверно;
- 6) вывести время, затраченное на выполнение тестирования.

Семантически программа тестирования математических моделей АЛУ непосредственного формирования [6] детализируется структурой рисунка 5.

Методика испытаний в программе тестирования математических моделей АЛУ непосредственного формирования [6]:

- 1) сформировать автоматную таблицу пунктом меню «Таблица → Создать таблицу» (в открывшейся форме указать операцию, разрядность входных операндов, разрядность результата и нажать кнопку «ОК») и построить унифицированные совершенные нормальные формы пунктом меню «УСНФ» для значений разрядности входного операнда 2, 4, 6 и 8 и разрядности выходных операндов 3, 5, 7 и 9 соответственно для операции «сложение» и 4, 8, 12 и 16 соответственно для операции «умножение»;

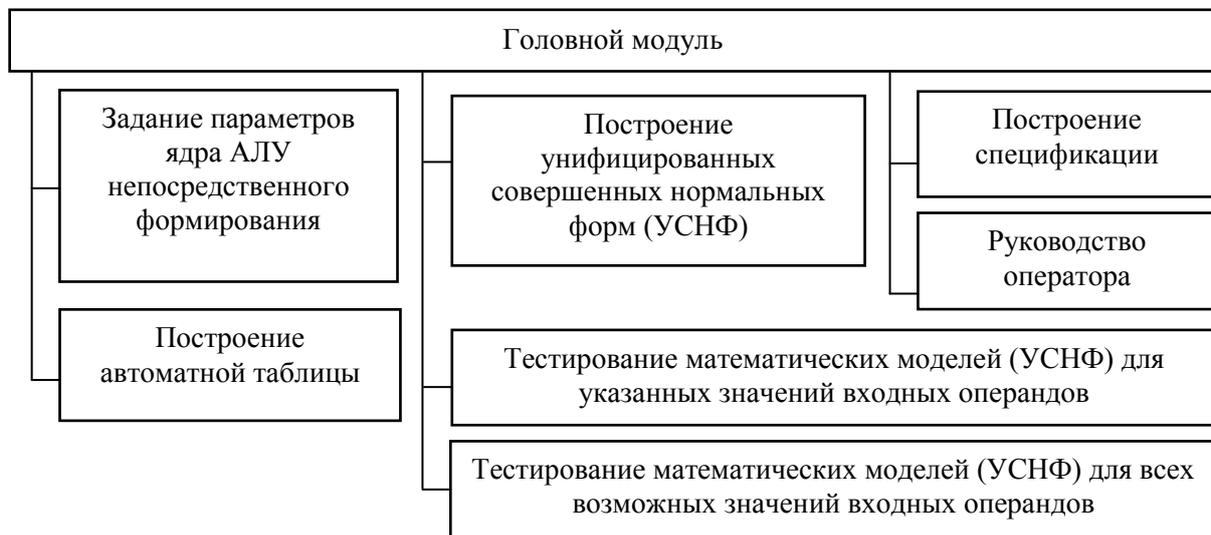


Рисунок 5 – Структура программы тестирования математических моделей АЛУ непосредственного формирования [6]

- 2) провести верификацию унифицированных совершенных нормальных и зафиксировать результаты пунктом меню «Верификация → Верификация логических форм» количеством не менее 20-ти значений входных операндов, если общая разрядность входных операндов не более 8-ми, и не менее 100 значений входных операндов, если разрядность входных операндов от 8-ми до 16-ти;

3) провести программную верификацию логических форм по всем значениям входных операндов для автоматического определения максимального времени пунктом меню «Верификация → Верификация по всем значениям входных операндов»;

4) при неудовлетворительных значениях пункта 3 программная система непригодна для моделирования и должна быть переустановлена.

### АЛГОРИТМ, ПРОГРАММНАЯ СИСТЕМА И МЕТОДИКА ВЕРИФИКАЦИИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ЯДРА АЛУ

#### НЕПОСРЕДСТВЕННОГО ФОРМИРОВАНИЯ

Алгоритм верификации структуры ядра АЛУ непосредственного формирования:

1) сформировать структуру ядра АЛУ непосредственного формирования на основе математических моделей (УДСНФ или УКСНФ);

2) задать значения входных операндов  $A$  и  $B$ ;

3) выполнить микрооперацию 1 – записать значения входных операндов  $A$  и  $B$  в регистры АЛУ;

4) выполнить микрооперацию 2 – выполнить операцию;

5) выполнить микрооперацию 3 – сформировать регистр результата;

6) сравнить табличное значение операнда  $C_{исх}$  и полученное значение  $C_{рез}$ . Если значения совпадают, то структура ядра АЛУ непосредственного формирования построена верно, в противном случае – неверно;

7) вывести время, затраченное на выполнение проверки.

Семантически программа проверки точности функционирования ядра АЛУ непосредственного формирования [7] детализируется структурой рисунка 6.

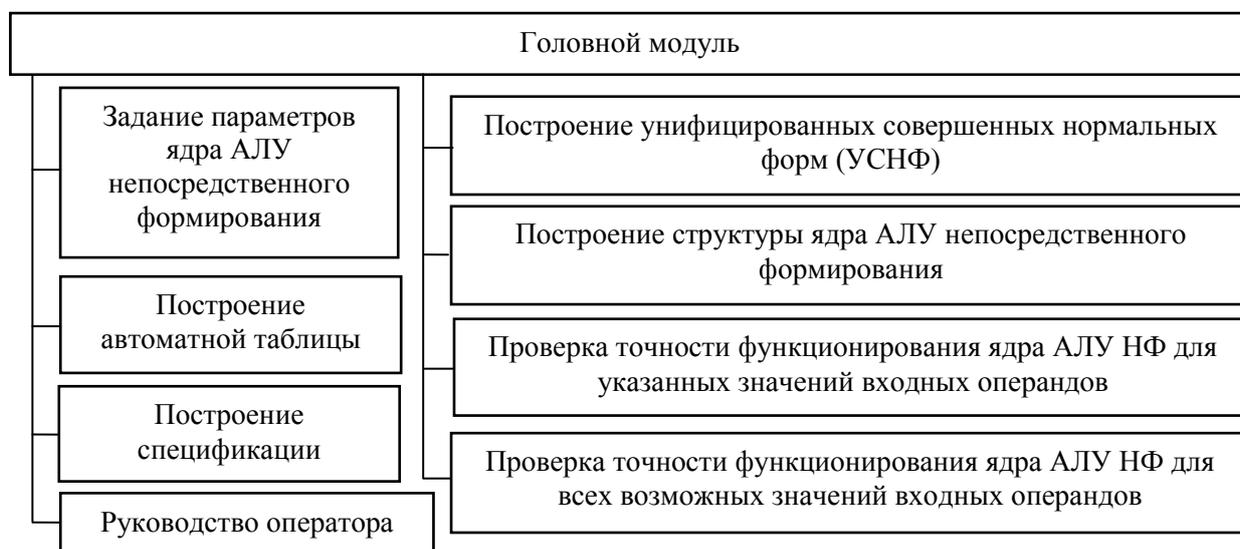


Рисунок 6 – Структура программы проверки точности функционирования ядра АЛУ НФ

Методика испытаний в программе проверки точности функционирования ядра АЛУ непосредственного формирования [7]:

1) сформировать автоматную таблицу пунктом меню «Таблица → Создать таблицу» (в открывшейся форме указать операцию, разрядность входных операндов, разрядность результата и нажать кнопку «ОК») и построить структуру ядра АЛУ НФ пунктом меню «Моделирования → Структура УСНФ» для значений разрядности входного операнда 2, 4, 6 и

8 и разрядности выходных операндов 3, 5, 7 и 9 соответственно для операции «сложение» и 4, 8, 12 и 16 соответственно для операции «умножение»;

2) провести верификацию структуры ядра АЛУ НФ и зафиксировать результаты пунктом меню «Верификация → Верификация структуры АЛУ НФ» количеством не менее 20-ти значений входных операндов, если общая разрядность входных операндов не более 8-ми, и не менее 100 значений входных операндов, если разрядность входных операндов от 8-ми до 16-ти;

3) провести полную программную верификацию структуры ядра АЛУ НФ по всем значениям входных операндов для автоматического определения максимального времени пунктом меню «Верификация → Верификация по всем значениям входных операндов»;

4) при неудовлетворительных значениях пункта 3 программная система непригодна для моделирования и должна быть переустановлена.

### РЕАЛИЗАЦИЯ МЕТОДИКИ ВЕРИФИКАЦИИ ТАБЛИЦЫ ИСТИННОСТИ

Рассмотрим методику верификации таблицы истинности:

1. Исходные данные: операция – сложение; разрядность входных операндов – 4; разрядность результата – 5. Время формирования автоматной таблицы – 93 мс; максимальное время формирования строки автоматной таблицы – 2 мс. (рис. 1)

2. Результаты верификации строк автоматной таблицы зафиксированы в таблице 4. Максимальное время верификации строки: 7 мс.

3. Программная верификация всех строк автоматной таблицы представлена на рисунке 7. Максимальное время программной верификации строки удовлетворяет показателям таблицы 3: 7 мс.

Таблица 4 – Результаты верификации строк автоматной таблицы

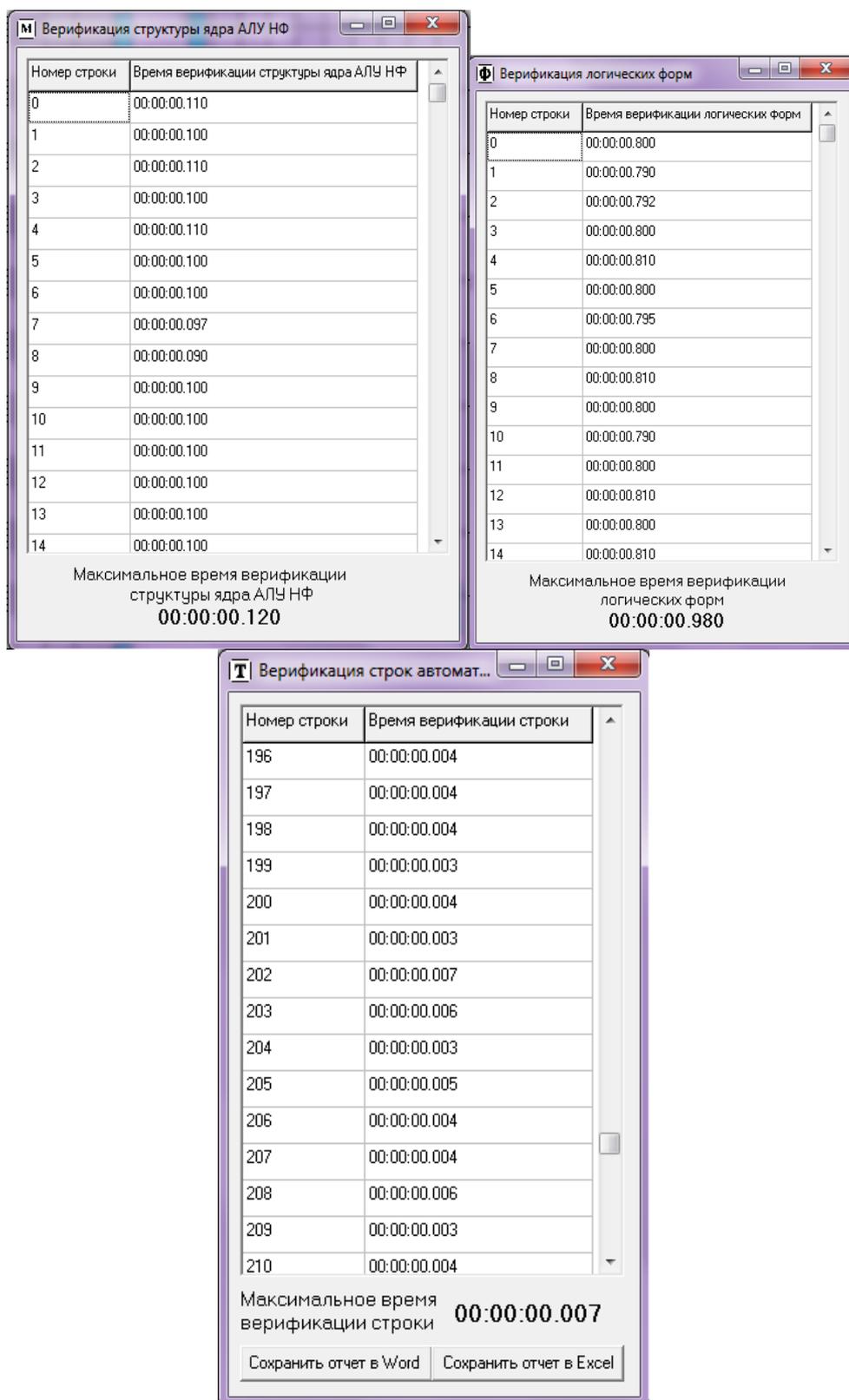
Номер теста	Время верификации	Номер теста	Время верификации
1	00:00:00.004	11	00:00:00.007
2	00:00:00.003	12	00:00:00.003
3	00:00:00.004	13	00:00:00.003
4	00:00:00.005	14	00:00:00.003
5	00:00:00.003	15	00:00:00.003
6	00:00:00.003	16	00:00:00.003
7	00:00:00.005	17	00:00:00.004
8	00:00:00.003	18	00:00:00.003
9	00:00:00.003	19	00:00:00.006
10	00:00:00.006	20	00:00:00.003
Максимальное время верификации строки: 00:00:00.007			

Таким образом, экспериментирование с программой верификации автоматных таблиц для АЛУ непосредственного формирования позволяет говорить о том, что:

1. Время формирования автоматной таблицы для восьмиразрядных входных операндов не превышает 18 мс.

2. Максимальное время формирования строки автоматной таблицы для разрядности входных операндов, не превышающей восьми, составляет не более 10 мс.

3. Время верификации строки автоматной таблицы для двухразрядных входных операндов не превышает 5 мс, для четырёхразрядных входных операндов не превышает 7 мс, для шестиразрядных входных операндов не превышает 13 мс, а для восьмиразрядных входных операндов не превышает 16 мс.



*Рисунок 7 – Программная верификация всех строк автоматной таблицы, математических моделей ядра АЛУ непосредственного формирования и структуры ядра*

## РЕАЛИЗАЦИЯ МЕТОДИКИ ВЕРИФИКАЦИИ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ

Рассмотрим реализацию методики верификации математических моделей:

1. Исходные данные (рис. 1): операция – сложение; разрядность входных операндов – 4; разрядность результата – 5. Время формирования логических форм (рис. 2): для разряда результата  $c_4$  – 00:00:03.099; для разряда результата  $c_3$  – 00:00:03.240; для разряда результата  $c_2$  – 00:00:03.285; для разряда результата  $c_1$  – 00:00:03.251; для разряда результата  $c_0$  – 00:00:03.240. Общее время построения логических форм: 00:00:16.115.

2. Результаты верификации логических форм зафиксированы в таблице 5. Максимальное время верификации логических форм: 00:00:00.980. Максимальное время верификации логической формы: 00:00:00.196.

3. Результаты программной верификации логических форм для всех значений входных операндов представлены на рисунке 7. Максимальное время программной верификации логических форм: 00:00:00.980. Максимальное время программной верификации логической формы удовлетворяет показателям таблицы 3 – 196 мс.

Здесь можно заключить, что экспериментирование с программой тестирования математических моделей АЛУ непосредственного формирования позволяет сделать следующие выводы: время формирования логической формы для двухразрядных входных операндов не превышает 100 мс, для четырёхразрядных входных операндов – 300 мс, для шестиразрядных входных операндов – 700 мс, для восьмиразрядных входных операндов – 1000 мс.

Таблица 5 – Результаты верификации логических форм

Номер теста	Время верификации логических форм	Среднее время верификации логической формы	Номер теста	Время верификации логических форм	Среднее время верификации логической формы
1	00:00:00.830	00:00:00.166	11	00:00:00.835	00:00:00.167
2	00:00:00.820	00:00:00.164	12	00:00:00.810	00:00:00.162
3	00:00:00.801	00:00:00.161	13	00:00:00.800	00:00:00.160
4	00:00:00.930	00:00:00.186	14	00:00:00.800	00:00:00.160
5	00:00:00.820	00:00:00.164	15	00:00:00.820	00:00:00.164
6	00:00:00.793	00:00:00.159	16	00:00:00.790	00:00:00.158
7	00:00:00.810	00:00:00.162	17	00:00:00.799	00:00:00.160
8	00:00:00.810	00:00:00.162	18	00:00:00.980	00:00:00.196
9	00:00:00.791	00:00:00.159	19	00:00:00.810	00:00:00.162
10	00:00:00.820	00:00:00.164	20	00:00:00.800	00:00:00.160
Максимальное время верификации логических форм: 00:00:00.980 Максимальное время верификации логической формы: 00:00:00.196					

## ПРИМЕР ВЕРИФИКАЦИИ СТРУКТУРЫ ЯДРА АЛУ НФ

Реализация методики верификации структуры ядра АЛУ НФ:

1. Исходные данные (рис. 1): операция – сложение; разрядность входных операндов – 4; разрядность результата – 5. Время формирования структуры ядра АЛУ НФ: 00:00:00.020. Время построения структуры разряда результата по ДСНФ: 800 мс. (рис. 3).

2. Результаты верификация структуры ядра АЛУ НФ зафиксированы в таблице 6. Максимальное время верификации логических форм – 120 мс.

3. Результаты программной верификации структуры ядра АЛУ НФ для всех значений входных операндов представлены на рисунке 7. Максимальное время программной верификации строки 120 мс, что соответствует показателям таблицы 3.

Таблица 6 – Результаты верификации структуры ядра АЛУ НФ

Номер теста	Время верификации	Номер теста	Время верификации
1	00:00:00.090	11	00:00:00.100
2	00:00:00.100	12	00:00:00.110
3	00:00:00.080	13	00:00:00.110
4	00:00:00.100	14	00:00:00.090
5	00:00:00.090	15	00:00:00.120
6	00:00:00.100	16	00:00:00.110
7	00:00:00.090	17	00:00:00.100
8	00:00:00.110	18	00:00:00.100
9	00:00:00.090	19	00:00:00.090
10	00:00:00.090	20	00:00:00.100
Максимальное время верификации логических форм: 00:00:00.120			

Экспериментирование с программой проверки точности функционирования ядра АЛУ непосредственного формирования позволило сделать следующие выводы:

1) время формирования логической структуры ядра АЛУ НФ для разрядности входных операндов, не превышающей 16 разрядов, составляет не более 40 мс, а время формирования структуры одного разряда не превышает 1000 мс;

2) время верификации структуры ядра АЛУ НФ для разрядности входных операндов, не превышающей 16 разрядов, составляет не более 1000 мс.

### ВЫВОДЫ

1. Предложенные программы верификации автоматных таблиц, логических форм и структуры ядра АЛУ непосредственного формирования, обуславливая эффективность процесса проектирования АЛУ НФ, могут составить основу соответствующей автоматизированной системы научных исследований.

2. Разработанные программы верификации исполняют не только своё прямое предназначение проверки, но и выполняются в течение времени, не создающем задержки в процессах проектирования (обеспечивая комфортные условия исследования).

*Исследование выполнено при поддержке Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере в рамках программы «УМНИК».*

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Захарова О.В., Раков В.И. Программный инструментарий для моделирования вычислительных средств управления // Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ. – Реестр программ для ЭВМ, 2 марта 2012. – № 2012612287.
2. Захарова О.В. Программный инструментарий для моделирования вычислительных средств управления // Информационные системы и технологии, 2012. – № 6(74). – С. 90-99.
3. Раков В.И., Захарова О.В. Программный инструментарий информационных систем сверхбыстродействующих вычислительных средств управления: монография. – Орел: ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК», 2013. – 506 с.

4. Раков В.И., Захарова О.В. Реализация быстрых вычислений посредством комбинационных структур // Вестник компьютерных и информационных технологий. – М: Машиностроение, 2007. – № 8. – С. 51-55.
5. Захарова О.В. Программа верификации автоматных таблиц для АЛУ непосредственного формирования / О.В. Захарова, А.М. Соловьев, А.В. Мельник, В.И. Раков // Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ. – Реестр программ для ЭВМ, 12 мая 2014. – № 2014614845.
6. Захарова О.В. Программа тестирования математических моделей АЛУ непосредственного формирования / О.В. Захарова, А.М. Соловьев, Е.Р. Сафонов, В.И. Раков // Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ. – Реестр программ для ЭВМ, 14 апреля 2014. – № 2014613971.
7. Захарова О.В., Соловьев А.М., Раков В.И. Программа проверки точности функционирования ядра АЛУ непосредственного формирования // Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ. – Реестр программ для ЭВМ, 14 апреля 2014. – № 2014613972.

**Захарова Ольга Владимировна**

ФГБОУ ВПО «Госунiversитет – УНПК», г. Орел

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Информационные системы»

Тел.: 8 906 569 20 20

E-mail: cvaig@mail.ru

O.V. ZAXAROVA (*Candidate of Engineering Science,  
Associate Professor of the Department «Information systems»  
State University – ESPC, Orel*)

**VERIFICATION OF PROGRAM SYSTEM OF MODELLING ALU  
OF DIRECT FORMATION IN DESIGN PROCESSES**

*In the article software tools for verification ALU of direct formation (automatic tables, mathematical models, structure) are offered. Techniques of verification of rows table, mathematical models and structure are described. Techniques are checked.*

**Keywords:** arithmetic and logic unit (ALU); verification; control.

**BIBLIOGRAPHY (TRANSLITERATED)**

1. Zaxarova O.V., Rakov V.I. Programmny'j instrumentarij dlya modelirovaniya vy'chislitel'ny'x sredstv upravleniya // Svidetel'stvo o gosudarstvennoj registracii programm dlya E'VM. – Reestr programm dlya E'VM, 2 marta 2012. – № 2012612287.
2. Zaxarova O.V. Programmny'j instrumentarij dlya modelirovaniya vy'chislitel'ny'x sredstv upravleniya // Informacionny'e sistemy' i tehnologii, 2012. – № 6(74). – S. 90-99.
3. Rakov V.I., Zaxarova O.V. Programmny'j instrumentarij informacionny'x sistem sverxby'strodeystvuyushhix vy'chislitel'ny'x sredstv upravleniya: monografiya. – Orel: FGBOU VPO «Gosuniversitet – UNPK», 2013. – 506 s.
4. Rakov V.I., Zaxarova O.V. Realizaciya by'stry'x vy'chislenij posredstvom kombinacionny'x struktur // Vestnik komp'yuterny'x i informacionny'x tehnologij. – M: Mashinostroenie, 2007. – № 8. – S. 51-55.
5. Zaxarova O.V. Programma verifikacii avtomatny'x tablic dlya ALU neposredstvennogo formirovaniya / O.V. Zaxarova, A.M. Solov'ev, A.V. Mel'nik, V.I. Rakov // Svidetel'stvo o gosudarstvennoj registracii programm dlya E'VM. – Reestr programm dlya E'VM, 12 maya 2014. – № 2014614845.
6. Zaxarova O.V. Programma testirovaniya matematicheskix modelej ALU neposredstvennogo formirovaniya / O.V. Zaxarova, A.M. Solov'ev, E.R. Safonov, V.I. Rakov // Svidetel'stvo o gosudarstvennoj registracii programm dlya E'VM. – Reestr programm dlya E'VM, 14 aprelya 2014. – № 2014613971.
7. Zaxarova O.V., Solov'ev A.M., Rakov V.I. Programma proverki tochnosti funkcionirovaniya yadra ALU neposredstvennogo formirovaniya // Svidetel'stvo o gosudarstvennoj registracii programm dlya E'VM. – Reestr programm dlya E'VM, 14 aprelya 2014. – № 2014613972.

УДК 681.3.063

О.А. ИВАЩУК, Д.А. КВАНИН

## **АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ УПРАВЛЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТЬЮ ЛОКАЛЬНЫХ ГОРОДСКИХ ТЕРРИТОРИЙ**

*В статье анализируются современные проблемы, связанные с управлением экологической безопасностью локальных городских территорий. Исследуются подходы к построению автоматизированной системы управления экологической безопасностью дворовых территорий (качественное состояние природной среды которых оказывает воздействие на здоровье и жизнедеятельность наиболее уязвимой части населения), структура и функции которой позволят обеспечить оперативность, научную обоснованность и результативность управленческих решений, реальное изменение экологической ситуации.*

**Ключевые слова:** автоматизированное управление; поддержка принятия решений; дворовые территории; экологическая безопасность; экологический мониторинг; прогнозирование.

### **ВВЕДЕНИЕ**

Важнейшей составляющей национальной безопасности любого современного государства является экологическая безопасность его территорий различного назначения. Следует особо выделить локальные городские территории, качественное состояние природной среды которых оказывает значительное воздействие на здоровье и жизнедеятельность людей. Так, экологическая ситуация на дворовых территориях многоэтажных жилых комплексов определяет уровень безопасности наиболее уязвимой части населения – детей, подростков, пожилых людей.

Сегодня нет стран, в которых бы не уделялось должного внимания проблемам экологии. Одним из основных направлений снижения и предотвращения возникновения и развития техногенных и природных экологических рисков – активной мерой – является создание эффективных систем мониторинга, прогнозирования и управления экологической безопасностью, работа которых базируется на широком использовании средств автоматизации и перспективных методов информационных технологий. Однако следует отметить, что и в России, и за рубежом, даже в городах, где функционируют подобные системы с развитой сетью стационарных и мобильных станций, обеспеченные современными датчиками и приборами слежения, использующие геоинформационные и аэрокосмические технологии, моделирующие распространение загрязнений в пространстве, не наблюдается принципиального улучшения экологической ситуации. Выделим основные проблемы:

1. В существующих системах наиболее полно решаются вопросы сбора, обработки, хранения и передачи данных и лишь фрагментарно – вопросы поддержки принятия решений. Последние должны базироваться на адекватных прогнозах (кратко-, средне- и долгосрочного характера), построении и реализации информационных и ситуационных моделей и, что крайне важно, с обеспечением возможности непосредственной трансформации данных экомониторинга в сценарии управления (с дальнейшей их оценкой и рекомендациями для актуализации).

2. Не проводится комплексная оценка (в т.ч. прогнозная) экологической ситуации в целом, т.е. по совокупному состоянию различных компонентов биотехносферы. Модели и методы, используемые в существующих системах экомониторинга и управления, позволяют оценить изменение только отдельных составляющих окружающей природной среды. Это серьезно влияет на правильность выбора управляющего воздействия, так как реализация

одного и того же мероприятия может улучшить качество одной природной компоненты, при этом негативно влияя на другие.

3. Как инструментальные, так и расчетные средства рассматриваемых систем практически не используются для оценки и прогнозирования развития экологической ситуации, сложившейся на вышеупомянутых локальных городских территориях.

### ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

С целью обеспечения эффективного результативного процесса управления экологической ситуацией на локальных городских территориях авторами поставлена задача моделирования автоматизированной системы управления экологической безопасностью (АСУ ЭБ) дворовых территорий. Последние являются структурной единицей селитебной территории города, будем определять их по аналогии с [1]: территории, прилегающие к жилым зданиям и находящиеся в общем пользовании проживающих в них лиц, ограниченные по периметру жилыми зданиями, строениями, сооружениями или ограждениями.

Основное требование к подобным АСУ ЭБ – обеспечение поддержки и реализации объективных, высокорезультативных (с точки зрения оперативности, эколого-экономической эффективности, устойчивости к динамике внешней среды) управленческих решений по предотвращению и снижению (ликвидации) экологических рисков, возникающих на дворовых территориях.

Основные принципы построения моделируемой системы:

- приоритетность охраны окружающей природной среды, жизни и здоровья населения перед другими экономическими и социальными целями, соответствующими задачами;
- соответствие целей системы (всех ее подсистем) целям вышестоящих систем, например, целям общей интеллектуальной системы управления городом и т.п.
- универсальность модели системы;
- полнота и адекватность анализируемой информации;
- адаптивность и мобильность системы;
- научная обоснованность принимаемых управленческих решений в сфере экологической безопасности, т.е. разумное, основанное на научных исследованиях сочетание экологических и экономических интересов региона;
- выявление причинно-следственных связей;
- оперативность принятия управленческих решений;
- использование программно-целевого подхода.

Структуру АСУ ЭБ дворовых территорий будут определять как вышеуказанные требования и принципы, так и реализующие их функции системы. На рисунке 1 представлена функциональная модель системы, где  $I_0$  – информация о параметрах, характеризующих состояние экологической безопасности рассматриваемой дворовой территории, которую собирает АСУ;  $I_{01}$  – обработанная информация;  $I_1$  – результаты первичных оценок и прогнозов развития сложившейся экологической ситуации ( $I_1 = \{ I_{11}, I_{12} \}$ );  $I_2$  – результаты прогнозирования развития экологической ситуации при реализации различных управляющих воздействий, а также оценки результативности сценариев управления;  $I_3$  – модели, формируемые в системе для осуществления оценок и прогнозов;  $I_C$  – выбранные для реализации сценарии управления.

Реализация системы, соответствующей функциональной модели рисунка 1, возможна на основе подходов к построению АСУ экологической безопасностью территорий, изложенных в [2, 3]. Однако при разработке структурной модели внесем принципиальные

изменения. Так, если в указанных работах система экологического мониторинга рассматривалась как самостоятельная подсистема, то в предлагаемой модели она будет являться неотъемлемой частью подсистемы АСУ, осуществляющей поддержку принятия управленческих решений, а именно, интеллектуальной подсистемы поддержки принятия решений (ИСППР). Ее функционирование связано не только со сбором данных, но и с обязательной их обработкой для трансформации в конкретные сценарии управления.

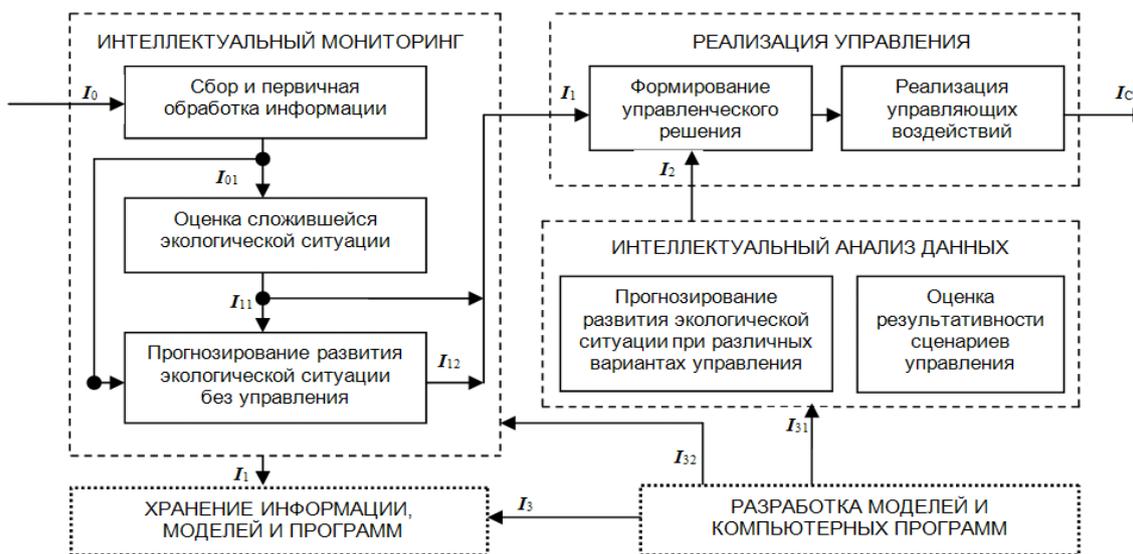


Рисунок 1 – Функциональная модель АСУ ЭБ дворовой территории

На рисунке 2 представлена структурная модель ИСППР (сплошные стрелки – взаимодействие между подсистемами и другими составляющими АСУ, пунктирная стрелка – влияние внешней среды).

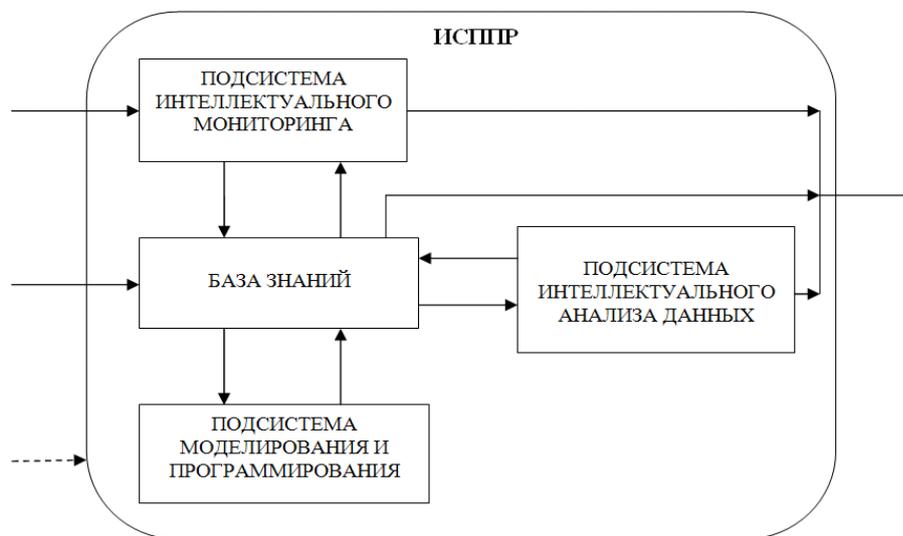


Рисунок 2 – Структурная модель ИСППР

Согласно вышеизложенному, в состав моделируемой подсистемы АСУ входят следующие основные компоненты:

– подсистема интеллектуального мониторинга (автоматизированный сбор и предварительная обработка данных; оценка параметров, характеризующих уровень экологической безопасности дворовых территорий; комплексная оценка сложившейся экологической ситуации; прогнозирование изменения экологической ситуации без реализации управляющих воздействий);

– база знаний (накопление и хранение данных; накопление и хранение моделей; формирование правил использования данных; формирование правил использования моделей);

– подсистема моделирования и программирования (формирование моделей – математических, информационных, ситуационных – для осуществления оценок и прогнозов различного уровня; разработка компьютерных программ);

– подсистема интеллектуального анализа данных (прогнозирование развития экологической ситуации при реализации управляющих воздействий; комплексная оценка результатов реализации управляющих воздействий; формирование рекомендаций по наиболее рациональному управлению).

Следует особо отметить, что ИСППР наделена функциями комплексной оценки как существующей, так и прогнозируемой экологической ситуации. Алгоритм продемонстрирован на рисунке 3.

На основании проведенного анализа нормативных документов, в которых отражены требования к характеристикам безопасности и комфорта дворовой территории, параметры, определяющие формирование определенной экологической ситуации, были распределены на две основные группы. К первой относятся показатели качества природной среды: уровень загрязнения атмосферного воздуха, уровень шумовой нагрузки, характеристики воздействия электромагнитных полей; ко второй – параметры, зависящие от инфраструктуры территории: уровень инсоляции, степень озеленения, размеры территории с точки зрения возможности организации площадок различного уровня (игровых, для отдыха, занятия спортом, выгула собак), загруженность автотранспортом.

Комплексная оценка проводится в два этапа. На первом, согласно приведенному алгоритму, осуществляется комплексная оценка внутри каждой группы: характеристика состояния природной среды на рассматриваемой территории и характеристика инфраструктуры территории с точки зрения экологической безопасности. На втором этапе осуществляется комплексная оценка экологической ситуации (существующей или прогнозируемой на основе имитационного моделирования) в целом по состоянию как природной среды, так и инфраструктуры дворовой территории. Для осуществления вывода о состоянии экологической ситуации используется аппарат нечеткой логики.

Для реализации данного подхода построены модели, решение которых синтезируется на основе отдельных элементов знаний, извлекаемых при проведении экспериментальной или модельной оценки показателей качества отдельных параметров природной среды и инфраструктуры дворовой территории. Экологическая ситуация, сложившаяся или прогнозируемая при изменении биотехносферы, описывается лингвистической переменной «Экологическая ситуация»  $\{EcSit, T, ES, G, H\}$  с именем  $EcSit$ ;  $T$  – базовое терм-множество со значениями для характеристики экологической ситуации: «нормальная», «тревожная», «опасная», «критическая»;  $G$  – правила, которые позволяют сформировать значения «не опасная», «очень опасная», «не очень опасная», «тревожная или опасная» и т.п.;  $H$  – математические правила, определяющее вид функции принадлежности для каждого значения, образованного при помощи правила  $G$  (например, если  $\mu_1$  – функция принадлежности для характеристики «тревожная», а  $\mu_2$  – «опасная», то функция

принадлежности для характеристики «тревожная или опасная» будет  $\mu_1 \vee \mu_2$ , «не опасная» с функцией  $1 - \mu_2$  и т.д.).

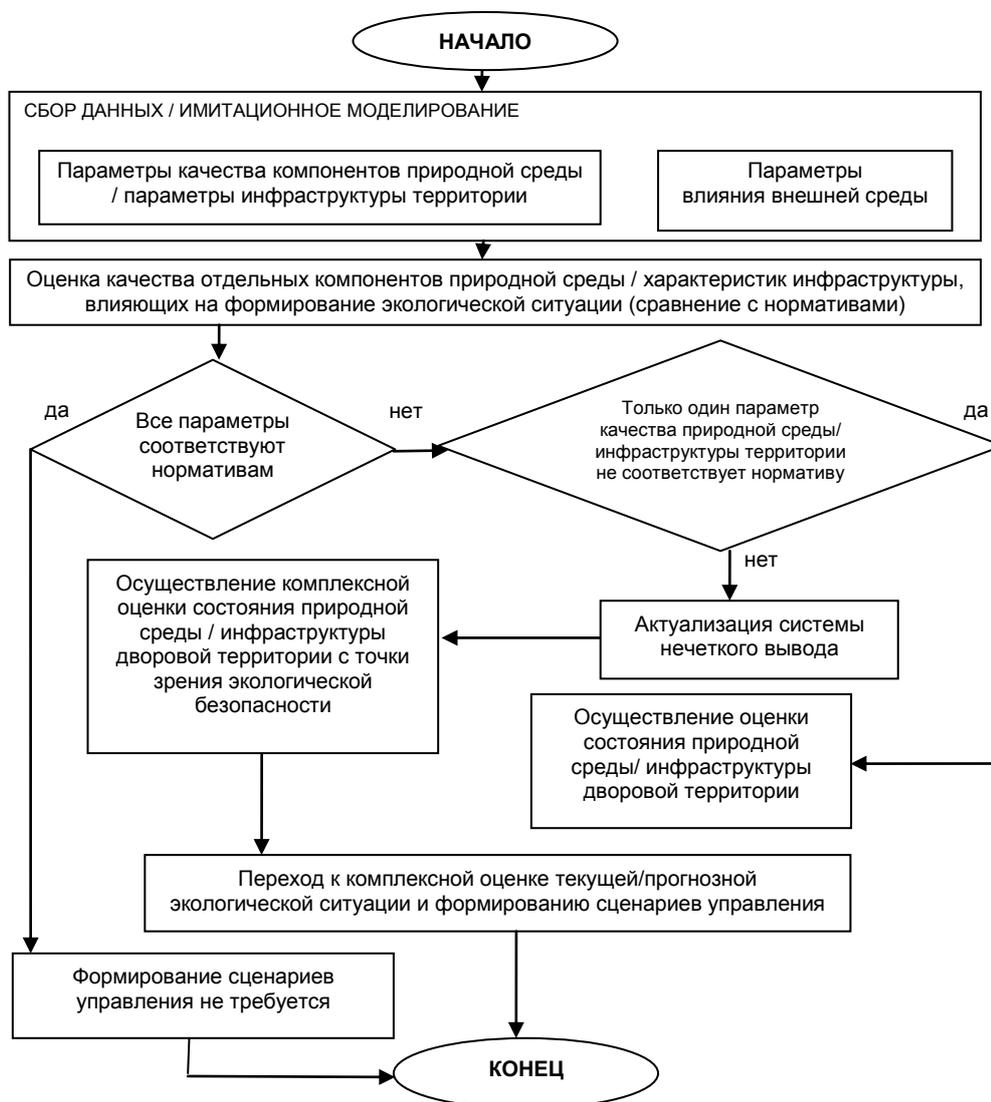


Рисунок 3 – Алгоритм проведения комплексной оценки экологической ситуации на дворовой территории

Формирование сценариев управления по снижению и предотвращению экологических рисков будет опираться именно на результаты синтезированной оценки. На основании вышеизложенного,  $EcSit$  является составной лингвистической переменной, при этом процесс классификации экологической ситуации разбивается на анализ взаимодействия включенных в состав переменной двух основных частей:  $EcSit=(ES_1, ES_2)$ , где  $ES_1$  – лингвистическая переменная, характеризующая состояние природной среды на дворовой территории,  $ES_2$  – лингвистическая переменная, характеризующая инфраструктуру дворовой территории с точки зрения экологической безопасности.  $ES_1$  и  $ES_2$ , в свою очередь, являются составными:  $ES_1 = (ES_{1j}), j=1, \dots, J$ , где  $ES_{1j}$ , например, это «уровень загрязнения атмосферы», «уровень шумового воздействия», «уровень воздействия переменных электромагнитных полей»;  $ES_2 = (ES_{2k}), k=1, \dots, K$ , где,  $ES_{2k}$ , например, это «уровень инсоляции дворовой территории»,

«степень озеленения дворовой территории», «возможность размещения площадок, необходимых для обеспечения экологической безопасности», «уровень насыщенности автотранспортом». Комбинации элементов данных переменных, реализуемые на основе специально разработанных правил, обеспечивают синтезированный результат работы моделей.

Разработан соответствующий программный продукт (язык программирования C# с использованием для реализации нечетких моделей библиотеки FuzzyNet), создан удобный интерфейс в среде Visual Studio Express, который позволяет специалисту, эксперту предметной области, не владеющему навыками моделирования и программирования, оперативно проводить оценку текущей и/или прогнозной экологической ситуации.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, представлены подходы к построению и организации функционирования АСУ ЭБ дворовых территорий, которая позволит обеспечить решение рассмотренных выше проблем: значительное повышение результативности экомониторинга и обеспечение возможности непосредственной трансформации его результатов в управленческие решения путем оперативного интеллектуального анализа данных, в том числе на основе проведения комплексной оценки и существующей, и прогнозируемой экологической ситуации; обеспечение эффективного управления локальными городскими территориями.

АСУ с подобной структурой может быть эффективно использована как составляющая общей интеллектуальной сети управления функциями города [4]. Результаты ее работы необходимы, прежде всего, при строительстве жилой застройки, реконструкции имеющихся жилых комплексов, введении в действие новых жилых зданий, а также общественных и промышленных зданий вблизи дворовых территорий, при строительстве и реконструкции улично-дорожной сети.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Об обеспечении чистоты и порядка на территории Московской области: Закон Московской обл. от 29 ноября 2005 года N 249/2005-ОЗ (с изменениями на 23.12.2013); принят постановлением Московской обл. Думы от 16.11.2005, № 5/158-П [Электронный ресурс]. – URL: [http://www.garant.ru/hotlaw/mos\\_obl/128959/](http://www.garant.ru/hotlaw/mos_obl/128959/) (дата обращения: 10.06.2014).
2. Иващук О.А., Константинов И.С. Подходы к созданию автоматизированной системы управления экологической безопасностью урбанизированных территорий // Проблемы региональной экологии, 2013. – № 4. – С. 196-202.
3. Ivashchuk Olga, Ivashchuk Orest, 2013. Automation and Intellectualization to Control the Ecological Situation in the Urbanized Territories. In the Proceedings of the 2013 IEEE 7th International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems (IDAACS). – V. 2. – P. 814-820.
4. Архипов О.П., Иващук О.А. и др. Пути создания автоматизированной системы управления инновационным «умным городом» // Информационные системы и технологии, 2011. – № 6(68). – С. 85-95.

#### **Иващук Ольга Александровна**

Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород  
Доктор технических наук, профессор кафедры информационных систем управления  
E-mail: [olga.ivashuk@mail.ru](mailto:olga.ivashuk@mail.ru)

**Кванин Денис Александрович**

Орловский государственный аграрный университет, г. Орел

Аспирант

---

O.A. IVASHHUK (*Doctor of Engineering Science,  
Professor of the Department of Management Information Systems*)  
Belgorod National Research University, Belgorod

D.A. KVANIN (*Post-graduate Student*)  
Orel State Agrarian University, Orel

#### **AUTOMATED ENVIRONMENT SAFETY MANAGEMENT OF THE LOCAL URBAN TERRITORIES**

*The article analyzes the current problems associated with ecological safety of courtyard territories (qualitative state of the environment that has an impact on the health and livelihoods of the most vulnerable part of the population). The function and structure of the system will ensure efficiency, effectiveness and scientific validity of administrative decisions and the real change of the environmental situation as well.*

**Keywords:** *automated control; decision support; domestic territories; ecological safety; environmental monitoring and forecasting.*

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

1. Ob obespechenii chistoty' i poryadka na territorii Moskovskoj oblasti: Zakon Moskovskoj obl. ot 29 noyabrya 2005 goda N 249/2005-OZ (s izmeneniyami na 23.12.2013); prinyat postanovleniem Moskovskoj obl. Dumy' ot 16.11.2005, № 5/158-P [E'lektronny'j resurs]. – URL: [http://www.garant.ru/hotlaw/mos\\_obl/128959/](http://www.garant.ru/hotlaw/mos_obl/128959/) (data obrashheniya: 10.06.2014).
2. Ivashhuk O.A., Konstantinov I.S. Podxody' k sozdaniyu avtomatizirovannoj sistemy' upravleniya e'kologicheskoy bezopasnost'yu urbanizirovanny'x territorij // Problemy' regional'noj e'kologii, 2013. – № 4. – S. 196-202.
3. Ivashchuk Olga, Ivashchuk Orest, 2013. Automation and Intellectualization to Control the Ecological Situation in the Urbanized Territories. In the Proceedings of the 2013 IEEE 7th Inter-national Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems (IDAACS). – V. 2. – P. 814-820.
4. Arxipov O.P., Ivashhuk O.A. i dr. Puti sozdaniya avtomatizirovannoj sistemy' upravleniya innovacionny'm «umny'm gorodom» // Informacionny'e sistemy' i texnologii, 2011. – № 6(68). – S. 85-95.

УДК 004.942

А.М. СОЛОВЬЁВ, В.И. РАКОВ

## О РЕЗУЛЬТАТАХ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ УСИЛИТЕЛЕЙ НИЗКОЙ ЧАСТОТЫ

*В работе представлены результаты автоматизации участка приемных устройств технологического процесса мониторинга радиоэлектронной обстановки в направлении переложения усилий человека по оценке качества функционирования усилителей низкой частоты на цифровую вычислительную технику.*

**Ключевые слова:** управление; модель; усилитель.

### АКТУАЛЬНОСТЬ

Технологический процесс мониторинга радиоэлектронной обстановки (радиомониторинга) имеет существенно важное значение не только в военном деле, но и в смежных вопросах охраны газопроводов, нефтепроводов, в системах управления движением морским транспортом, защиты объектов и территорий от терроризма, предупреждения техногенных ситуаций, а также при проведении текущего технического радиоконтроля [1-2].

Структура радиомониторинга включает центральный пункт управления и региональные или местные подсистемы (станции) радиомониторинга, замыкающиеся на нем. В центральном пункте управления осуществляется сбор получаемой информации о наземной или подводной обстановке в реальном масштабе времени; идентификация источников излучений; проверка соответствия характеристик и параметров излучения требованиям норм и разрешений; обобщение, хранение информации, анализ и формирование целеуказаний.

Технологический процесс мониторинга радиоэлектронной обстановки в центральном пункте управления представляется 4-мя территориально-распределенными участками:

- 1) участком антенных систем;
- 2) участком приёмных устройств;
- 3) участком обработки по демодуляции и детектированию сигналов;
- 4) участком доставки, анализа и формирования информационных отчетов.

Этот процесс характеризуется функциональной и структурной распределенностью, а к показателям оценки качества относят время получения информационного отчета, время оценки процесса фиксирования отклонения от требуемого функционирования, время организации процесса принятия решения, время принятия решения и время исполнения решения по восстановлению требуемого функционирования. В связи с этим разработка любых методик и рекомендаций, направленных на улучшение отмеченных показателей оценки качества и, в частности, на снижение времени получения отчетов и сокращение времени оценки процесса фиксирования отклонения от требуемого функционирования, является научно необходимым и технически целесообразным мероприятием.

Показатели качества существенно зависят от функционирования оборудования на всех участках данного технологического процесса. Несмотря на то, что современные технические средства систем радиомониторинга прошли путь от первых отечественных довоенных тепlopеленгаторов, работающих в инфракрасном спектре частот, и радиолокационных станции сантиметрового диапазона волн типа «Позитив» с собственной системой обработки информации до комплексных высокоавтоматизированных систем «Титанит» (1973 г.), «Монолит» (1986 г.), бортовых и наземных комплексов мониторинга радиоэлектронной обстановки ОАО НПО «Орион» и автоматизированных систем частотного планирования [3-8], в процессах мониторинга радиоэлектронной обстановки остаются

участки, не подверженные достаточной автоматизации, то есть с весомым участием человека в технологическом процессе.

Несмотря на важность всех отмеченных участков и компонентов технологического процесса, наиболее чувствительным по временным показателям остается участок приемных устройств, основу которого образуют модули, состоящие из фильтров, детекторов, коммутаторов и усилителей. При этом усилители низкой частоты (УНЧ) фактически обуславливают требуемое функционирование участка и достоверность результирующих сигналов. Поэтому традиционно функция оценки работоспособности УНЧ возложена на человека-оператора, т.е. существенно важной функцией оперативного персонала является оценка работоспособности или, в частности, оценка качества текущего функционирования усилителей низкой частоты по результатам наблюдений за многочисленными параметрами каждого УНЧ.

Именно такое участие человека, его реагирование на фиксируемые отклонения работы аппаратуры УНЧ от требуемого функционирования так или иначе вносит наиболее существенную задержку во всю обработку информации в технологическом процессе мониторинга радиоэлектронной обстановки. Поэтому сокращение времени оценки процесса фиксирования отклонения от требуемого функционирования УНЧ и, тем самым, повышение скорости функционирования второго участка технологического процесса является актуальной задачей.

В работе представлены результаты автоматизации участка приемных устройств (2-го участка технологического процесса мониторинга радиоэлектронной обстановки) в направлении переложения усилий человека по оценке качества функционирования усилителей низкой частоты на цифровую вычислительную технику.

### **ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ВОПРОСОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ УНЧ И ВЫБОР ПОДХОДА К ОЦЕНКЕ ИХ КАЧЕСТВА ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ**

Исходя из целесообразности выбора времени оценки процесса фиксирования отклонения от требуемого функционирования УНЧ как показателя оценки качества, а также из сложности обработки многочисленных измерений текущих целевых показателей усилительных устройств в процессе функционирования, очевидна необходимость применения моделирования оценки качества.

Анализ типовых систем схемотехнического моделирования (PSpice, Design Center, Design Lab, Micro-Cap, Circuit Maker, Electronics Workbench, Multisim, Altera Max Plus, Microwave Office, Motorola, Microchip, Xilinx, Altium), а также оценка состояния вопросов моделирования УНЧ с использованием известных вариантов представления динамических и статических моделей [9-12], позволили сделать вывод о том, что, поскольку оперативная оценка качества функционирования усилителей низкой частоты в технологическом процессе мониторинга радиоэлектронной обстановки до настоящего времени фактически не проводилась, для описания функционирования УНЧ с учетом входных и выходных цепей устройства оценки качества функционирования затруднительно использование априорно ориентированных на другие задачи моделей Молла-Росса, Лингвилла, Шихмана-Ходжеса, Гуммеля-Пуна и Джаколетто. Поэтому моделирование УНЧ рациональнее проводить, основываясь на общих законах Кирхгофа с классическим представлением транзисторов моделями  $h$ ,  $y$ ,  $g$  – параметров и их вольтамперных характеристик в табличном или аналитическом виде [13-15].

Практика моделирования указала на необходимость создания системы для совместного моделирования УНЧ и устройства оценки качества, моделирования моментов времени отклонения от требуемого функционирования УНЧ, моделирования переменной

структуры УНЧ. Причём оказалось, что сделать это проще и эффективнее можно на базе аппаратных модулей серии National Instruments с их программной поддержкой LabVIEW версии 10.0, обеспечивающей условия для создания требуемых модельных процессов второго участка технологического процесса радиомониторинга.

### МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ УНЧ ДЛЯ ОПЕРАТИВНОЙ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ

Для исследования влияния входных и выходных цепей прибора оценки качества функционирования на коэффициент усиления УНЧ выбрана эквивалентная схема с соответствующими элементами (рис. 1).

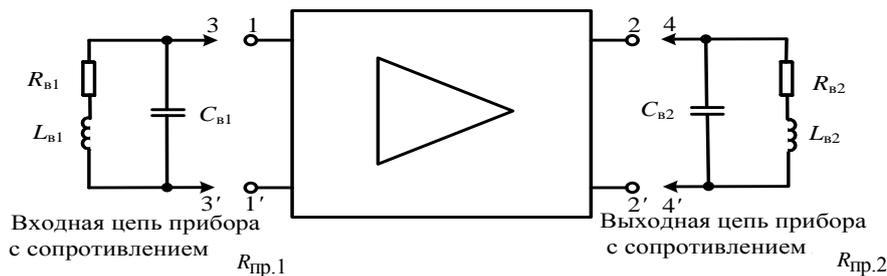


Рисунок 1 – Эквивалентная схема входных и выходных цепей (импеданса) прибора оценки качества

Используя традиционный аппарат расчета усилителей, нетрудно построить по эквивалентной схеме (рис. 1) математическую модель усилителя низкой частоты, отличающуюся учетом влияния входных и выходных цепей устройства оценки качества функционирования УНЧ (рис. 2) [16-18].

$$K = \frac{1}{\beta} \cdot \frac{h_{21b1} \cdot (R_4 \cdot (h_{11b2} + (1 + h_{21b2}) \cdot R_6)) / (R_4 + (h_{11b2} + (1 + h_{21b2}) \cdot R_6))}{((R_r \cdot R_1 \cdot R_2) / (R_r \cdot (R_1 + R_2) + R_1 \cdot R_2)) + ((h_{1b1} \cdot R_{пр.1}) / (h_{1b1} + R_{пр.1}))} \times$$

$$\times \frac{h_{21b1} \cdot (R_8 \cdot (h_{11b3} + (h_{21b3} + 1) \cdot h_{11b4})) / (R_8 + (h_{11b3} + (h_{21b3} + 1) \cdot h_{11b4}))}{[1/h_{22b1} + (1 + h_{21b1}) \cdot R_3] \cdot R_4 / (1/h_{22b1} + (1 + h_{21b1}) \cdot R_3 + R_4) + h_{11b2}} \cdot \frac{h_{21b3} \cdot h_{11b4}}{h_{11b3} + h_{21b3} \cdot h_{11b4}} \times$$

$$\times \frac{h_{21b4} \cdot n_r \cdot ((R_{вых.ус} \cdot R_{пр.2}) / (R_{вых.ус} + R_{пр.2}))}{(h_{11b3} \cdot (1 + R_8 h_{22b2}) + R_8) / ((1 + R_8 h_{22b2}) \cdot h_{21b3}) + h_{11b4}},$$

где  $\beta$  – коэффициент обратной связи;  $R_{пр.1}$ ,  $R_{пр.2}$  – полные сопротивления прибора оценки качества, подключенные соответственно ко входу и выходу усилителя

Рисунок 2 – Формула коэффициента усиления с учетом входного и выходного импеданса

Учёт допустимой погрешности измерения  $\Delta = \pm 0,15$  дБ коэффициента усиления (рис. 2) позволил определить допустимые нижние границы модулей комплексных импедансов при подключении к усилителю  $R_{пр.1 доп}$  и  $R_{пр.2 доп}$  (рис. 3) для обеспечения требуемого функционирования УНЧ, а использование принципа структурного контроля [19, 20] позволило предложить структуру устройства оценки качества функционирования УНЧ (рис.

4), основанную на алгоритмическом методе обработки и цифровом представлении сигналов и отличающуюся оперативным приспособлением к структурным особенностям УНЧ.

### **СИСТЕМА И МЕТОДИКА МОДЕЛИРОВАНИЯ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА УНЧ**

На базе разработанной математической модели УНЧ (рис. 2) и основных компонент структуры устройства оценки качества функционирования УНЧ (рис. 4) разработана методика оперативной оценки качества функционирования усилителей низкой частоты [21].

Использование методики направлено на улучшение показателей качества функционирования усилителей низкой частоты путем своевременной оценки их состояния для возможности предотвращения нецелевого функционирования в технологическом процессе мониторинга радиоэлектронной обстановки, а само содержание основано на сравнении текущих показателей качества функционирования с заданными эталонными:

1) в УНЧ выделяются структурные единицы (каскады или усилитель в целом) в соответствии с возможностью регистрации входов и выходов для отработки конкретной целевой функции;

2) для каждой структурной единицы определяются и фиксируются исходные функции преобразования, которые относят к эталонным;

3) в ходе функционирования УНЧ организуется текущая регистрация и сохранение состояний входа и выхода каждой структурной единицы;

4) для каждой структурной единицы строится текущая функция преобразования на основе зафиксированных состояний ее входов и выходов;

5) проводится сравнение текущей функции преобразования с эталонной и делается заключение о пригодности УНЧ и структурных единиц для дальнейшего обеспечения отработки заданной целевой функции.

В отношении процесса организации оценки качества функционирования усилителей сформулированная методика фактически направлена на выявление возможных отклонений показателей функционирования УНЧ от нормы и выявление возможных тенденций развития этих отклонений. Отслеживая автоматически динамику отклонений оцениваемых показателей функционирования (рис. 4), можно оперативно отслеживать зарождающиеся изменения в структуре УНЧ и автоматически фиксировать момент отклонения от требуемого функционирования УНЧ.

Разработанная система моделирования (рис. 5) как программно-аппаратный комплекс отличается от существующих возможностью использования экспериментальных данных с помощью аппаратных средств ввода-вывода DAQ 6221 и программного обеспечения LABVIEW. Она обеспечивает моделирование оценки качества функционирования УНЧ различных структур [22-23].

Сложность измерения текущих целевых показателей усилительных устройств в процессе их функционирования сделала необходимым создание методики моделирования процесса функционирования усилителя низкой частоты для разработанной системы моделирования. Разработка методики, ориентированной на совместное использование аппаратных средств и программных функций, свелась к следующим мероприятиям:

1) настройка устройства сбора данных;

2) задание математической модели УНЧ, отражающее его конкретную структуру;

3) задание физических характеристик сигнала, подаваемое на УНЧ;

4) оценка качества функционирования УНЧ при варьировании параметров входных и выходных цепей прибора оценки качества, неисправностей усилителя, температуры окружающей среды и напряжения источника питания.

Полученные результаты моделирования процесса оценки качества функционирования усилителей (рис. 6) показали, что предложенная методика моделирования процесса функционирования усилителя низкой частоты на основе разработанной математической модели усилителя и предложенной методики оперативной оценки качества функционирования позволила сократить время оценки процесса фиксирования отклонения от требуемого функционирования УНЧ в технологическом процессе мониторинга радиоэлектронной обстановки более чем на два порядка (рис. 7).

Результаты моделирования дали основание представить структуру прибора оценки качества функционирования УНЧ на типовом микроконтроллере ATmega168 (Atmel, США), а также исследовать возможность использования для этих целей арифметико-логических устройств (АЛУ) непосредственного формирования, обеспечивающих методически максимальное быстродействие вычислений и оценку качества.

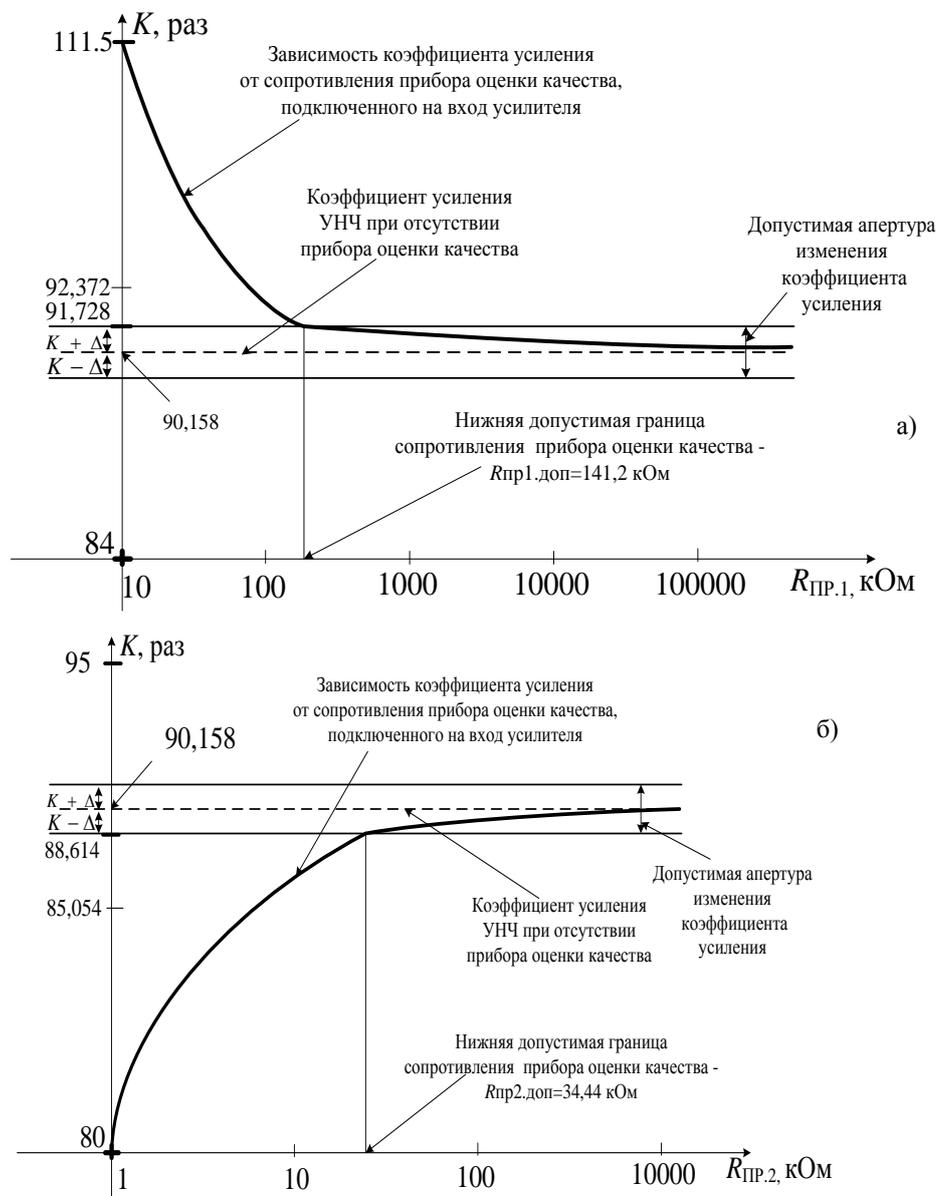


Рисунок 3 – Границы модулей комплексных импедансов:

а) при подключении на вход усилителя; б) при подключении на выход усилителя

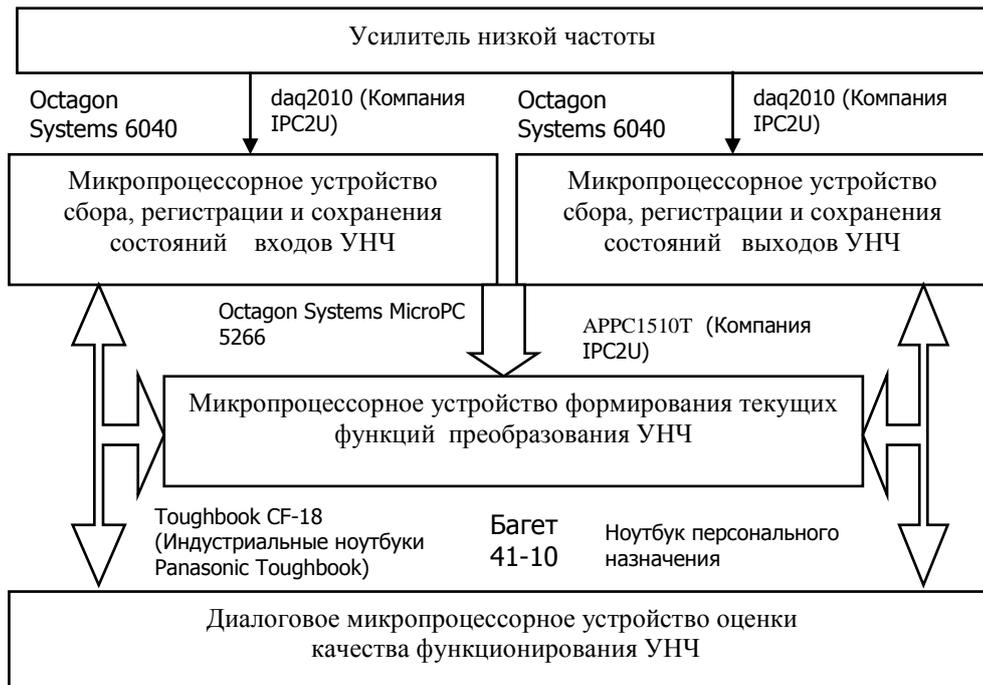


Рисунок 4 – Основные компоненты структуры устройства оценки качества

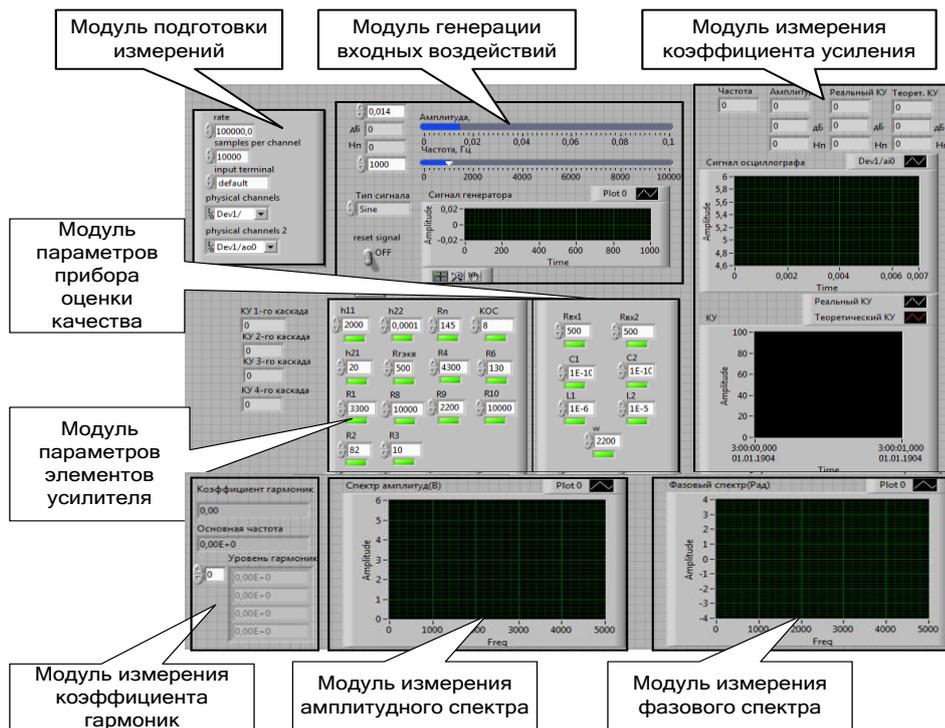


Рисунок 5 – Панель отображения функционала системы моделирования

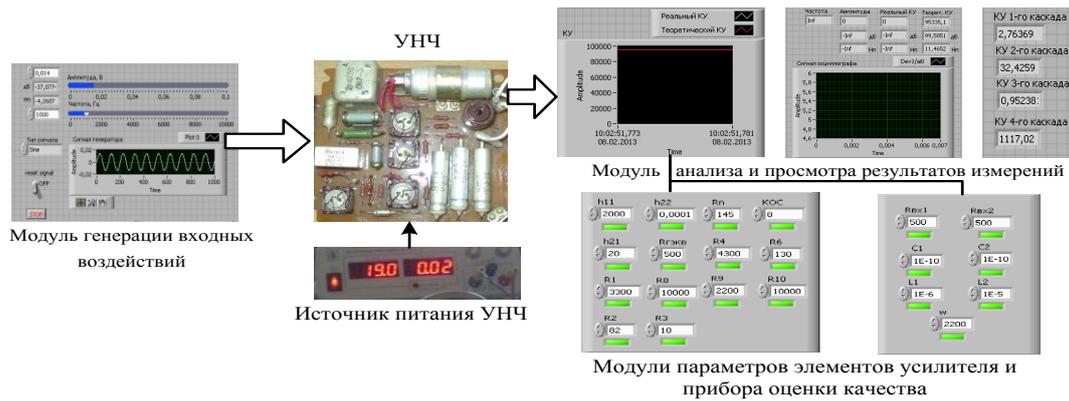


Рисунок 6 – Схема моделирования процесса оценки качества функционирования УНЧ

Приборы	Показатель	$T_1, c$
Осциллограф TektronixDPO-4034		30
Система моделирования процесса оценки качества функционирования УНЧ		0,09
Сокращение времени оценки процесса фиксирования отклонения от требуемого функционирования УНЧ более, чем в 300 раз		

Рисунок 7 – Результаты экспериментов по сокращению времени оценки процесса фиксирования отклонения от требуемого функционирования УНЧ

### ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

1. Предложена структура устройства оценки качества функционирования УНЧ, основанная на алгоритмическом методе обработки и цифровом представлении сигналов, отличающаяся оперативным приспособлением к структурным особенностям УНЧ.
2. Предложена методика оперативной оценки качества функционирования на базе разработанной математической модели усилителя низкой частоты, отличающаяся минимизацией времени оценки процесса фиксирования отклонения от требуемого функционирования УНЧ.
3. Предложена методика моделирования процесса функционирования усилителя низкой частоты на основе предложенной математической модели усилителя и предложенной методики оперативной оценки качества функционирования, отличающаяся совместным использованием аппаратных средств и программных функций системы моделирования.
4. Предложенные модели и технические решения позволили сократить время оценки процесса фиксирования отклонения от требуемого функционирования УНЧ в технологическом процессе мониторинга радиоэлектронной обстановки более чем на два порядка.
5. Осуществлена полная автоматизация оценки качества функционирования усилителей низкой частоты участка приёмных устройств технологического процесса мониторинга радиоэлектронной обстановки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рембовский А.М., Ашихмин А.В., Козьмин В.А. Радиомониторинг – задачи, методы, средства / под ред. А.М. Рембовского. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: Горячая линия – Телеком, 2010. – 624 с.: ил.
2. Патент 2360272 Российская Федерация, МПК G 05 В 17 00, G 06 Т 1 00. Система мониторинга оперативной обстановки в составе комплекса средств автоматизации автоматизированной системы управления радиоэлектронными средствами военных объектов / Ю.В. Бородакий, Ю.В. Журавлев, С.И. Шестаков, Е.Н. Комиссаров, А.П. Борзов. – № 2007143645/09; заявл. 28.11.2007.
3. ОАО НПО «Орион» [Электронный ресурс]. – URL: <http://oao-npo-orion.jimdo.com>.
4. Слободянюк П.В. Современные тенденции развития радиочастотного мониторинга [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.pandia.ru/text/77/140/18.php>.
5. Патент 2263406 Российская Федерация, МПК H 04L 5/22 A, H 04 J 3/06 B. Способ автоматизированного мониторинга систем радиосвязи / А.П. Гариленко, А.Ф. Гончаров, Р.В. Емельянов, Г.Н. Шаламов. – № 2003121665/09; заявл. 14.07.2003.
6. Патент 2350368 Российская Федерация, МПК А 62 В 99 00. Способ и комплекс средств обнаружения чрезвычайной ситуации и ликвидации ее последствий / А.В. Колдаев, Ю.И. Малов, А.М. Моржин, В.Д. Новиков, А.Н. Переяслов, С.П. Тодосейчук, М.И. Фалеев. – № 2005128131/12; заявл. 25.03.2004.
7. Patent US 7791537, IPC G01S5/02. Radio monitoring apparatus and method / Naoki Natsume. – № 20070229354; claimed 14.03.2007; published 07.09.2010.
8. Patent US 8310344 , IPC H04Q5/22. Wireless systems suitable for retail automation and promotion / Теодор Д. Гейсзлер, П.Г. Салдин, Eric W. Lofstad. – № 20100207740; claimed 19.02.2009; published 13.11. 2012.
9. Жигалов И.Е. Схемотехнический подход к моделированию электромеханических систем // Проектирование и технология электронных средств, 2013. – № 1. – С. 24-28.
10. Антипенский Р.В., Фадин А.Г. Схемотехническое проектирование и моделирование радиоэлектронных устройств. – М.: Техносфера, 2007. – 214 с.
11. Разевиг В.Д. Система сквозного проектирования электронных схем и печатных плат Design LAB 8.0. – М.: Солон-Р, 1999. – 704 с.
12. Амелина М.А. Программа схемотехнического моделирования Micro-Cap 8. – М.: Горячая линия-Телеком, 2007. – 464 с.
13. Ишков А.С. Основы компьютерного проектирования и моделирования радиоэлектронных средств. – Пенза: Изд-во ПГУ, 2010. – 62 с.
14. Осинцев О.Н. Аналоговые усилители: учебное пособие. – М.: МИРЭА, 2009. – 215 с.: ил.
15. Завьялов С.А., Мурашов К.В. Схемотехника усилителей мощности низких частот: учебное пособие / под ред. С.А. Завьялова. – Омск: Издательство ОмГТУ, 2010. – 93 с.: ил.
16. Соловьев А.М. Математическая модель структурного контроля аппаратуры каналаобразования // Информационные системы и технологии, 2012. – № 5(73). – С. 35-41.
17. Соловьев А.М. Моделирование структурного контроля усилителя переменного тока // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии, 2013. – № 3(299). – С. 145-150.
18. Соловьев А.М. Математическая модель структурного контроля усилителя низкой частоты // Контроль, диагностика, 2014. – № 2. – С. 52-58.
19. Раков В.И. О структурном контроле технических средств управления // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика, 2005. – № 12. – С. 40-47.
20. Раков В.И., Соловьев А.М. Актуальность структурного контроля аппаратуры каналаобразования // Проблемы автоматизации и управления в технических системах: материалы Международной научно-технической конференции, 19-22 апреля 2011 г. – Пенза: Изд-во ПГУ, 2011. – Т. 2. – С. 116-126.

21. Раков В.И., Соловьев А.М. Методика моделирования и оперативной оценки качества функционирования усилителей низкой частоты в технологическом процессе мониторинга радиоэлектронной обстановки // Современные проблемы науки и образования, 2013. – № 6 [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.science-education.ru/113-11787>.
22. Соловьев А.М. Моделирование структурного контроля усилителя // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2013618549, 2013.
23. Соловьев А.М. Моделирование процесса оценки качества функционирования усилителей низкой частоты в технологическом процессе мониторинга радиоэлектронной обстановки / Соловьев А.М., Захарова О.В., Мельник А.В., Раков В.И. // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2014615093, 2014.

**Раков Владимир Иванович**

ФГБОУ ВПО «Госунiversитет – УНПК», г. Орел  
Доктор технических наук, профессор  
Тел.: 8 906 569 20 20 (кафедра), 8 961 624 46 10  
E-mail: rakov2010vi@mail.ru

**Соловьёв Александр Михайлович**

ФГБОУ ВПО «Госунiversитет – УНПК», г. Орел  
Соискатель кафедры «Информационные системы»  
Тел.: 8 906 569 20 20 (кафедра)  
E-mail: solowjevam@mail.ru

---

V.I. RAKOV (*Doctor of Engineering Science, Professor*)

A.M. SOLOV'YO V (*Applicant of the Department «Information systems»  
State University – ESPC, Orel*)

**ABOUT RESULTS OF RESEARCH OF PROCESS OF THE ASSESSMENT  
OF QUALITY FUNCTIONING OF AMPLIFIERS OF LOW FREQUENCY**

*In the article the receiver sector automation results of technological process of the radio-electronic situation monitoring are presented.*

**Keywords:** control; model; amplifier.

**BIBLIOGRAPHY (TRANSLITERATED)**

1. Rembovskij A.M., Ashixmin A.V., Koz'min V.A. Radiomonitoring – zadachi, metody, sredstva / pod red. A.M. Rembovskogo. – Izd. 2-e, pererab. i dop. – M.: Goryachaya liniya – Telekom, 2010. – 624 s.: il.
2. Patent 2360272 Rossijskaya Federaciya, MPK G 05 B 17 00, G 06 T 1 00. Sistema monitoringa operativnoj obstanovki v sostave kompleksa sredstv avtomatizacii avtomatizirovannoj sistemy' upravleniya radioe'lektronny'mi sredstvami voenny'x ob'ektov / Yu.V. Borodakij, Yu.V. Zhuravlyov, S.I. Shestakov, E.N. Komissarov, A.P. Borzov. – № 2007143645/09; zayavl. 28.11.2007.
3. ОАО НПО «Orion» [E'lektronny'j resurs]. – URL: <http://oao-npo-orion.jimdo.com>.
4. Slobodyanyuk P.V. Sovremenny'e tendencii razvitiya radiochastotnogo monitoringa [E'lektronny'j resurs]. – URL: <http://www.pandia.ru/text/77/140/18.php>.
5. Patent 2263406 Rossijskaya Federaciya, MPK H 04L 5/22 A, H 04 J 3/06 B. Sposob avtomatizirovannogo monitoringa sistem radiosvyazi / A.P. Garilenko, A.F. Goncharov, R.V. Emel'yanov, G.N. Shalamov. – № 2003121665/09; zayavl. 14.07.2003.
6. Patent 2350368 Rossijskaya Federaciya, MPK A 62 B 99 00. Sposob i kompleks sredstv obnaruzheniya chrezvy'chajnoj situacii i likvidacii ee posledstvij / A.V. Koldaev, Yu.I. Malov, A.M. Morzhin, V.D. Novikov, A.N. Pereyaslov, S.P. Todosejchuk, M.I. Faleev. – № 2005128131/12; zayavl. 25.03.2004.
7. Patent US 7791537, IPC G01S5/02. Radio monitoring apparatus and method / Naoki Natsume. – № 20070229354; claimed 14.03.2007; published 07.09.2010.

8. Patent US 8310344 , IPC H04Q5/22. Wireless systems suitable for retail automation and pro-motion / Teodor D. Gejszler, P.G. Saldin, Eric W. Lofstad. – № 20100207740; claimed 19.02.2009; published 13.11. 2012.
9. Zhigalov I.E. Sxemotexnicheskij podxod k modelirovaniyu e'lektromexanicheskix sistem // Proektirovanie i texnologiya e'lektronny'x sredstv, 2013. – № 1. – S. 24-28.
10. Antipenskiy R.V., Fadin A.G. Sxemotexnicheskoe proektirovanie i modelirovanie radioe'lektronny'x ustrojstv. – M.: Texnosfera, 2007. – 214 s.
11. Razevig V.D. Sistema skvoznoho proektirovaniya e'lektronny'x sxem i pechatny'x plat De-sign LAB 8.0. – M.: Solon-R, 1999. – 704 s.
12. Amelina M.A. Programma sxemotexnicheskogo modelirovaniya Micro-Cap 8. – M.: Goryachaya liniya-Telekom, 2007. – 464 s.
13. Ishkov A.S. Osnovy' komp'yuternogo proektirovaniya i modelirovaniya radioe'lektronny'x sredstv. – Penza: Izd-vo PGU, 2010. – 62 s.
14. Osincev O.N. Analogovy'e usiliteli: uchebnoe posobie. – M.: MIRE'A, 2009. – 215 s.: il.
15. Zav'yalov S.A., Murasov K.V. Sxemotexnika usilitelej moshhnosti nizkix chastot: uchebnoe posobie / pod red. S.A. Zav'yalova. – Omsk: Izdatel'stvo OmGTU, 2010. – 93 s.: il.
16. Solov'yov A.M. Matematicheskaya model' strukturnogo kontrolya apparatury' kanaloobrazovaniya // Informacionny'e sistemy' i texnologii, 2012. – № 5(73). – S. 35-41.
17. Solov'yov A.M. Modelirovanie strukturnogo kontrolya usilitelya peremennogo toka // Fundamental'ny'e i prikladny'e problemy' tekhniki i texnologii, 2013. – № 3(299). – S. 145-150.
18. Solov'yov A.M. Matematicheskaya model' strukturnogo kontrolya usilitelya nizkoj chastoty' // Kontrol', diagnostika, 2014. – № 2. – S. 52-58.
19. Rakov V.I. O strukturnom kontrole texnicheskix sredstv upravleniya // Pribory' i sistemy'. Upravlenie, kontrol', diagnostika, 2005. – № 12. – S. 40-47.
20. Rakov V.I., Solov'yov A.M. Aktual'nost' strukturnogo kontrolya apparatury' kanaloobrazovaniya // Problemy' avtomatizacii i upravleniya v texnicheskix sistemax: materialy' Mezhdunarodnoj nauchno-texnicheskoy konferencii, 19-22 aprelya 2011 g. – Penza: Izd-vo PGU, 2011. – T. 2. – S. 116-126.
21. Rakov V.I., Solov'yov A.M. Metodika modelirovaniya i operativnoj ocenki kachestva funkcionirovaniya usilitelej nizkoj chastoty' v texnologicheskom processe monitoringa radioe'lektronnoj obstanovki // Sovremenny'e problemy' nauki i obrazovaniya, 2013. – № 6 [E'lektronnyj resurs]. – URL: <http://www.science-education.ru/113-11787>.
22. Solov'yov A.M. Modelirovanie strukturnogo kontrolya usilitelya // Svidetel'stvo o gosudarstvennoj registracii programmy' dlya E'VM № 2013618549, 2013.
23. Solov'yov A.M. Modelirovanie processa ocenki kachestva funkcionirovaniya usilitelej nizkoj chastoty' v texnologicheskom processe monitoringa radioe'lektronnoj obstanovki / Solov'yov A.M., Zaxarova O.V., Mel'nik A.V., Rakov V.I. // Svidetel'stvo o gosudarstvennoj registracii programmy' dlya E'VM № 2014615093, 2014.

УДК 681.31

В.В. ВЛАСОВ, А.Н. ЗБИНЯКОВ

**МОДЕЛЬ КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ СЕТИ ETHERNET**

*В данной статье предложен подход к построению модели контроля технического состояния сетей Ethernet, который позволяет выбирать соответствующие методы контроля и диагностирования элементов сетей, необходимые их параметры и точки контроля.*

**Ключевые слова:** сети Ethernet; контроль; техническое состояние; модель; параметр; коэффициент готовности; распознавание образов.

Достижение высоких социальных и экономических результатов, повышение роли России в мировой экономической системе в значительной степени зависят от масштабов и темпов информатизации общества и эффективности использования современных телекоммуникационных сетей (ТКС). Активное развитие в ТКС получила технология Ethernet, которая вносит революционные изменения в характер поведения сетей и систем. В условиях повышения требований к современным сетям Ethernet актуальной является задача повышения их коэффициента готовности.

Известно, что коэффициент готовности может быть определен соотношением [1]:

$$K_G = \frac{\bar{T}}{T + T_B}, \quad (1)$$

где  $\bar{T}$  – среднее время полезного функционирования сети, т.е. время, в течение которого она выполняет или может (готова) выполнить целевую задачу;  $\bar{T}_B$  – среднее время, в течение которого сеть работоспособна и находится в состоянии восстановления.

Таким образом, для повышения коэффициента готовности сети Ethernet необходимо увеличивать среднее время полезного функционирования сети и сокращать время нахождения ее в состоянии отказа.

Для решения указанной проблемы выделяют два направления:

- 1) повышение коэффициента готовности элементов сети Ethernet;
- 2) использование организационно-технических методов.

Первое направление включает в себя следующие подходы [2]:

- 1) упрощение системы;
- 2) создание схем с ограниченными последствиями отказов элементов;
- 3) выбор наиболее надежного элемента;
- 4) облегчение режимов работы элементов;
- 5) стандартизация и унификация элементов и узлов;
- 6) резервирование;
- 7) автоматизация проверок;
- 8) встроенный контроль и диагностика.

Второе направление включает в себя следующие подходы [2]:

- 1) мероприятия по соблюдению правил и режимов эксплуатации;
- 2) мероприятия по восстановлению работоспособного состояния.

К первой группе мероприятий относятся: соблюдение требований эксплуатационной документации; диагностический контроль параметров элементов сети; обучение

обслуживающего персонала; проведение работ при техническом обслуживании; наличие запасных частей; проведение авторского надзора и т.п.

К основным мероприятиям второй группы относятся: корректирование системы технического обслуживания; периодический контроль технического состояния элементов сети; внедрение современной технологии ремонта; анализ причин отказов и организация взаимодействия с разработчиками и изготовителями изделий.

Таким образом, проанализировав перечисленные подходы, можно сделать вывод, что одним из главных направлений по повышению коэффициента готовности сети Ethernet является использование современных достижений в области контроля и диагностики ее элементов. Одной из проблем, которые затрудняют процесс контроля технического состояния и диагностирования сети Ethernet, является создание ее модели контроля. Для того, чтобы локализовать место отказа в сети, необходимо обеспечить связь между процедурой контроля и моделью сети. Эта связь должна обеспечивать прямую наблюдаемость точек контроля, а также показывать влияние неисправностей на каждую точку контроля и на параметр, снимаемый с этой точки. Для достижения этих целей осуществляется построение модели контроля сети. На рисунке 1 показан анализ часто встречающихся моделей контроля [3, 4].

Учитывая результаты проведенного анализа, можно сделать вывод, что для построения модели контроля сети Ethernet из выше названных в чистом виде ни одна не пригодна.

Таким образом, необходимо разработать модель, которая удовлетворяла бы указанным требованиям, учитывала бы сложность сети Ethernet и множество параметров контроля. Решение данного вопроса позволяет выбрать соответствующие методы и средства диагностирования.

Известно, что если в ходе контроля системой управления сети Ethernet будет обнаружена неисправность какого-то элемента, то будет произведена реконфигурация сети, неисправный элемент выведется из режима функционирования в ней для повторного контроля и диагностирования.

Для сети Ethernet построение модели контроля технического состояния является трудновыполнимой задачей, так как необходимо осуществить сопряжение различных математических моделей между собой, в результате этого обобщенная модель оказывается малоприменимой для контроля. Следовательно, необходимо разработать модели контроля, которые позволяли бы рассматривать все элементы сети на основе единого методологического подхода. Для построения модели контроля технического состояния сети Ethernet предлагается использовать агрегированные модели, которые получают на основе теории распознавания образов. Согласно данному подходу, сигналы на выходе элементов сети Ethernet изменяются только в определенные моменты времени, когда изменяется поведение элемента сети. События, возникающие между этими определенными моментами, не будут учитываться, так как они не важны при контроле состояния элемента.

В модели исключаются из рассмотрения различия между отдельными состояниями элемента в пределах одного временного интервала, задаваемого определенными моментами, а учитываются лишь различия между техническими состояниями разных интервалов. Это позволяет реализовать идею агрегирования состояний моделируемой сети, используемой при построении формализованных описаний.



Рисунок 1 – Классификация моделей контроля цифровых систем

В результате мы имеем возможность объединения ряда состояний элемента сети Ethernet, обладающих общими свойствами, путем разбиения по заданным правилам всего множества состояний контролируемого элемента на несколько подмножеств, число которых определяется количеством  $E$  технических состояний. Проанализировав состояния, входящие в определенное подмножество, можно сформировать агрегированное техническое состояние, которое объединяет свойства всех состояний данного подмножества. Эти агрегированные состояния определяют эталон для распознавания реальных состояний объектов сети Ethernet в процессе их контроля, когда наблюдаемое реальное состояние идентифицируется с одним из определенных технических состояний.

Решение задачи определения технического состояния элемента сети Ethernet заключается не в определении конкретного его состояния, а в выделении некоторого заданного класса, в который данное состояние входит.

Заданные агрегированные состояния включают в себя обобщенные признаки, характеризующие работоспособность элемента в определенные моменты времени; при проверке правильности его функционирования они указывают на отказавшие элементы сети Ethernet.

В результате агрегированная модель контроля технического состояния сети Ethernet будут иметь вид:

$$K = \langle M, Y_M, R_M, E, P_M, \Sigma, T, S \rangle, \quad (2)$$

где  $\{M\}$  – множество контролируемых объектов;  $\{Y_M\}$  – множество параметров контроля и допусков на них;  $\{R_M\}$  – множество методик контроля и измерения в сети Ethernet;  $\Sigma = \{e_{ij} | i = 1, n; j = 1, m\}$  – множество признаков  $e_{ij}$  всех технических состояний сети  $E$ ;  $P_M$  – множество проверок на сети;  $S$  – оператор, устанавливающий связь между множеством технических состояний сети, множеством проверок, множеством моментов их выполнения (опорных моментов  $t_i \in T^*$ ) и множеством ожидаемых исходов проверок.

На сети Ethernet, согласно стандарту RFC 2544, проводятся следующие измерения параметров [5]:

- 1) измерение потери кадров;
- 2) измерение задержки;
- 3) измерение неравномерной передачи данных;
- 4) измерение пропускной способности.

### **ИЗМЕРЕНИЕ ПОТЕРИ КАДРОВ**

Измерение потери кадров особенно необходимо для сетей, которые поддерживают приложения, работающие в реальном времени. Цель измерения – определение максимальной скорости линии, на которой не происходит потеря кадров.

Порядок измерения:

- устанавливается максимальная скорость тестирования;
- проверяется, есть ли потеря кадров;
- в случае возникновения потерь измеренные значения фиксируются;
- тест проводится повторно, но с уменьшенной скоростью передачи, и так до тех пор, пока не будут зафиксированы потери кадров.

**ИЗМЕРЕНИЕ ЗАДЕРЖКИ**

Цель измерения – определение времени прохождения кадра по сети от исходного элемента до входящего. Большие задержки кадров приводят к проблемам функционирования серверов реального времени.

**ИЗМЕРЕНИЕ НЕРАВНОМЕРНОЙ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ**

Цель измерения – определить максимальное количество кадров, прошедших через сеть до момента наступления потери кадров.

**ИЗМЕРЕНИЕ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ**

Цель измерения – определение максимальной скорости коммутации сетевых элементов. Измерения проводятся в течение времени не менее одной минуты отдельно для каждого размера кадра. Тестирование проводится отдельно для каждого кадра в течение времени не менее одной минуты. Данное измерение позволяет определить доступную полосу пропускания Ethernet-соединения.

**ИЗМЕРЕНИЕ ПАКЕТНОГО ДЖИТТЕРА**

Данный параметр не включен в рекомендацию RFC 2544. Данный параметр важен, так как большие значения джиттера вызывают проблемы в работе приложений реального времени. Именно эти отклонения в интервалах прибытия пакетов называются джиттером пакетов.

Измерение пакетного джиттера выполняется на максимальной скорости передачи, так как именно в этом случае возникают максимальные отклонения.

**ИЗМЕРЕНИЕ ОШИБОК (BER)**

Другим, не менее важным для гибридных сетей, включающих традиционные сегменты и сегменты NGN, является измерение ошибок (BER). Для измерения ошибок в сети Ethernet используется метод измерений, основанный на данных о количестве переданных, утерянных пакетов и искаженных бит в полученных пакетах.

Общая ошибка при утере  $(n)k$  пакетов из общего количества  $(N)K$  переданных размером в  $(m)n$  байт определяется выражением:

$$\frac{n}{N \cdot m \cdot 8} \cdot \left( 1 + \sum_{l=2}^{m \cdot 8} \frac{m \cdot 8 \cdot (m \cdot 8 - 1) \cdot \dots \cdot (m \cdot 8 - l + 1)}{N \cdot m \cdot 8 \cdot (N \cdot m \cdot 8 - 1) \cdot \dots \cdot (N \cdot m \cdot 8 - l + 1)} \right), \quad (3)$$

где вероятность искажения –  $l$  бит в одном кадре.

Ошибка, вносимая искажением одного бита, очевидно, определяется как величина, обратная общему количеству переданных бит.

В результате, зная число переданных пакетов, искаженных бит в них и количество утраченных пакетов, нетрудно определить ошибку канала связи как сумму ошибок, вносимых потерей пакетов и их искажением.

Все перечисленные шесть параметров входят в модель контроля сети Ethernet в качестве  $\{Y_M\}$  – множества параметров контроля и допусков на них.

Таким образом, полученная математическая модель контроля сети Ethernet в виде карты (2) позволяет выбрать соответствующие методы контроля сети, точки контроля и контролируемые параметры.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Надежность и эффективность в технике: справочник / ред. совет: В.С. Авдеевский и др. – М.: Машиностроение, 1988. – Т. 5.: Проектный анализ надежности. – 316 с.
2. Калявин В.П., Мозгалеvский А.В., Галка В.Л. Надежность и техническая диагностика судового электрооборудования и автоматика: учебник. – СПб.: Элмор, 1996. – 296 с.
3. Курносое В.И., Лихачев А.М. Методология проектных исследований и управление качеством сложных технических систем электросвязи. – СПб.: ТИРЕКС, 1998. – 496 с.
4. Ксенз С.П. Основы технической диагностики средств и комплексов связи и автоматизации управления. – Л.: ВАС, 1989. – 181 с.
5. RFC2544 Benchmarking Methodology for Network Interconnect Devices [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.faqs.org/rfcs/rfc2544.html>.

### **Власов Владимир Викторович**

Академия ФСО России, г. Орел  
Курсант  
Тел.: 8 953 478 38 26

### **Збиняков Александр Николаевич**

Академия ФСО России, г. Орел  
Кандидат технических наук, доцент  
Тел.: 8 920 285 33 97

---

V.V. VLASOV (*Cadet*)

A.N. ZBINYAKOV (*Candidate of Engineering Science, Associate Professor*)  
*Academy of Federal Agency of Protection of the Russian Federation, Orel*

## CONTROL MODEL OF NETWORK ETHERNET PARAMETERS

*This article offers the method of construction the model of control technical condition of Ethernet networks. This approach allows choosing corresponding methods of control and making diagnose the elements of network, them parameters and points of control.*

**Keywords:** *Ethernet networks; control; condition; model; parameter; availability factor; pattern recognition.*

## BIBLIOGRAPHY (TRANSLITERATED)

1. Nadyozhnost' i e'ffektivnost' v tekhnike: spravochnik / red. sovet: V.S. Avduevskij i dr. – M.: Mashinostroenie, 1988. – T. 5.: Proektny'j analiz nadyozhnosti. – 316 s.
2. Kalyavin V.P., Mozgalevskij A.V., Galka V.L. Nadyozhnost' i texnicheskaya diagnostika sudovogo e'lektrooborudovaniya i avtomatika: uchebnik. – SPb.: E'lmor, 1996. – 296 s.
3. Kurnosov V.I., Lixachyov A.M. Metodologiya proektny'x issledovaniy i upravlenie kachestvom slozhny'x texnicheskix sistem e'lektrosvyazi. – SPb.: TIREKS, 1998. – 496 s.
4. Ksenz S.P. Osnovy' texnicheskoj diagnostiki sredstv i kompleksov svyazi i avtomatizacii upravleniya. – L.: VAS, 1989. – 181 s.
5. RFC2544 Benchmarking Methodology for Network Interconnect Devices [E'lektronny'j resurs]. – URL: <http://www.faqs.org/rfcs/rfc2544.html>.

УДК 621.394.142

О.В. МОИСЕЕВ, А.В. ЯКОВЛЕВ

## АНАЛИЗ ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ КАНАЛОВ В СИСТЕМАХ ЦИФРОВОЙ РАДИОСВЯЗИ

*В работе произведен анализ потенциальной помехоустойчивости при применении ансамблей сигналов в системах цифровой радиосвязи ДКМВ диапазона. При работе земной волной ДКМВ канал радиосвязи можно рассматривать как канал с постоянными параметрами, а при работе ионосферной волной – как канал с переменными параметрами и известными функциями рассеивания по частоте и времени. Полученные данные позволяют выработать технические решения в вопросе выбора рациональных способов модуляции и кодирования на основе обмена одних параметров кодирования на другие.*

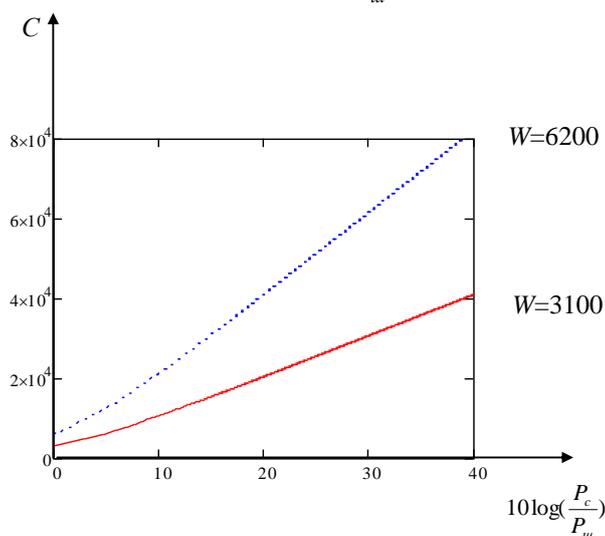
**Ключевые слова:** анализ; помехоустойчивость; модуляция; канал; кодирование.

Основное отличие при работе земной и ионосферной волнами заключается в зависимости статистических характеристик канала связи от времени и наличия замираний. При работе земной волной канал связи можно рассматривать как канал с постоянными параметрами. При работе же ионосферной волной энергия принятого сигнала изменяется во времени, а также происходит дисперсионное изменение принятого сигнала во времени. Поэтому такой канал связи необходимо рассматривать как канал с переменными параметрами [4].

Здесь будем определять потенциальные характеристики помехоустойчивости ДКМВ цифровых каналов связи как минимум вероятности ошибки, который может быть достигнут на множестве всех возможных правил кодирования, модуляции, демодуляции и декодирования. При этом будут соблюдаться ограничения на мощность сигнала, мощность шума на входе приемника, используемую ширину полосы частот, величину задержки двоичного цифрового сигнала источника и характеристики диспергирующего канала с замираниями. Согласно теореме Шеннона, для канала связи [3] его пропускная способность определяется мощностями сигнала, шума и шириной используемой полосы частот. Тогда достигается нулевая вероятность ошибки путем кодирования последовательности символов источника бесконечной длины. Очевидно, что задержка последовательности символов источника будет стремиться к бесконечности ( $T \rightarrow \infty$ ). Такие условия практически неприменимы. Поэтому при конечной задержке ( $T < \infty$ ) вероятность ошибки в последовательности символов источника будет отлична от нуля. Отметим, что вероятность ошибки будет отлична от нуля и в том случае, когда задержка последовательности символов источника бесконечна и при этом не выполняются условия теоремы Шеннона для канала связи с шумами (производительность источника сообщений больше его пропускной способности). С точки зрения величины вероятности ошибки наихудшими условиями будут условия, когда и задержка конечна, и скорость больше пропускной способности. Определим потенциальные характеристики помехоустойчивости при работе земной волной для случаев неограниченной и ограниченной полосы пропускания канала в зависимости от величины задержки кодирования и заданной ширины полосы пропускания канала.

П. 1. На рисунке 1 представлены зависимости пропускной способности непрерывного канала связи от величины отношения сигнал/шум ( $P_c / P_u$ ) при различных значениях ширины полосы частот и бесконечной задержке, которые рассчитаны по известной формуле Шеннона:

$$C = W \log\left(1 + \frac{P_c}{P_u}\right).$$



**Рисунок 1 – Зависимости пропускной способности непрерывного канала связи от величины отношения сигнал/шум при различных значениях ширины полосы частот и бесконечной задержке**

В случае неограниченной полосы величина пропускной способности определяется так:

$$C_\infty = (P_c / N_0) \cdot \log(e),$$

где  $N_0$  – спектральная плотность мощности шума;  $W$  – ширина полосы частот канала связи.

П. 2. Теперь исследуем зависимость вероятности ошибки  $m$ -ого символа  $P_{e,m}$  от величины времени задержки кодирования в условиях неограниченной полосы при заданной мощности сигнала  $P_c$  ( $P_c=20$ [дБ]), спектральной плотности мощности шума  $N_0$  ( $N_0=1/3100$ [Вт/Гц]) и  $W = 3100$ ,  $P_u = 10 \lg(N_0 \cdot W) = 0$ [дБ],  $C_\infty = (P_c / N_0) \log(e) = 447,2$ [кбит/с].

Известны верхние и нижние границы для вероятности ошибок, опубликованные в [5].

Для верхних границ при  $C_\infty / 4 < R < C_\infty$ :

$$P_{e,m} \leq \frac{\exp\left[-T \cdot (\sqrt{C_\infty} - \sqrt{R})^2\right]}{\sqrt{4 \cdot \pi \cdot T}} \cdot \left[ \frac{1}{\sqrt{C_\infty} - \sqrt{R}} + \frac{1}{\sqrt{4 \cdot \pi \cdot T \cdot R} \cdot (2 \cdot \sqrt{R} - \sqrt{C_\infty})} \right]. \quad (1)$$

При  $R \leq C_\infty / 4$  используем:

$$P_{e,m} \leq \frac{\exp\left[-T \cdot \left(\frac{\sqrt{C_\infty}}{2} - R\right)^2\right]}{\sqrt{2 \cdot \pi \cdot T \cdot C_\infty}}. \quad (2)$$

Для нижних границ при  $C_\infty / 4 < R < C_\infty$ :

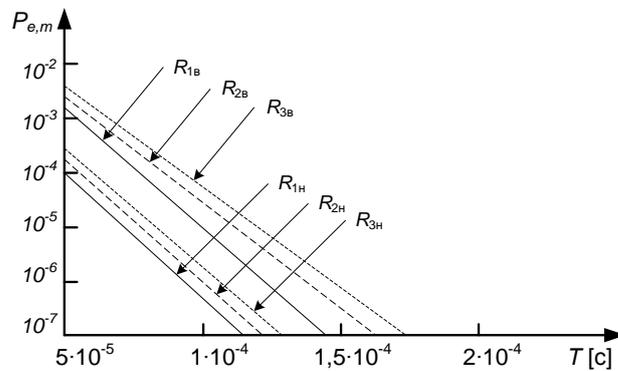
$$P_{e,m} \geq \left(1 - \frac{1}{M}\right) \cdot \left(1 - \frac{1}{\sqrt{4 \cdot \pi \cdot T \cdot R}}\right) \cdot \left(1 - \frac{1}{2 \cdot R \cdot T}\right) \cdot \left[1 - \frac{1}{2 \cdot T \cdot (\sqrt{C_\infty} - \sqrt{R})^2}\right] \exp\left[-T \cdot (\sqrt{C_\infty} - \sqrt{R})^2\right] \frac{\exp\left[-T \cdot (\sqrt{C_\infty} - \sqrt{R})^2\right]}{4 \cdot \pi \cdot T \cdot [\sqrt{R \cdot C_\infty} - R]}; \quad (3)$$

При  $R \leq C_\infty / 4$  для нижних границ используем:

$$P_{e,m} \geq \left(1 - \frac{1}{M}\right) \cdot \left(1 - \frac{1}{2\sqrt{\pi \cdot T \cdot C_\infty}}\right) \cdot \left(1 - \frac{2}{T \cdot C_\infty}\right)^2 \cdot \frac{\exp\left[-T \cdot \left(\frac{\sqrt{C_\infty}}{2} - R\right)^2\right]}{\pi \cdot C_\infty \cdot T}; \quad (4)$$

Расчеты по формулам (1-4) произведены и представлены в виде семейства для  $R$  зависимостей от  $T$  на рисунках 2-3:

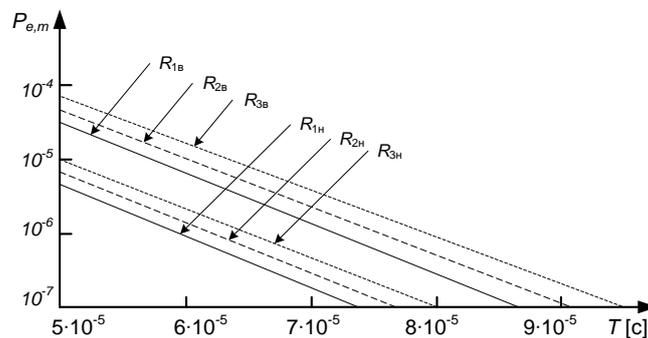
Для  $C_\infty / 4 < R < C_\infty$ :



$R_1 = 190$  кбит/с;  $R_2 = 200$  кбит/с;  $R_3 = 210$  кбит/с.

Рисунок 2 – Зависимость вероятности ошибки  $m$ -ого символа от величины времени задержки кодирования

Для  $R \leq C_\infty / 4$ :



$R_1 = 100$  кбит/с;  $R_2 = 110$  кбит/с;  $R_3 = 120$  кбит/с.

Рисунок 3 – Зависимость вероятности ошибки  $m$ -ого символа от величины времени задержки кодирования

П. 3. Далее построим зависимости вероятности ошибки  $m$ -ого символа  $P_{e,m}$  от величины времени задержки кодирования для канала связи (рис. 4) в условиях ограниченной полосы  $W = 3100$  при заданной мощности сигнала  $P_c$  ( $P_c=20$  [дБ]), спектральной плотности мощности шума  $N_0$  ( $N_0=0$  [дБ]) и комплексной передаточной функцией канала связи  $H_1(f)$ .

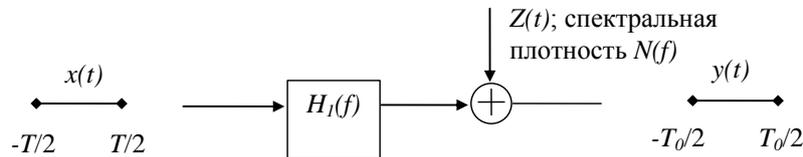


Рисунок 4 – Представление канала с аддитивным гауссовым шумом и сигналами на входе, ограниченными по мощности и по частоте

В этих условиях известны другие верхние и нижние границы для вероятности ошибок, также опубликованные в [5] и сформулированные в виде теоремы.

**Теорема.** Предположим, что для канала, изображенного на рисунке 4 с  $T_0 = T$ , функция  $|H_1(f)|^2 N(f)$  ограничена и интегрируема и что или  $\int N(f)df < \infty$ , или  $N(f)$  – плотность белого шума. Тогда для любого  $B>0$ , любого  $\rho$ ,  $0 \leq \rho \leq 1$ , и любого произвольно малого  $\varepsilon > 0$  найдется такое  $T_1(\varepsilon, B, \rho)$ , что для любого  $T \geq T_1(\varepsilon, B, \rho)$  существует код с  $M = \exp[T \cdot \tilde{R}_\infty(B, \rho)]$  кодовыми словами, каждое из которых ограничено во времени интервалом  $(-T/2, T/2)$ , имеет энергию, не большую  $T\tilde{S}_\infty(B, \rho)$ , и вероятность ошибки, удовлетворяющую неравенству

$$P_{e,m} \leq \exp\{-T[\tilde{E}_\infty(B, \rho) - \varepsilon]\}. \quad (5)$$

Для фиксированного  $S = \tilde{S}_\infty(B, \rho)$  функция  $\tilde{R}_\infty(B)$  строго и непрерывно убывает от  $C$  до  $R_{cr}$  при возрастании  $\rho$  от 0 до 1 и  $\tilde{E}_\infty(B, \rho)$  строго и непрерывно возрастает при возрастании  $\rho$  от 0 до 1 (т.е.  $\tilde{E}_\infty(B, \rho) > 0$  для всех  $\tilde{R}_\infty(B, \rho) < C$ ). При фиксированном  $S$  и  $T \geq T_1(\varepsilon, B_{cr}, 1)$  и любой  $R \leq R_{cr}$  существует код с  $M = \exp(TR)$  кодовыми словами, каждое из которых ограничено во времени интервалом  $(-T/2, T/2)$ , имеет энергию, не большую  $TS$ , и вероятность ошибки, удовлетворяющую неравенству

$$P_{e,m} \leq \exp\{-T[\tilde{E}_\infty(B_{cr}, 1) + R_{cr} - R - \varepsilon]\}. \quad (6)$$

Наконец, для любого  $B > 0$ , любого  $\rho > 1$  и любого  $\varepsilon > 0$  найдется такое  $T_1(\varepsilon, B, \rho)$ , что для  $T \geq T_1(\varepsilon, B, \rho)$  существует код с  $M = \exp[T\tilde{R}_{x,\infty}(B, \rho)]$  кодовыми словами, каждое из которых ограничено во времени интервалом  $(-T/2, T/2)$ , имеет энергию, не большую  $T\tilde{S}_{x,\infty}(B, \rho)$ , и вероятность ошибки, удовлетворяющую неравенству

$$P_{e,m} \leq \exp\{-T[\tilde{E}_{x,\infty}(B, \rho) - \varepsilon]\}. \quad (7)$$

При фиксированном  $S = \tilde{S}_{x,\infty}(B, \rho)$  значение  $\tilde{R}_{x,\infty}(B, \rho)$  убывает от  $R_{x,cr}$  до 0 с возрастанием  $\rho$ , а  $\tilde{E}_{x,\infty}(B, \rho)$  возрастает с возрастанием  $\rho$ . Для фиксированного  $S$  показатель экспоненты как функция скорости, определяемая этими тремя границами (вторая граница применяется для скоростей  $R_{x,cr} < R < R_{cr}$ ), непрерывен и имеет непрерывные производные. Граница (1) используется при скоростях передачи  $R_{cr} < R < C$ . Граница (2) – при  $R_{x,cr} < R < R_{cr}$ . Граница (3) – при  $0 < R < R_{x,cr}$ .

В этой теореме для определения границ скоростей передачи и показателей экспонент для границ (1)-(3) рассчитываются следующие величины:

Для границы (1):

$$\tilde{S}_{\infty}(B, \rho) = \int_{f: \frac{|H_1(f)|^2}{N(f)} \geq \frac{1}{B}} \frac{(1 + \rho)^2 \cdot [B \cdot |H_1(f)|^2 - N(f)] \cdot B}{(1 + \rho) \cdot B \cdot |H_1(f)|^2 - \rho \cdot N(f)} df; \quad (8)$$

$$\tilde{R}_{\infty}(B, \rho) = \int_{f: \frac{|H_1(f)|^2}{N(f)} \geq \frac{1}{B}} \frac{1}{2} \ln \left[ B \frac{|H_1(f)|^2}{N(f)} \right] df; \quad (9)$$

$$\tilde{E}_{\infty}(B, \rho) = \frac{\rho \cdot \tilde{S}_{\infty}(B, \rho)}{2B(1 + \rho)} - \int_{f: \frac{|H_1(f)|^2}{N(f)} \geq \frac{1}{B}} \frac{1}{2} \ln \left[ 1 + \rho - \frac{\rho \cdot N(f)}{B \cdot |H_1(f)|^2} \right] df, \quad (10)$$

где  $|H_1(f)|^2$  – квадрат модуля передаточной функции ограниченного по полосе частот канала;  $N(f)$  – спектральная плотность мощности шума;

Анализ будем производить для некоторых идеализированных условий [2], когда обе зависимости  $|H_1(f)|^2$  и  $N(f)$  инвариантны по частоте (рис. 5).

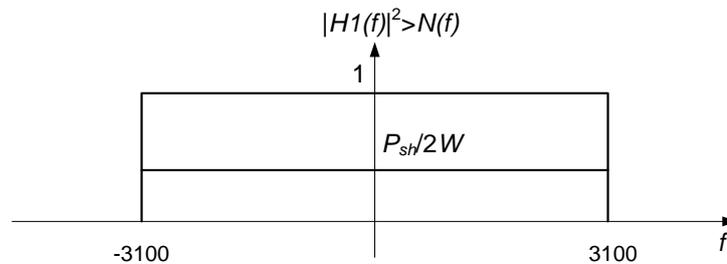


Рисунок 5 – Зависимости  $|H_1(f)|^2$  и  $N(f)$  от частоты  $f$

$B$  – некоторый параметр, определяющий заданную мощность сигнала  $\tilde{S}_{\infty}(B, \rho)$  при известных  $\rho$ ,  $|H_1(f)|^2$  и  $N(f)$ ;  $\rho$  – некоторый параметр, определяющий скорость передачи и экспоненту вероятности ошибки  $P_{e,m}$  как функцию  $B$ .

$\tilde{E}_{\infty}(B, \rho)$  – показатель экспоненты  $P_{e,m}$  для границы (1).

$$R_{cr} = \tilde{R}_{\infty}(B_{cr}) = \int_{f: \frac{|H_1(f)|^2}{N(f)} \geq \frac{1}{B_{cr}}} \frac{1}{2} \ln \left[ B_{cr} \frac{|H_1(f)|^2}{N(f)} \right] df; \quad (11)$$

$B_{cr}$  при заданной мощности сигнала на входе  $\tilde{S}_{\infty}(B_{cr}, 1)$  неявно определяется уравнением:

$$\tilde{S}_{\infty}(B_{cr}, 1) = \int_{f: \frac{|H_1(f)|^2}{N(f)} \geq \frac{1}{B_{cr}}} \frac{4B_{cr} \cdot [B_{cr} \cdot |H_1(f)|^2 - N(f)]}{2B_{cr} \cdot |H_1(f)|^2 - N(f)} df; \quad (12)$$

Для границы (2):

$$R_{x,cr} = \int_{f: \frac{|H_1(f)|^2}{N(f)} \geq \frac{1}{B_{cr}}} \frac{1}{2} \ln \frac{B_{cr}^2 \cdot |H_1(f)|^4 / N(f)}{2B_{cr} |H_1(f)|^2 - N(f)} df; \quad (13)$$

Для границы (3) показатель экспоненты:

$$\tilde{E}_{x,\infty}(B, \rho) = \frac{\tilde{S}_{x,\infty}(B, \rho)}{4B}; \quad \rho > 1; \quad (14)$$

При заданных средней мощности сигнала на входе канала  $\tilde{S}_{x,\infty}(B, \rho)$  и параметре  $\rho$   $B$  неявно задается уравнением

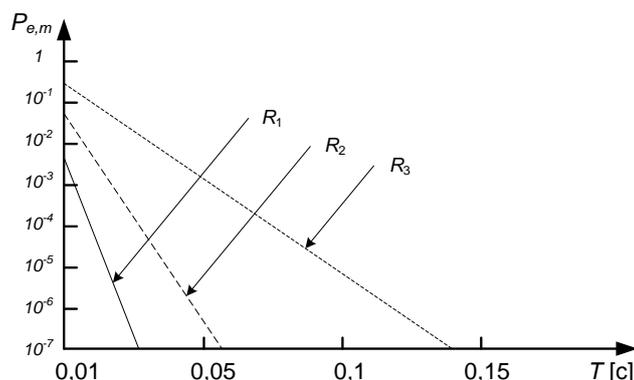
$$\tilde{S}_{x,\infty}(B, \rho) = \int_{f: \frac{|H_1(f)|^2}{N(f)} \geq \frac{1}{B}} \frac{4\rho B \cdot [B \cdot |H_1(f)|^2 - N(f)]}{2B \cdot |H_1(f)|^2 - N(f)} df, \quad (15)$$

которое определяет скорость передачи:

$$\tilde{R}_{x,\infty}(B) = \int_{f: \frac{|H_1(f)|^2}{N(f)} \geq \frac{1}{B}} \frac{1}{2} \ln \frac{B^2 \cdot |H_1(f)|^4 / N(f)}{2B |H_1(f)|^2 - N(f)} df \quad (16)$$

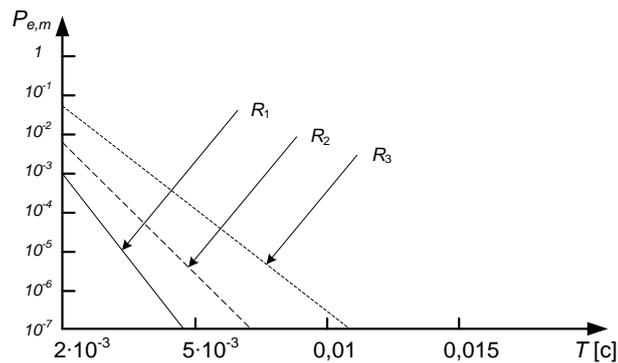
для диапазона скоростей границы (3).

Для условий П. 3 построены семейства зависимостей  $P_{e,m}$  от величины задержки  $T$  [с] при различных скоростях передачи, используя указанные границы, графики которых представлены на рисунках 6, 7 и 8.



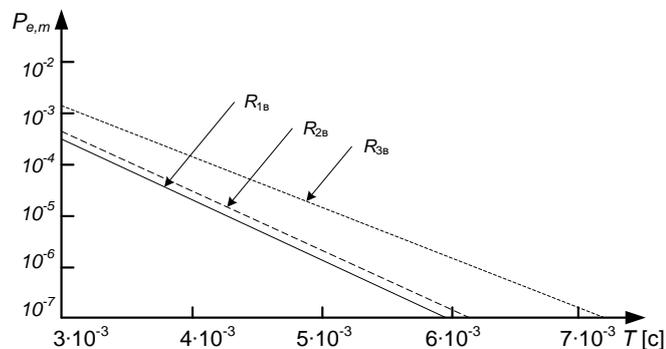
$R_1 = 19,47$  кбит/с ( $\rho=0,3$ );  $R_2 = 18,83$  кбит/с ( $\rho=0,5$ );  $R_3 = 18,27$  кбит/с ( $\rho=0,7$ ).

**Рисунок 6 – Зависимости вероятности ошибки  $m$ -ого символа  $P_{e,m}$  от величины задержки  $T$  [сек] при заданных скоростях передачи**



$R_1 = 17$  кбит/с ( $\rho = 1,3$ );  $R_2 = 16$  кбит/с ( $\rho = 1,5$ );  $R_3 = 15$  кбит/с ( $\rho = 1,7$ ).

**Рисунок 7 – Зависимости вероятности ошибки  $m$ -ого символа  $P_{e,m}$  от величины задержки  $T$  при заданных скоростях передачи**



$R_1 = 10,52$  кбит/с ( $\rho = 2,5$ );  $R_2 = 9,318$  кбит/с ( $\rho = 5,5$ );  $R_3 = 8,165$  кбит/с ( $\rho = 7,5$ ).

**Рисунок 8 – Зависимости вероятности ошибки  $m$ -ого символа  $P_{e,m}$  от величины задержки  $T$  при заданных скоростях передачи**

П. 4. Ранее рассматривались модели каналов, в которых принятый сигнал был суммой переданного сигнала (с ограниченной или неограниченной полосой частот и ограниченной мощностью) и белого гауссова шума. Такая модель обычно подходит для космических каналов связи и для проводных и кабельных каналов связи (но менее точно). Однако во многих системах связи путь, по которому проходит сигнал, изменяется со временем и может быть заранее предсказан только статистически. Изменение пути приводит к изменениям энергии принятого сигнала во времени (которые называются замираниями), а также к дисперсионным изменениям принятого сигнала во времени. Эти эффекты особенно характерны для систем связи, использующих тропосферное рассеивание, орбитальное дипольное рассеивание и высокочастотную радиосвязь.

Наиболее просто поведение таких систем можно представить себе, рассматривая рассеяние электромагнитных волн облаком рассеивающих частиц, как показано на рисунке 9. Принятый сигнал (отделенный от всякого аддитивного шума) может рассматриваться как взвешенная сумма задержанных во времени переданных сигналов, где каждый задержанный сигнал соответствует рассеиванию от одного из слоев, показанных на рисунке 9. В пределах любого слоя рассеивающие частицы будут типично для этого слоя двигаться и вращаться так, что каждая рассеивающая частица будет вносить некоторый

доплеровский сдвиг в принятый сигнал. Следовательно, если косинусоида  $\cos 2\pi f_c t$  была передана, то сигнал, приходящий от какого-либо слоя, будет размазан по частоте около  $f_c$ . Функция рассеивания  $\sigma(\tau, f)$  для такого канала определяется (с точностью до нормирующего множителя) как средняя по времени мощность, принятая в частотном интервале, расположенном около частоты  $f_c + f$ , и относящаяся к слою, вносящему задержку  $t$ . Функция рассеивания обычно нормируется так, чтобы  $\iint \sigma(\tau, f) d\tau df = 1$ . Здесь принимается, что  $\sigma(\tau, f)$  не зависит от  $f_c$ ; обычно это предположение достаточно хорошо соблюдается для широкого диапазона  $f_c$ .

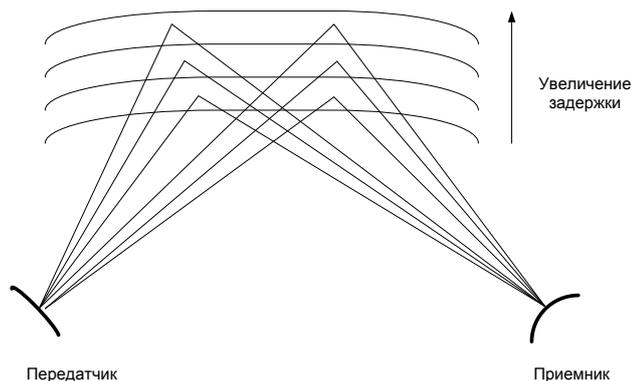


Рисунок 9 – Диспергирующий канал с замираниями

В [5] опубликована следующая теорема, доказанная Р. Кеннеди.

**Теорема 1.** Для модели канала, определенной в тексте, при дополнительном условии, что  $\sigma(f)$  ограничена и интегрируема, пропускная способность канала при ограничении на мощность  $S$  задается формулой  $C(S) = S/N_0$ . При любой  $R < C(S)$  можно получить сколь угодно малую вероятность ошибки, взяв время передачи  $T'$  достаточно большим и коэффициент занятости достаточно малым. Для любого заданного коэффициента занятости  $\Theta$ , для любого  $\varepsilon > 0$ , для всех достаточно больших  $T'$  и для любой  $R < C(S, \Theta)$  код с  $M = \lceil e^{T'R} \rceil$  кодовыми словами имеет вероятность ошибки, удовлетворяющую при всех  $m, 1 \leq m \leq M$ , неравенству

$$P_{e,m} \leq \exp \{-T'[E(R, S, \theta) - \varepsilon]\},$$

где  $E(R, S, \Theta)$  задается соотношениями (18) и (19).

Параметрические уравнения, связывающие  $R$  и  $E(R, S, \Theta)$ :

$$R = \theta \int \left\{ \frac{A(f)}{1 + \rho + \rho A(f)} - \ln \left[ 1 + \frac{A(f)}{1 + \rho + \rho A(f)} \right] \right\} df, \quad (17)$$

$$E(R, S, \theta) = \theta \int \left\{ \ln \left[ 1 + \frac{\rho A(f)}{1 + \rho} \right] - \frac{\rho A(f)}{1 + \rho + \rho A(f)} \right\} df, \quad (18)$$

$$A(f) = \frac{S \sigma(f)}{\theta \cdot N_0}.$$

Эти уравнения справедливы при  $0 \leq \rho \leq 1$ , а для  $R$  меньших, чем значение, определяемое (8.6.33) при  $\rho=1$ :

$$E(R, S, \theta) = \theta \int \left\{ 2 \ln \left[ 1 + \frac{A(f)}{2} \right] - \ln [1 + A(f)] \right\} df - R. \quad (19)$$

При  $R > C(S)$  применяется другая теорема, также опубликованная в [5] и доказанная Холзингером.

**Теорема 2.** Пусть дискретный стационарный источник с алфавитом объема  $M$  имеет энтропию  $H_\infty(U)$  и производит одну букву каждые  $\tau_s$  секунд. Пусть последовательность букв источника произвольной длины  $L$  связана с адресатом посредством непрерывного по времени канала, используемого  $T = L \cdot \tau_s$  секунд. Пусть  $C_T$  – умноженная на  $1/T$  верхняя грань средней взаимной информации между входом и выходом канала на этом интервале, взятая по всем распределениям вероятностей на входе. Предположим, что  $\lim_{T \rightarrow \infty} C_T$  существует, и определим

$$C = \lim_{T \rightarrow \infty} C_T.$$

Тогда для любого  $\varepsilon > 0$  и для всех достаточно больших  $L$  вероятность ошибки на символ  $\langle P_e \rangle$  в последовательности из  $L$  букв источника удовлетворяет неравенству

$$\langle P_e \rangle \log(M-1) + H(\langle P_e \rangle) \geq H_\infty(U) - \tau_s C - \varepsilon, \quad (20)$$

где  $H(\langle P_e \rangle) = -P_e \log(P_e) - (1-P_e) \log(1-P_e)$ ;  $M = 2^{Ri \cdot \tau_s}$ ;  $M$  – число сигналов в ансамбле (объем алфавита);  $Ri$  – скорость передачи от источника [бит/с].

Для дискретного источника без памяти с заданным  $M$  энтропия  $H_\infty(U)$  определяется так:

$$H_\infty(U) = -\log_2(M) = Ri \cdot \tau_s.$$

Для нахождения явной зависимости границы  $\langle P_e \rangle$  от  $Ri$ ,  $\tau_s$  и  $C$  найдем и исследуем обратную функцию от левой части неравенства (20) с помощью неявного задания прямой функции:

$$F(\langle P_e \rangle, M) = \langle P_e \rangle \log(M-1) + H(\langle P_e \rangle) = x; \quad (21)$$

Решая данное уравнение при заданном  $x$ , находим обратную функцию:

$$F^{-1}(x, M) = \langle P_e \rangle;$$

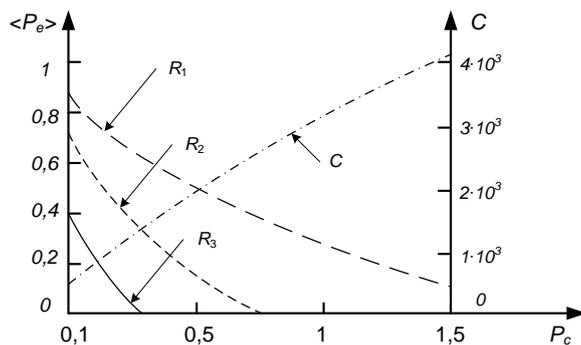
При больших  $M$  обратная функция является строго возрастающей. Получение аналитического задания затруднено, поэтому будем её задавать численно как решение уравнения (21). Тогда применим обратную функцию к правой части неравенства (20). Следовательно:

$$P_e \geq F^{-1}(H_\infty(U) - \tau_s C - \varepsilon, M);$$

Этот подход позволил применить теорему 2 П. 4 для расчета средней вероятности ошибки на символ  $\langle P_e \rangle$ , графики зависимостей которой от мощности сигнала и пропускной способности канала от мощности сигнала приведены на рисунке 10 для различных скоростей передачи.

Отметим, что теорема 1 П.4 выведена для канала с неограниченной полосой и конечной задержкой  $T'$ , а теорема 2 П.4 – для канала с заданной пропускной способностью и неограниченной задержкой. В первом случае вероятность ошибки кодирования символа возникает вследствие конечной задержки, а во втором случае – вследствие того, что скорость передачи больше пропускной способности канала.

$$W=3100 \text{ Гц}, P_{sh}=1, \tau_s=3,333 \cdot 10^{-3} \text{ с.}$$



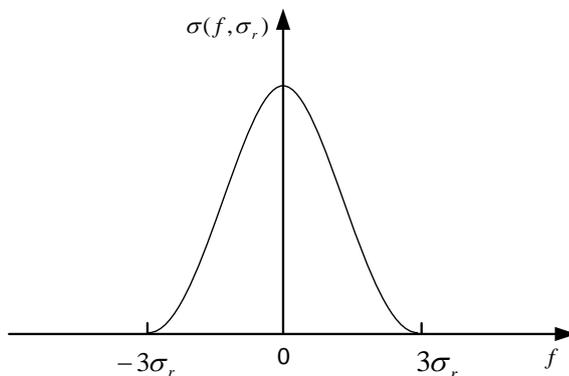
$R_1=4,8$  кбит/с;  $R_2= 2,4$  кбит/с;  $R_3= 1,2$  кбит/с.

**Рисунок 10 – Зависимость средней вероятности ошибки на символ от мощности сигнала при скорости передачи большей пропускной способности канала и бесконечной задержке для различных скоростей передачи**

Применим теорему 1 для расчета вероятности ошибки при передаче  $m$ -ого символа для диспергирующего канала с замираниями при заданной функции рассеивания по частоте, бесконечной полосе в зависимости от величины времени задержки. Функцию рассеивания по частоте определим в виде:

$$\sigma(f, \sigma_r) = \frac{1}{\sigma_r \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot e^{\frac{-f^2}{2\sigma_r}},$$

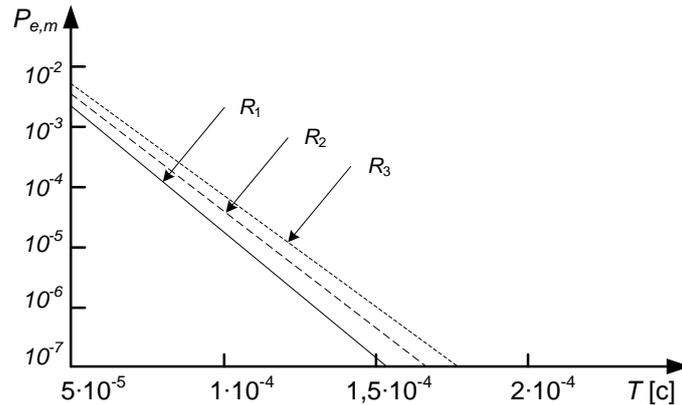
где  $\sigma_r$  – параметр, определяющий величину рассеивания по частоте.



**Рисунок 11 – Зависимость функции рассеивания от частоты**

Результаты расчетов изображены на рисунке 10.

$$\theta=0,00001, \sigma_r=1 \text{ Гц}, P_c=100, P_{sh}=1, N_0=3,226 \cdot 10^{-4}.$$



$R_1 = 190$  кбит/с;  $R_2 = 200$  кбит/с;  $R_3 = 210$  кбит/с.

**Рисунок 12 – Зависимости вероятности ошибки  $m$ -ого символа  $P_{e,m}$  от величины задержки  $T$  при заданных скоростях передачи**

Отметим, что все результаты по анализу потенциальной помехоустойчивости отражают вероятность ошибки на символ в зависимости от различных параметров. В то же время объективное сравнение различных систем передачи дискретных сообщений при оптимальном приеме и заданной модели непрерывного канала возможно, если воспользоваться понятием эквивалентной вероятности ошибки  $p_э$ . Под  $p_э$  понимают вероятность ошибки в симметричном двоичном канале без памяти с постоянными параметрами, в котором система с примитивным кодированием оказывается эквивалентной рассматриваемой системе (передает равное количество информации  $I$  бит и обеспечивает одинаковую вероятность правильного приема блока символов, несущих эту информацию в заданном канале).

Из определения следует, что вероятность правильного приема блока символов

$$P_{\text{правбл}} = (1 - p_э)^I = 1 - p_{\text{ошибл}} \quad \text{или} \quad 1 - p_э = (1 - p_{\text{ошибл}})^{1/I},$$

$$p_э = 1 - (1 - p_{\text{ошибл}})^{1/I}, \quad (22)$$

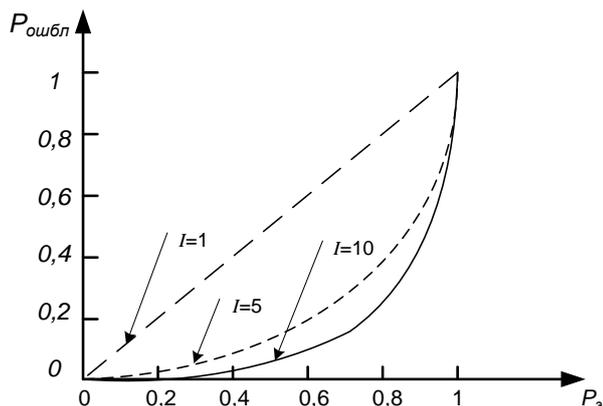
где  $p_{\text{ошибл}}$  – вероятность ошибочного приема блока символов.

В условиях качественной связи  $p_{\text{ошибл}} \ll 1$ , воспользовавшись формулой бинома Ньютона  $(1 - p_{\text{ошибл}})^{1/I} \approx 1 - \frac{p_{\text{ошибл}}}{I}$ , получаем

$$p_э \approx \frac{p_{\text{ошибл}}}{I} = p_b.$$

Таким образом,  $p_э$  приближенно определяет (в любом канале) вероятность ошибки на бит. При прочих равных условиях та система лучше, для которой  $p_э$  меньше.

Согласно выражению (22), на рисунке 13 построены зависимости вероятности битовой ошибки от вероятности ошибки блока для различных длин блоков.



**Рисунок 13 – Зависимости вероятности битовой ошибки от вероятности ошибки блока для различных длин блоков**

Таким образом, с ростом длины блока вероятность ошибки на бит становится существенно меньше вероятности ошибки блока и не превышает 0,5.

Выводы по результатам анализа потенциальной помехоустойчивости при применении ансамблей сигналов в системах цифровой радиосвязи ДКМВ диапазона при работе земной и ионосферной волнами:

1. При работе земной волной ДКМВ канал радиосвязи можно рассматривать как канал с постоянными параметрами без ограничения на ширину полосы частот и с ограничением  $W=3100$  Гц.

2. При работе ионосферной волной ДКМВ канал радиосвязи рассматривается как канал с переменными параметрами и известными функциями рассеивания по частоте и времени.

3. Опорной точкой для характеристик ДКМВ канала при работе земной волной является его пропускная способность при заданном отношении сигнал/шум 20 дБ для случаев неограниченного по полосе частот канала ( $C=447$  кбит/с) и ограниченного по полосе частот канала  $C \approx 20$  кбит/с. При этом обеспечивается нулевая вероятность ошибки приема символа за счет бесконечного времени задержки.

4. При конечном времени задержки и скорости передачи  $R < C$  вероятность ошибки приема символа отлична от нуля и убывает с ростом времени задержки. В этой ситуации для неограниченной полосы частот построены зависимости верхних и нижних границ вероятности ошибки при различных скоростях передачи (210, 200, 190, 120, 110, 100 кбит/с) в диапазоне задержек десятки микросекунд, границ вероятностей ошибок в диапазоне  $10^{-7} - 10^{-5}$  и отношения сигнал/шум 20 дБ.

5. В случае ограниченной полосы частот  $W=3100$  Гц,  $P_c/P_{sh}=20$  дБ построены верхние границы зависимостей вероятности ошибки приема символа от величины задержки для различных скоростей передачи (19.47, 18.83, 18.27, 17, 16, 15, 10.52, 9.318, 8.165 кбит/с). Верхние границы вероятностей ошибок в диапазоне  $10^{-7} - 2 \cdot 10^{-4}$  в этом случае снижаются с ростом времени задержки в диапазоне  $7 \cdot 10^{-3} - 10^{-2}$  с.

6. При работе ДКМВ канала ионосферной волной он рассматривается как диспергирующий с заданной функцией рассеивания по частоте. При скорости передачи большей пропускной способности канала  $R > C$  даже при бесконечной задержке будут наблюдаться ошибки при приеме кодовых символов. Здесь построены зависимости нижней границы средней вероятности ошибки приема символов в диапазоне от 0 до 1 от мощности

сигнала в диапазоне -10 дБ – 1,761 дБ (следовательно, от пропускной способности канала) при скоростях передачи 1200, 2400, 4800 бит/с и  $W=3100$  Гц.

7. В случае неограниченной полосы частот ДКМВ диспергирующего радиоканала при рассеивании по частоте  $\pm 3$  Гц заданном  $\theta=0.00001$ ,  $\sigma_r=1$  Гц,  $P_c=100$ ,  $P_{sh}=1$ ,  $N_0=3,226 \cdot 10^{-4}$  исследованы зависимости верхней границы вероятностей ошибок в диапазоне  $10^{-3} - 4 \cdot 10^{-3}$  от величины времени задержки в диапазоне  $5 \cdot 10^{-5} - 10^{-4}$  с для скоростей передачи 190, 200, 210 кбит/с. Наличие рассеивания по частоте увеличивает вероятность ошибки на  $10^{-3}$ .

8. К сожалению, основные расчеты произведены для верхних и нижних границ вероятностей ошибок, так как точные выражения в настоящий момент не получены. Однако полученные данные позволяют выработать технические решения в вопросе выбора рациональных способов модуляции и кодирования на основе обмена одних параметров кодирования на другие.

9. Существуют пути повышения помехоустойчивости за счет увеличения базы сигнала при расширении полосы частот и/или увеличения длительности значащего временного интервала [1]. Последнее может быть обеспечено только при увеличении времени задержки передачи.

10. Реализация этих путей (вывод 9) возможна за счет увеличения объема ансамбля передаваемых сигналов, который растет экспоненциально при увеличении базы, вследствие чего увеличивается сложность кодирования-декодирования. Поэтому необходимо изыскание сигнально-кодовых конструкций с меньшим ростом сложности кодирования-декодирования.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Витерби А.Д., Омура Дж.К. Принципы цифровой связи и кодирования. – М.: Радио и связь, 1982. – 536 с.
2. Левин Б.Р. Теоретические основы статистической радиотехники. – М.: Радио и связь, 1989. – 656 с.
3. Зюко А.Г., Кловский Д.Д. и др. Теория передачи сигналов. – 2-е изд., перераб. и доп.– М.: Радио и связь, 1986. – 304 с.
4. Зюко А.Г., Кловский Д.Д. и др. Теория электрической связи: учебник для ВУЗов / под ред. Кловского Д.Д.. – М.: Радио и связь, 1999. – 432 с.
5. Галлагер Р. Теория информации и надежная связь: пер. с англ. / под ред. М.С. Пинскера и Б.С. Цыбакова. – М.: Советское радио, 1974. – 720 с.

**Моисеев Олег Владимирович**

Академия ФСО России, г. Орел

Кандидат технических наук, доцент

Тел.: 8 920 282 91 23

E-mail: ovmoiseev@mail.ru

**Яковлев Алексей Викторович**

Академия ФСО России, г. Орел

Кандидат технических наук, преподаватель

---

O.V. MOISEEV (*Candidate of Engineering Science, Associate Professor*)

A.V. YaKOVLEV (*Candidate of Engineering Science, Teacher*)

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

#### ANALYSIS OF THE CHANNEL POTENTIAL INTERFERENCE IMMUNITY IN DIGITAL RADIO SYSTEMS

*In work the analysis of potential noise stability is made at application of ensembles of signals in systems of HF band digital radio communication. At work as terrestrial wave HF channel of a radio communication can be considered as the channel with constant parameters, and at work ionospheric wave as the channel with variable parameters and known functions of dispersion on frequency and time. Obtained data allow developing technical decisions in a question of a choice of rational ways of modulation and coding on the basis of an exchange of one parameters of coding for others.*

**Keywords:** *the analysis; noise stability; modulation; the channel; coding.*

**BIBLIOGRAPHY (TRANSLITERATED)**

1. Viterbi A.D., Omura Dzh.K. Principy' cifrovoj svyazi i kodirovaniya. – M.: Radio i svyaz', 1982. – 536 s.
2. Levin B.R. Teoreticheskie osnovy' statisticheskoy radiotexniki. – M.: Radio i svyaz', 1989. – 656 s.
3. Zyuko A.G., Klovsij D.D. i dr. Teoriya peredachi signalov. – 2-e izd., pererab. i dop.– M.: Radio i svyaz', 1986. – 304 s.
4. Zyuko A.G., Klovsij D.D. i dr. Teoriya e'lektricheskoy svyazi: uchebnik dlya VUZov / pod red. Klovsikogo D.D.. – M.: Radio i svyaz', 1999. – 432 s.
5. Gallager R. Teoriya informacii i nadezhnaya svyaz': per. s angl. / pod red. M.S. Pinskera i B.S. Cy'bakova. – M.: Sovetskoe radio, 1974. – 720 s.

УДК 004.73

А.А. ИЛЮХИН, А.Н. ОСИПОВ

## АЛГОРИТМ ОПТИМИЗАЦИИ РЕСУРСОВ РАДИОИНТЕРФЕЙСА СПУТНИКОВЫХ КАНАЛОВ ОБМЕНА ДАННЫМИ ОПЕРАТИВНО-ДИСПЕТЧЕРСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ГАЗОТРАНСПОРТНЫМИ ПРЕДПРИЯТИЯМИ

*Предложен подход, обеспечивающий возможность каждому уровню стека протоколов спутниковых каналов обмена данными оперативно-диспетчерского управления принимать собственные решения, согласованные в рамках глобальной оптимизации частотно-энергетической эффективности использования ресурса с учетом требований QoS, используя межуровневый обмен управляющими сообщениями. Учет межуровневых взаимодействий осуществляется в рамках текущей иерархической структуры стека и может быть использован для динамической адаптации.*

**Ключевые слова:** оперативно-диспетчерское управление; иерархическая система управления; межуровневые взаимодействия; марковские процессы принятия решения; динамическое программирование Беллмана.

### ВВЕДЕНИЕ

Анализ тенденций развития основных нефтегазовых и энергетических компаний мира свидетельствует о значительной роли спутниковой связи для обеспечения передачи данных в различных автоматизированных системах управления, например, в контролируемых пунктах линейной телемеханики магистральных трубопроводов, сборе данных в системах мониторинга и диагностики [1, 2].

Реализация функций автоматизированного управления технологическими процессами (ТП) на объектах транспортной магистрали предприятий нефтегазодобывающей отрасли требует построения сети передачи пакетного трафика для оперативного и достоверного информационного обмена, сбора и обработки данных телеметрического контроля. Значительная территориальная удаленность объектов АСУ ТП, их расположение в необеспеченных в отношении связи районах обуславливают развертывание собственных высокоэффективных и экономичных спутниковых сетей, реализующих базовые VSAT-технологии, подобных спецификациям стандартов *IPoS*, *DVB-S(S2)*, *DVB-RCS* с использованием частотно-энергетического ресурса транспондеров КА «Ямал», «Экспресс-АМ», отечественных спутниковых операторов ОАО «Газпром космические системы», ФГУП «Космическая связь» [3, 4].

Детальный анализ процессов обработки и передачи пакетного трафика на нижних уровнях стека протоколов стандартов, использующих статистическое мультиплексирование и адаптивные модуляцию и кодирование, позволил установить, что на сетевом уровне осуществляется классификация пакетного трафика по классам сервиса их буферизации и передача на *MAC*-уровень в соответствии с реализуемой дисциплиной обслуживания очередей пакетных данных. На *MAC*-уровне происходит инкапсуляция пакетных данных каждого класса сервиса в *MPEG*-пакеты, буферизация в соответствии с классом сервиса и вариантом кодирования и модуляции (*MODCOD*), необходимым для передачи, и передача на физический уровень в соответствии с реализованной дисциплиной обслуживания. На физическом уровне осуществляется последовательное формирование кадров в соответствии с форматом выбранного варианта кодирования и модуляции, добавление служебных данных, помехоустойчивое кодирование и модуляция [5].

Совокупность указанных процедур, выполняемых на каждом уровне, определяет в конечном итоге частотно-энергетическую эффективность канала при выполнении требований к параметрам качества обслуживания пакетного трафика и ограничениям на ресурс пропускной способности.

При этом имеется перечень управляемых параметров спутникового терминального оборудования и стека протоколов, к которым относятся схема кодирования и модуляции, объемы пакетных данных обрабатываемых на нижних уровнях в соответствии с дисциплиной обслуживания очередей пакетных данных, а также перечень контролируемых параметров, таких, как интенсивность пакетного трафика различных классов сервиса, межпакетная длительность, отношение сигнал/шум, определяемое условиями распространения сигнала, являющихся источником дестабилизирующих воздействий.

Однако алгоритмы, реализованные в стеке протоколов существующих вещательных каналов, не позволяют достичь оптимальной эффективности использования ресурсов, ввиду того, что заложенные в них процедуры ориентированы на использование статических моделей и детерминированных методов принятия решений, а также не учитывается взаимодействие между уровнями.

### ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Предложим итерационный алгоритм для вычисления оптимального значения функции доходов  $V^*$  на  $k$ -ой итерации и соответствующей оптимальной стратегии  $\pi^*$ , реализующий способ децентрализованного принятия решений в режиме *off-line*.

В начальный момент времени, предшествующий работе оптимизационной процедуры, каждый из верхних уровней стека  $l \in \{1, \dots, L-1\}$  отправляет сообщения с уровнями  $QoS$   $\Theta_{l,l-1} = \{\Theta_l(s)\}$  нижним уровням (рис. 1), позволяющие нижнему уровню выполнить прогноз значений показателей  $QoS$  и частотно-энергетической эффективности спутникового канала для всех векторов состояний  $s \in S$  и управлений  $u \in U$  совокупности процессов обработки и передачи трафика.

Содержание данных сообщений определяется как

$$\Theta_l(s) = \begin{cases} Y_l^{QoS} / Y_l^{QoS} = \bar{f}_l(s_l, u_l, Y_{l+1}^{QoS}) \\ Z_l^\gamma / Y_l^{QoS} = \bar{f}_l(s_l, u_l, Z_{l+1}^\gamma) \end{cases}, \quad \forall s \in S, \forall u_l \in U_l, \dots, \forall u_1 \in U_1 \quad (1)$$

где  $Y_l^{QoS}$  – показатели  $QoS$  потоков различных классов сервиса;  $\bar{f}_l(s_l, u_l)$  – функция преобразования содержания сообщения.

Дальнейшим этапом является определение оптимального значения целевой функции, используя декомпозицию переходных вероятностей и функции доходов [6].

$$\max_{u \in U} \left\{ R_\Sigma(s, u) + \beta \sum_{s'_1 \in S_1, \dots, s'_L \in S_L} p(s'_L / s_L, u_L) \dots p(s'_1 / s_1, s'_{2 \rightarrow L}, u) V(s'_1, \dots, s'_L) \right\}. \quad (2)$$

Функции доходов и вероятностей перехода на нижнем уровне могут быть определены по значениям  $Y_l^{QoS}$  и  $Z_l^\gamma$ , рекуррентно пересчитанных с учетом поступающих к нижнему уровню управляющих сообщений верхних уровней. Представим функционал динамического программирования (2), оптимизируемый совместными управлениями  $u \in U$  всех уровней в следующем виде:

$$V_k^*(s) = \max_{u_{1 \rightarrow L} \in U_{1 \rightarrow L}} \left\{ R_\Sigma(s, u) + \sum_{s'_{1 \rightarrow L} \in S_{1 \rightarrow L}} p(s'_L / s_L, u_L) \dots p(s'_1 / s_1, u_1, s'_2) V_{k-1,1}^*(s'_1, \dots, s'_L) \right\}, \quad (3)$$

где  $s' \in S$  представлен как  $s'_{1 \rightarrow L} = (s'_1, s'_2, \dots, s'_L) \in S_{1 \rightarrow L}$  – вектор прогнозируемых состояний процесса и вектор совместных управлений  $u \in U$ ,  $u_{1 \rightarrow L} = (u_1, u_2, \dots, u_L) \in U_{1 \rightarrow L}$ .



Рисунок 1 – Принцип координации задач оптимизации ресурсов на основе прогнозирования межуровневых взаимодействий

Учитывая, что значения дохода  $R(s_l, u_l, Y_1^{QoS})$  по показателям  $QoS$  не зависят от будущих состояний процессов на уровнях  $s'_{1 \rightarrow L} \in S_{1 \rightarrow L}$ , а также условие нормировки переходных вероятностей по состояниям

$$\sum_{s'_{2 \rightarrow L} \in S_{2 \rightarrow L}} p(s'_L / s_L, u_L) \prod_{l=2}^{L-1} p(s'_l / s_l, s'_{l+1}, u_l) = 1, \quad (4)$$

можем заменить (3) следующим выражением:

$$V_k^*(s) = \max_{u_{2 \rightarrow L} \in U_{2 \rightarrow L}} \left\{ R_\Sigma(s, u_{2 \rightarrow L} | u_1^*) + \sum_{s'_{2 \rightarrow L} \in S_{2 \rightarrow L}} p(s'_L / s_L, u_L) \prod_{l=2}^{L-1} p(s'_l / s_l, s'_{l+1}, u_l) V_{k-1,2}^*(s'_{2 \rightarrow L}, u_1^*) \right\} \quad (5)$$

Таким образом, управление и настройки  $QoS$  на нижнем уровне обеспечат максимизацию  $V_k^*(s)$  на локальной итерации в пределах длительности шага, поскольку другие периоды не зависят от этих параметров. Правая часть данного выражения – локальная итерация стратегий на уровне 1 для всех  $s'_{2 \rightarrow L} \in S_{2 \rightarrow L}$  и  $u_{2 \rightarrow L} \in U_{2 \rightarrow L}$ .

$$u_1^* = \arg \max_{u_1 \in U_1} \left\{ R_{\Sigma}(s, u_{1 \rightarrow L}) + \sum_{s'_1 \in S_1} p(s'_1 | s_1, u_1, s'_2) V_{k-1,1}^*(s'_1, \dots, s'_L) \right\}, \quad (6)$$

промежуточный результат которой обозначим  $V_{k-1,2}^*(s'_2 \rightarrow L)$  по всем целевым показателям

$$V_{k-1,2}^*(s'_2 \rightarrow L) = \sum_{s'_1 \in S_1} p(s'_1 | s_1, u_1, s'_2) V_{k-1,1}^*(s'_1, \dots, s'_L). \quad (7)$$

Оптимальные управления  $u_1^*(s'_2, \dots, s'_L)$  и уровень  $QoS$   $Y_1(s'_2, \dots, s'_L)$  зависят от следующих состояний верхних уровней. После выполнения уровнем 1 локальной оптимизации для каждого состояния  $s'_2, \dots, s'_L$  отправляются сообщения  $\{V_{k-1,2}^*(s'_2, \dots, s'_L), u_1^* | \forall (s'_2, \dots, s'_L)\}$  к уровню 2, уменьшая, таким образом, размерность функционала Беллмана:

$$V_k^*(s) = \max_{u_{2 \rightarrow L} \in U_{2 \rightarrow L}} \left\{ R_{\Sigma}(s, u_{2 \rightarrow L} | u_1^*) + \sum_{s'_{2 \rightarrow L} \in S_{2 \rightarrow L}} p(s'_L / s_L, u_L) \prod_{l=2}^{L-1} p(s'_l / s_l, s'_{l+1}, u_l) \times \right. \\ \left. \times \max_{u_1 \in U_1} \left\{ R_{\Sigma}(s, u_{1 \rightarrow L}) + \sum_{s'_1 \in S_1} p(s'_1 | s_1, u_1, s'_2) V_{k-1,1}^*(s'_1, \dots, s'_L) \right\} \right\} \\ V_k^*(s) = \max_{u_{2 \rightarrow L} \in U_{2 \rightarrow L}} \left\{ R_{\Sigma}(s, u_{2 \rightarrow L} | u_1^*) + \sum_{s'_{2 \rightarrow L} \in S_{2 \rightarrow L}} p(s'_L / s_L, u_L) \prod_{l=2}^{L-1} p(s'_l / s_l, s'_{l+1}, u_l) V_{k-1,2}^*(s'_2, \dots, s'_L) \right\} \quad (8)$$

Укажем, что  $R(s_l, u_l, \bar{Q}_1)$  не зависит от будущих состояний  $s'_{l+1 \rightarrow L} \in S_{l+1 \rightarrow L}$ , а для состояний  $\overline{l+1, L}$  справедливо условие нормировки по вероятности

$$\sum_{s'_{l+1 \rightarrow L} \in S_{l+1 \rightarrow L}} p(s'_L / s_L, u_L) \prod_{l=l+1}^{L-1} p(s'_l / s_l, s'_{l+1}, u_l) = 1.$$

По аналогии с предыдущим этапом

$$V_k^*(s) = R(s, u) + \max_{u_{3 \rightarrow L} \in U_{3 \rightarrow L}} \left\{ \sum_{s'_{3 \rightarrow L} \in S_{3 \rightarrow L}} p(s'_L / s_L, u_L) \prod_{l=3}^{L-1} p(s'_l | s_l, s'_{l+1}, u_l) \times \right. \\ \left. \times \max_{\substack{u_2 \in U_2 \\ \bar{Y}_2 \in Y_2}} \left\{ \sum_{s'_2 \in S_2} p(s'_2 | s_2, u_2, \bar{Y}_2) V_{k-1,2}^*(s'_2, \dots, s'_L) \right\} \right\}. \quad (9)$$

Для каждого следующего состояния на верхних уровнях  $(s'_3, \dots, s'_L)$  функционал динамического программирования Беллмана на уровне 2 вычисляется так:

$$V_{k-1,3}^*(s'_3, \dots, s'_L) = \max_{\substack{u_2 \in U_2 \\ \bar{Y}_2 \in Y_2}} \left\{ \sum_{s'_2 \in S_2} p(s'_2 | s_2, u_2, \bar{Y}_2) V_{k-1,2}^*(s'_2, \dots, s'_L) \right\}. \quad (10)$$

С уровня 2 к уровню 3 передается сообщение  $\{V_{k-1,3}^*(s'_3, \dots, s'_L) | \forall (s'_3, \dots, s'_L)\}$ .

Таким образом, выражение для локальной итерации стратегий для всех  $s'_{l+1 \rightarrow L} \in S_{l+1 \rightarrow L}$  функционала Беллмана имеет вид:

$$V_{k-1,l+1}^*(s'_{l+1 \rightarrow L}) = \max_{\substack{u_l \in U_l \\ \bar{Y}_l \in Y_l}} \left\{ \sum_{s'_l \in S_l} p(s'_l | s_l, u_l, \bar{Y}_l) V_{k-1,l}^*(s'_2, \dots, s'_L) \right\}, \quad (11)$$

где  $V_{k-1,l+1}^*(s'_{l+1 \rightarrow L})$  – результат локальной итерации стратегий на уровне  $l$  для всех  $s'_{l \rightarrow L} \in S_{l \rightarrow L}$ , которые отправлены в сообщении вверх от уровня  $l$  к уровню  $l+1$ , т.е.  $\{V_{k-1,l+1}^*(s'_{l+1}, \dots, s'_L) | \forall (s'_{l+1}, \dots, s'_L)\}$ .

Окончательно для локальной итерации стратегий уровня  $L$

$$V_k^*(s) = R(s, u) + \max_{\substack{u_L \in U_L \\ \bar{Y}_L \in Y_L}} \left\{ \sum_{s'_L \in S_L} p(s'_L | s_L, u_L) V_{k-1,L}^*(s'_L) \right\}, \quad (12)$$

где  $\theta_{L-1,L} = \{V_{k-1,L}^*(s'_L)\}$  и  $V_k^*(s)$  становятся входными переменными для локальной итерации значений на уровне  $l$  на следующем шаге  $k + 1$ .

Используя изложенные принципы решения задачи оптимизации, разработан алгоритм оптимизации ресурсов радиointерфейса спутниковых каналов обмена данными оперативно-диспетчерского управления газотранспортными предприятиями, блок-схема которого представлена на рисунке 2.

Отметим, что локальная итерация значений по всем уровням в течение одной глобальной итерации межуровневого алгоритма оптимизации эквивалентно одной итерации централизованного алгоритма. В результате работы уровневого алгоритма оптимизации функция значений по состояниям  $V_k^*$  будет сходиться к оптимальным значениям  $V^*$  при  $k \rightarrow \infty$ . Локальная итерация стратегий на каждом уровне определяет оптимальные управления на каждом уровне, обеспечивающие требуемые значения  $QoS$ , основываясь на локальных моделях их динамики (функции вероятности переходов и функции доходов).

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Положительным моментом внедрения VSAT-оборудования в корпоративных спутниковых сетях является то, что производители предлагают достаточно мощную и многофункциональную систему управления спутниковым оборудованием, позволяющую путем модернизации аппаратно-программных средств увеличить число способов воздействия на процессы поддержания требуемого качества  $QoS$ . Централизованное принятие решения в этом случае требует каждому уровню знания полной априорной информации о динамике работы условно зависимых протоколов по всему пространству состояний и управлений. Полученное при этом решение исключает возможности адаптации уровнями собственных моделей и стратегий принятия решений к динамике наблюдаемых процессов. На каждом уровне отсутствует возможность обновления собственного протокола и его реализации независимого от протоколов других уровней.

Декомпозиция задачи принятия решения с бесконечным горизонтом планирования позволит уровневым вычислительным комплексам стека протоколов принимать независимые решения с малым объемом межуровневого обмена управляющими сообщениями, ограничиваясь обменом только между смежными уровнями.

Решение задачи распределения ресурсов прямого канала с использованием методов оптимизации позволяет сформировать оптимальный план их использования и повысить частотно-энергетическую эффективность использования ресурса транспондера в условиях дополнительных ограничений, определяемых спецификацией параметров спутникового радиоинтерфейса и вычислительным временем. Качество решения оптимизационных задач иерархической структуры по сравнению с полным информационным обменом между всеми уровнями при централизованной оптимизации остается неизменным, а вычислительная эффективность снижена в десятки раз.

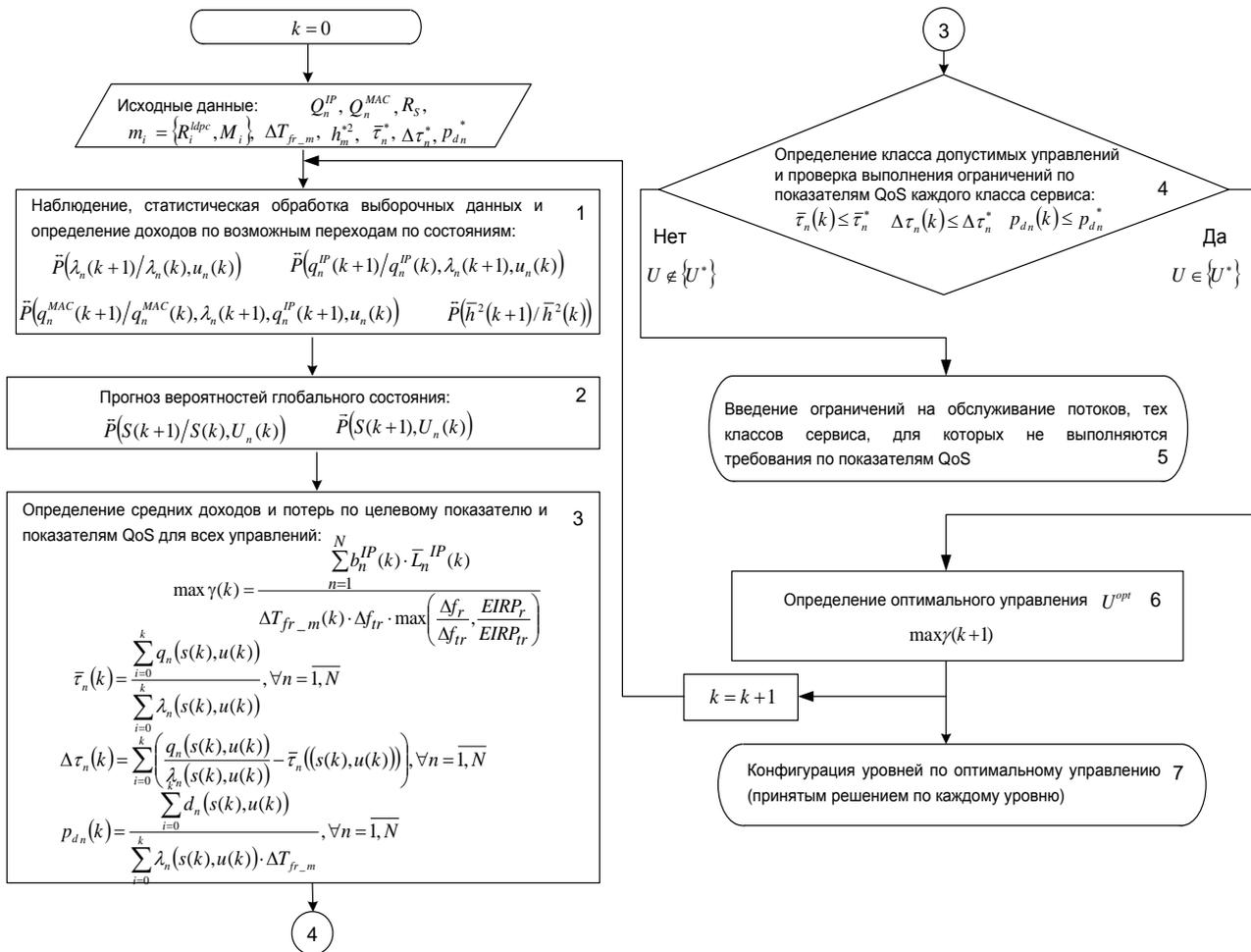


Рисунок 2 – Блок-схема алгоритма оптимизации ресурсов радиоинтерфейса спутниковых каналов обмена данными оперативно-диспетчерского управления газотранспортными предприятиями

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бернер Л.И., Никаноров В.В. Современные требования к системам линейной телемеханики магистральных газопроводов // Автоматизация, телемеханизация и связь в нефтяной промышленности, 2013 – № 1. – С. 5-7.
2. Мосягин М.Н. Опыт создания интегрированной АСУТП газотранспортного предприятия / М.Н. Мосягин, А.М. Руденко, В.В. Никаноров, В.Б. Гармаш, П.Е. Бениаминов, О.В. Фурманчук // Научно-экономический сборник «Газовая промышленность». – М.: ООО «ИРЦ Газпром», 2010. – № 6. – С. 22-25.

3. Носонов А.Ю., Лузин В.Ю. Корпоративная сеть передачи данных Группы «Газпром» – транспортная основа реализации стратегии информатизации ОАО «Газпром» // Спецвыпуск журнала «Газовая промышленность». Автоматизация производственно-технологических процессов, метрология и связь на объектах газовой отрасли – М.: ООО «ИРЦ Газпром», 2012. – С. 34-56.
4. Муминов Р.М. Космические технологии в системе управления газовой отрасли // Научно-экономический сборник «Газовая промышленность». – М.: ООО «ИРЦ Газпром», 2009. – № 6. – С. 35-42.
5. ETSI EN 302 307. Digital Video Broadcasting (DVB); Second generation framing structure, channel coding and modulation system for Broadcasting Interactive Services, News Gathering and other broadband satellite applications.
6. Таха Х. Ведение в исследование операций: в 2-х книгах. – Кн.1.: пер. с англ. – М.: Мир, 1985. – 479 с.: ил.

**Илюхин Александр Александрович**

Академия ФСО России, г. Орел  
Кандидат технических наук, доцент  
E-mail: ilyukhin.orel@mail.ru

**Осипов Алексей Николаевич**

Академия ФСО России, г. Орел  
Преподаватель  
E-mail: osipov2008@inbox.ru

---

A.A. ILYUXIN (*Candidate of Engineering Science, Associate Professor*)

A.N. OSIPOV (*Teacher*)

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

**ALGORITHM OF OPTIMIZATION OF RESOURCES OF THE AIR-INTERFACE OF SATELLITE CHANNELS OF THE DATA INTERCHANGE OF SUPERVISORY CONTROL OF GAS TRANSMISSION COMPANIES**

*The approach providing opportunity to each level of a stack of protocols of satellite channels of a data interchange of supervisory control to make own decisions, coordinated within global optimization of frequency and energetic efficiency of use of a resource taking into account QoS requirements is offered, using an interlevel exchange of control messages. The accounting of interlevel interactions is carried out within the current hierarchical structure of a stack and can be used for dynamic adaptation.*

**Keywords:** *supervisory control; hierarchical management system; interlevel interactions; Markov processes of decision-making; Bellman's dynamic programming.*

**BIBLIOGRAPHY (TRANSLITERATED)**

1. Berner L.I., Nikanorov V.V. Sovremenny'e trebovaniya k sistemam linejnoy telemexaniki magistral'ny'x gazoprovodov // Avtomatizaciya, telemexanizaciya i svyaz' v neftyanoj promy'shennosti, 2013 – № 1. – S. 5-7.
2. Mosyagin M.N. Opy't sozdaniya integrirovannoj ASUTP gazotransportnogo predpriyatiya / M.N. Mosyagin, A.M. Rudenko, V.V. Nikanorov, V.B. Garmash, P.E. Benjaminov, O.V. Furmanchuk // Nauchno-e'konomicheskij sbornik «Gazovaya promy'shennost'». – М.: ООО «ИРЦ Газпром», 2010. – № 6. – S. 22-25.
3. Nosenov A.Yu., Luzin V.Yu. Korporativnaya set' peredachi danny'x Gruppy' «Gazprom» – transportnaya osnova realizacii strategii informatizacii OAO «Gazprom» // Specvy'pusk zhurnala «Gazovaya promy'shennost'». Avtomatizaciya proizvodstvenno-tekhnologicheskix processov, metrologiya i svyaz' na ob'ektax gazovoj otrasli – М.: ООО «ИРЦ Газпром», 2012. – S. 34-56.

4. Muminov R.M. Kosmicheskie tehnologii v sisteme upravleniya gazovoj otrasli // Nauchno-e'konomicheskij sbornik «Gazovaya promy'shennost'». – M.: OOO «IRC Gazprom», 2009. – № 6. – S. 35-42.
5. ETSI EN 302 307. Digital Video Broadcasting (DVB); Second generation framing structure, channel coding and modulation system for Broadcasting Interactive Services, News Gathering and other broadband satellite applications.
6. Taxa X. Vedenie v issledovanie operacij: v 2-x knigax. – Kn.1.: per. s angl. – M.: Mir, 1985. – 479 s.: il.

УДК 621.376.9

И.А. СТАРОВОЙТ, Е.Г. ЖИЛЯКОВ

## ВЛИЯНИЕ УЗКОПОЛОСНЫХ ПОМЕХ НА ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТЬ СИСТЕМ СВЯЗИ, ОСНОВАННЫХ НА ПРИМЕНЕНИИ ШИРОКОПОЛОСНЫХ СИГНАЛОВ

*В данной статье представлены результаты моделирования влияния сосредоточенных по спектру помех на помехоустойчивость информационных сигналов, основанных на широкополосных сигналах с линейно-частотной модуляцией, фазовой манипуляцией, а также собственных векторах субполосной матрицы.*

*Ключевые слова:* широкополосный сигнал; узкополосная помеха; собственные вектора; субполосная матрица; информационный обмен.

### ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Сосредоточенные по спектру помехи представляют собой совокупность гармонических колебаний (одна или несколько гармоник), сосредоточенных в достаточно малом диапазоне частот по сравнению с информационным сигналом. Узкополосные помехи имеют техногенный характер, то есть возникают из-за непосредственной деятельности человека или в результате работы электромагнитных устройств, в частности, генераторов, радиостанций, медицинского оборудования и многого другого. Развитие инфраструктуры густонаселенных городов и отдельных территорий привело к увеличению числа источников помех данного вида, что, в свою очередь, повлекло за собой ухудшение качества обмена информацией по информационным коммуникациям [1, 2].

В данной статье представлены результаты по сравнению вероятностей ошибки декодирования информации при воздействии узкополосных помех с различным отношением энергии информационного сигнала к энергии сосредоточенной по спектру помехи ( $E_s/E_{\Pi}$ ), полученные в результате моделирования процесса информационного обмена с применением широкополосных электромагнитных сигналов. В качестве методов кодирования и декодирования информации в процессе моделирования использовались методы, основанные на применении сложных сигналов с линейно-частотной модуляцией (ПСЛЧМ), фазоманипулированных сигналов с линейно-частотной манипуляцией (ЛЧМФМ), сложных фазоманипулированных сигналов (ПСФМ) и сигналов основанных на собственных векторах субполосной матрицы [3, 4].

### РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ УЗКОПОЛОСНЫХ ПОМЕХ

Для определения вероятности ошибки каждого метода кодирования и декодирования информации были разработаны компьютерные модели в среде MATLAB.

В процессе моделирования к высокочастотным сигналам добавлялись аддитивные помехи, а именно флуктуационная и узкополосная помеха.

$$\hat{s}(i) = s(i) + s_p(i) + n(i), \quad (1)$$

где  $\hat{s}(i)$  – результирующий сигнал после воздействия помех двух типов;  $n(i)$  – флуктуационная помеха;  $s_p(i)$  – узкополосная помеха;  $i$  – порядковый номер отсчета.

Отношение энергии сигнала к односторонней спектральной мощности флуктуационной помехи постоянно и равно 20 дБ (100). В процессе моделирования менялась энергия сосредоточенной по спектру помехи.

Узкополосная помеха формировалась в процессе моделирования следующим образом:

$$s_p(i) = \begin{cases} \sin(2\pi f_p \Delta t i) & \text{при } \frac{N-b}{2} \leq i \leq \frac{N+b}{2} \\ 0 & \text{при } i > \frac{N+b}{2} \text{ или } i < \frac{N-b}{2} \end{cases}, \quad (2)$$

где  $N$  – количество отсчетов узкополосной помехи;  $b$  – нормированная величина, определяющая длительность сосредоточенной по спектру помехи;  $\Delta t$  – период дискретизации, равный  $5 \cdot 10^{-10}$ . Величина  $b$  определялась следующим образом:

$$b = \frac{T_p}{\Delta t}, \quad (3)$$

где  $T_p$  – длительность помехи.

При этом длительность помехи должна исходить из ширины спектра помехи

$$\Delta F_p = \frac{2}{T_p}. \quad (4)$$

Ширина узкополосной помехи выбирается исходя из спектральных свойств собственного вектора, то есть ширины частотного интервала с минимальной концентрацией энергии. Если учесть, что общая ширина информационного сигнала составляет 1,23 МГц, а количество частотных интервалов равно 16, то ширина узкополосной помехи не должна превышать 70 кГц. Исходя из того, что энергия сигнала не менялась и известны отношения энергии сигнала к энергии помехи (эта величина задается как исходный параметр моделирования), то каждый отсчет сгенерированной узкополосной помехи необходимо умножить на следующий коэффициент:

$$k_p = \sqrt{\frac{E_c}{q_p \frac{\sum_{i=1}^N s_p^2(i)}{N}}}, \quad (5)$$

где  $E_c$  – энергия информационного сигнала;  $q_p$  – отношение энергии сигнала к энергии узкополосной помехи. Вероятность ошибки определяется из отношения количества ошибочных бит, полученных в результате декодирования, к общему количеству переданных. При этом в процессе моделирования было закодировано  $10^{10}$  бит данных, сгенерированных случайно, и определено, какое количество бит после декодирования каждым из четырех методов имели отличия от исходного ( $n_{ou}$ ). Результаты компьютерного моделирования представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Значения вероятности ошибки при использовании для кодирования различных методов в зависимости от величины  $q_p$

Вид СКК	$q_p$					
	0,01	0,0268	0,0719	0,193	0,5179	1,3894
ПСФМ	0,4005	0,3	0,0412	0,0005	$3,06 \cdot 10^{-6}$	$< 10^{-6}$
ПСЛЧМ	0,2001	0,132	0,021	0,00041	$2,06 \cdot 10^{-6}$	$< 10^{-6}$
ЛЧМФМ	0,2501	0,172	0,024	0,000482	$2,96 \cdot 10^{-6}$	$< 10^{-6}$
Собственные вектора	$5,31 \cdot 10^{-5}$	$5,01 \cdot 10^{-5}$	$3,22 \cdot 10^{-5}$	$1,17 \cdot 10^{-5}$	$1,13 \cdot 10^{-6}$	$< 10^{-6}$

Анализ результатов моделирования процессов кодирования и декодирования информации предложенными методами показал, что наиболее помехоустойчивым является метод кодирования информации, основанный на применении собственных векторов субполосных матриц. Вероятность ошибки декодирования информации изменяется при увеличении энергии узкополосной помехи незначительно (около 10 раз), тогда как для других методов величина вероятности ошибки при увеличении энергии помехи возрастает многократно до  $10^5$  раз. Это полностью подтверждает, что метод кодирования информации, основанный на собственных векторах субполосной матрицы, позволяет обеспечить высокую достоверность декодирования данных в информационных коммуникациях при воздействии сосредоточенных по спектру помех, многократно превышающих энергию информационного сигнала.

Для полной оценки помехоустойчивости информационного обмена, основанного на применении собственных векторов субполосной матрицы, кроме определения зависимости величины вероятности ошибки декодирования от энергии помехи, необходимо также провести оценку влияния ширины сосредоточенной по спектру помехи на помехоустойчивость передачи информации. Это связано с тем, что значение ширины частотного диапазона с минимальной концентрацией энергии передаваемого информационного сигнала ограничено [3]. Для метода, основанного на собственных векторах субполосной матрицы, величина ширины спектра частотного интервала с минимальной концентрацией энергии имеет следующий вид:

$$\Delta F_{II} = \frac{\Delta F_{эл}}{R}. \quad (6)$$

Ширина частотного интервала с минимальной локализацией энергии для метода кодирования информации, основанного на собственных векторах субполосной матрицы с числом частотных интервалов 16 и шириной спектра канального сигнала 1,23 МГц, приблизительно равна 70 кГц. Ширина узкополосных помех выбиралась следующим образом: так как ширина частотного интервала собственного вектора составляет примерно 70 кГц [3], то ширина частотного диапазона помехи выбирается от 15 кГц до 250 кГц, чтобы рассмотреть случаи, когда ширина помехи меньше частотного интервала собственного вектора, а также случай, когда помеха шире, чем частотный интервал собственного вектора. Энергия помех с различной шириной спектра была полностью одинакова. Эксперименты проводились для трех значений отношения энергии сигнала к энергии помехи – 0, 0,1 и 0,01. Формирование узкополосной помехи проводилось согласно выражениям (2), (4) и (5). Для каждой сосредоточенной по спектру помехи была определена концентрация энергии в полосе частот интервала  $D_p$  с минимальной концентрацией энергии собственного вектора:

$$K_p = \frac{\hat{E}_p}{E_p}, \quad (7)$$

где  $E_p$  – энергия помехи,  $\hat{E}_p = \vec{s}_p^T A_r \vec{s}_p$  – энергия сосредоточенной по спектру помехи в полосе частот  $D_p$ .

Результаты компьютерного моделирования представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Зависимость вероятности ошибки  $P_{ош}$  при воздействии на сигнал помех с концентрацией энергии  $K_p$  в полосе частот  $D_p$  и шириной спектра  $\Delta F_p$

$q$	$K_p$	$\Delta F_p$	$P_{ош}$
1	0.9822	15 кГц	$1 \cdot 10^{-6}$
	0.9437	30 кГц	$2 \cdot 10^{-6}$
	0.9046	60 кГц	$4 \cdot 10^{-6}$
	0.7442	120 кГц	$5 \cdot 10^{-6}$
	0.545	250 кГц	$8 \cdot 10^{-6}$
0,1	0.9822	15 кГц	$1.2 \cdot 10^{-5}$
	0.9437	30 кГц	$2.7 \cdot 10^{-5}$
	0.9046	60 кГц	$3.2 \cdot 10^{-5}$
	0.7442	120 кГц	$5.2 \cdot 10^{-5}$
	0.545	250 кГц	$8.3 \cdot 10^{-5}$
0,01	0.9822	15 кГц	$2.1 \cdot 10^{-5}$
	0.9437	30 кГц	$3.1 \cdot 10^{-5}$
	0.9046	60 кГц	$6.7 \cdot 10^{-5}$
	0.7442	120 кГц	0.016331
	0.545	250 кГц	0.051221

Как видно из результатов исследования, при воздействии узкополосных помех с различной шириной спектра (шириной основного лепестка спектра помехи) вероятность ошибки меняется незначительно при воздействии помех с шириной спектра до 60 кГц и значительно возрастает при больших значениях. Это связано с тем, что ширина частотного интервала с минимальной концентрацией энергии составляет около 70 кГц, превышение ширины спектра помехи приводит к увеличению воздействия её на спектральные составляющие информационного сигнала, следовательно, на закодированный набор данных, что, в свою очередь, влияет на вероятность ошибки.

### ВЫВОДЫ

Основываясь на результатах представленных выше исследований, можно сделать следующие выводы. Наиболее помехоустойчивым к воздействию сосредоточенных по спектру помех среди рассмотренных методов кодирования информации является метод, основанный на собственных векторах субполосной матрицы. При этом следует отметить, что сосредоточенная по спектру помеха должна быть локализована в частотном интервале с минимальной концентрацией энергии собственных векторов, используемых при кодировании, и не должна превышать по ширине полосу частот, занимаемую данным частотным интервалом.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зюко А.Г. Помехоустойчивость и эффективность систем передачи информации / А.Г. Зюко, А.И. Фалько, И.П. Панфилов и др.; под ред. А.Г. Зюко. – М.: Радио и связь, 1985. – 272 с.
2. Финк Л.М. Сигналы, помехи, ошибки. – М.: Радио и связь, 1984 – 256 с.

3. Жилияков Е.Г., Белов С.П., Старовойт И.А. Об одном алгоритме формирования сигналов с кодовым разделением адресов // Вопросы радиоэлектроники. Серия «Электронная вычислительная техника (ЭВТ)». – Москва, 2012. – Вып. 1. – С. 148-158.
4. Жилияков Е.Г., Белов С.П., Сидоренко И.А. Исследование функции неопределенности псевдослучайных сигналов с линейной частотной модуляцией // Вопросы радиоэлектроники. Серия «РЛТ». – Москва, 2008. – Вып. 4. – С. 100-109.

**Старовойт Иван Александрович**

Белгородский государственный национальный исследовательский университет

Кандидат технических наук, ассистент кафедры информационно-телекоммуникационных систем и технологий

Тел.: 8 960 636 06 03

E-mail: starovoit@bsu.edu.ru

**Жилияков Евгений Георгиевич**

Белгородский государственный национальный исследовательский университет

Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой информационно-телекоммуникационных систем и технологий

Тел.: 8 (4722) 30-13-92

E-mail: zhilyakov@bsu.edu.ru

---

I.A. STAROVOJT (*Candidate of Engineering Science, Assistant Professor of the Department of Information and Telecommunications Systems and Technologies*)

E.G. ZhILYAKOV (*Doctor of Engineering Science, Professor, Head of the Department of Information and Telecommunications Systems and Technologies*  
*National Research University Belgorod State University*)

**EFFECTS OF NARROW-BAND DISTURBANCE ON INTERFERENCE IMMUNITY  
COMMUNICATION SYSTEMS BASED ON THE APPLICATION OF BROADBAND SIGNALS**

*This article presents the simulation results of the narrow-band disturbance's impact on information signal's immunity based on broadband signals with linear frequency modulation, phase shift keying and eigenvectors subband matrix.*

**Keywords:** *broadband signal; narrow-band interference; eigenvectors; subband matrix; information exchange.*

**BIBLIOGRAPHY (TRANSLITERATED)**

1. Zyuko A.G., Pomexoustojchivost' i e'ffektivnost' sistem peredachi informacii / A.G. Zyuko, A.I. Fal'ko, I.P. Panfilov i dr.; pod red. A.G. Zyuko. – M.: Radio i svyaz', 1985. – 272 s.
2. Fink L.M. Signaly', pomexi, oshibki. – M.: Radio i svyaz', 1984 – 256 s.
3. Zhilyakov E.G., Belov S.P., Starovojt I.A. Ob odnom algoritme formirovaniya signalov s kodovy'm razdeleniem adresov // Voprosy' radioelektroniki. Seriya «E'lektronnaya vy'chislitel'naya texnika (E'VT)». – Moskva, 2012. – Vy'p. 1. – S. 148-158.
4. Zhilyakov E.G., Belov S.P., Sidorenko I.A. Issledovanie funkcii neopredelennosti psevdosluchajnx signalov s linejnoy chastotnoj modulyaciej // Vopros radioelektroniki. Seriya «RLT». – Moskva, 2008. – Vp. 4. – S. 100-109.

УДК 004.272.3

Р.Н. ТАКТАРОВ, Н.К. ЮРКОВ

## МЕТОДИКА РЕАЛИЗАЦИИ СИСТЕМЫ ИНВЕНТАРИЗАЦИИ СЕТЕВОГО ОБОРУДОВАНИЯ

*Приведена методика реализации системы инвентаризации сетевого оборудования. На основе анализа требований к системам технического учета были выделены и сформулированы основные требования к информационной системе технического учета сетевого оборудования. Представлена методика реализации системы инвентаризации. Методика реализации системы инвентаризации при невысокой стоимости обеспечивает высокую гибкость, надежность и масштабируемость функционирования, а также автоматизацию идентификации сетевого оборудования с достаточной степенью детализации получаемой информации об объектах учета.*

**Ключевые слова:** инвентаризация; методика реализации; сетевое оборудование.

### ВВЕДЕНИЕ

В современном мире перед телекоммуникационными компаниями стоит задача не только учета и хранения информации о состоянии сетевого оборудования – инструмента предоставления телекоммуникационных услуг, но и выхода на более качественный уровень проведения технического учета сетевого оборудования. При этом предъявляются повышенные требования к функционированию информационных систем, обеспечивающие учет и инвентаризацию этого оборудования – систем инвентаризации (СИ) или систем технического учета (ТУ).

Функциональным назначением информационной системы инвентаризации сетевого оборудования (системы технического учёта) являются: сбор, обработка, хранение и предоставление информации об устройствах информационно-телекоммуникационной сети. Отличительной особенностью данного типа систем инвентаризации является то, что доступ к объекту инвентаризации осуществляется по протоколам сетевой модели OSI. Т.е. объект должен являться частью информационно-телекоммуникационной сети. Данный класс систем ТУ осуществляет свои функции в рамках бизнес-процессов, происходящих в основном в отделах технической эксплуатации телекоммуникационных компаний. Здесь инвентаризация сетевого оборудования понимается не как прием бухгалтерского учета, при котором проверяется фактическое наличие имущества организации на определенную дату, а как средство для обеспечения процессов эксплуатации информационно-коммуникационной сети информацией об используемом сетевом оборудовании. Пользователями системы технического учёта являются подразделения технической эксплуатации и управления услугами оператора связи. Пользователи системы получают доступ к функциям и сведениям СИ в соответствии с делегированными администратором СИ полномочиями.

Высокий уровень ручного труда в рутинных процедурах существующих бизнес-процессов оператора связи, изменение социальных ожиданий и маркетинговой ситуации на рынке связи, острая конкуренция в отрасли телекоммуникаций и снижение доходности от традиционных услуг связи влияют на уровень конкурентоспособности оператора связи и требуют от него внедрения новых услуг, оптимизации информационно-технологической инфраструктуры, повышения уровня доступности предоставляемых услуг, а также скорости подключения к интересующим услугам. Также от оператора связи требуется создание однородной информационно-технологической инфраструктуры, которая отличается высокой степенью автоматизации, гибкостью настройки и конфигурирования, масштабируемостью и высокой эффективностью функционирования. Без полной и достоверной информации о

состоянии сетевых ресурсов автоматизация процессов технической эксплуатации будет затруднена, поскольку на основе некорректной информации будут приниматься ошибочные решения, ведущие к различным трудно прогнозируемым затратам.

### МЕТОДИКА ИНВЕНТАРИЗАЦИИ СЕТЕВОГО ОБОРУДОВАНИЯ

На сегодняшний день предъявляются серьезные требования к СИ, необходимый перечень которых был представлен в работе [1]. Однако, учитывая динамику развития отрасли «Связь» и области ИТ в целом [2, 3, 4], имеет смысл дополнить и уточнить указанный перечень, а также сформулировать одни из главных требований: скорость и простота использования СИ (не в ущерб стабильности и функциональности), поддержание актуальности хранимой информации, минимизация влияния человеческого фактора, возможность отслеживания истории изменения работы с сетевыми устройствами, кросс-платформенность СИ и, как следствие, возможность получения доступа к системе практически с любого устройства, имеющего доступ к сети, осуществляя тем самым расширение инфраструктуры доступа.

Все вышеперечисленные требования являются необходимыми, но среди них были выделены следующие ключевые требования. Система, обеспечивающая кросс-платформенность на основе открытых интернет-технологий, позволяет облегчить внедрение, поддержку и эксплуатацию СИ как с точки зрения материальных затрат, так и с точки зрения использования человеческих ресурсов, что является одним из ключевых требований в планировании внедрения любой современной информационной системы. Также с целью минимизации влияния человеческого фактора на процессы инвентаризации необходимо, чтобы процесс работы с системой инвентаризации был максимально автоматизированным, а именно, чтобы идентификация устройства, полноценный сбор и предоставление необходимых сведений в зависимости от типа устройства производились автоматически. Требование к сочетанию в системе инвентаризации сетевого оборудования данных свойств определяет актуальность СИ с данными характеристиками, поскольку не существуют систем, которые в полной мере удовлетворяют указанным требованиям. В данной работе рассмотрим методику реализации СИ с указанными требованиями.

Методика состоит из следующих этапов:

1. Проведение анализа форматов получаемых данных протокола SNMP (англ. Simple Network Management Protocol – простой протокол сетевого управления) от сетевого объекта.
2. Логическое разделение блоков информации об объектах инвентаризации по временному признаку (статические и динамические) в рамках протокола SNMP.
3. Выбор способа хранения полученных данных, а также способа хранения логов (действий) пользователя СИ.
4. Проектирование структуры базы данных с учетом логического разделения информации, получаемых от сетевого объекта по запросу с помощью протокола SNMP, составляющего СИ.
5. Разработка функциональной структуры СИ и выбор технологий реализации, определение основных функций, которые выполняет СИ.
6. Разработка алгоритмов СИ.

Рассмотрим два существующих способа реализации СИ [1]: «библиотека» и «ядро учета». В рамках создания «библиотеки» можно ожидать повышение функциональной гибкости СИ [5, 6] при необходимости индивидуального подхода к описанию определенного типа объектов. Однако отсутствие единого «ядра учета» для формализации описания объектов или связей между объектами учета может привести к трудностям при объединении и агрегации данных. Второй способ («ядро учета») поддерживает единую логику описания

для всех типов оборудования, что упрощает комплексное описание объектов учета, но может затруднить описание атрибутов, специфичных для конкретного объекта и группы объектов учета. Воздействие второго этапа описанной методики разработки СИ, использование единого подхода к описанию объектов учета и единому использованию шаблонов SNMP объектов учета в процессах инвентаризации сетевого оборудования позволяет создать гибридную СИ, которая, с одной стороны, позволяет гибко описать объекты учета, а с другой – формализовать логику работы с объектами инвентаризации. Второй этап также накладывает свои особенности на этапы проектирования базы данных и разработку функциональной структуры СИ [7, 8].

Архитектура SNMP представляет собой набор управляемых и управляющих систем. В состав управляемой системы входит компонент, называемый агентом (сетевое оборудование), который отправляет отчеты управляющей системе (СИ). Протокол SNMP используется для обмена информацией между станциями сетевого управления и программными агентами сетевого оборудования. По факту, SNMP-агенты передают управленческую информацию на управляющие системы как переменные (такие, как «интерфейсы системы», «имя системы», «количество работающих процессов»). SNMP использует расширяемую разработку, в которой доступная информация определяется базами MIB (англ. Management Information Base – базы управляющей информации). Базы MIB описывают структуру управляемых данных на подсистеме устройства управления и используют иерархическое пространство имен, содержащее OID (англ. Object Identifier – идентификатор объекта). Каждый OID определяет переменную, которая может быть считана либо установлена с помощью SNMP. Управляющая система может получить информацию через операции протокола GET и др. Агент имеет возможность самостоятельно без запроса управляющей системы отправить данные, используя операцию протокола TRAP или INFORM. Управляющие системы имеют возможность отправлять конфигурационные команды или контролирующие запросы, используя операцию SET для непосредственного управления объектом инвентаризации.

В рассматриваемой СИ создаются специальные шаблоны объектов инвентаризации на основе используемого протокола доступа к сетевому оборудованию SNMP, которые включают в себя как статические, так и динамические свойства объекта (идентификаторы объектов инвентаризации), задаваемые администратором системы инвентаризации. Информация о шаблонах и значениях статических параметров заносится в БД в соответствующие таблицы. БД состоит из таблиц, в каждой из которых хранится полученная информация от устройств конкретного типа оборудования, а также информация о динамических и статических OID'ах. Далее в зависимости от используемого функционала СИ «обращается» к таблице со статическими данными идентификаторов объектов либо к соответствующим шаблонам SNMP для автоматического «снятия» той информации с объекта инвентаризации, которая будет актуальна для пользователей конкретной информационно-коммуникационной сети.

Данные SNMP, получаемые от объектов учета, можно разделить на две категории в зависимости от характера их изменения: статические и динамические. К статическим данным отнесем данные, которые мало изменяются по времени (или совсем неизменны для конкретного устройства). К таким данным можно отнести серийный номер, MAC-адрес, IP-адрес, частота, на которой работает радиооборудование, и другие данные, которые могут быть специфичными для конкретного типа устройства. К динамическим отнесем данные, которые чаще переменны во времени в силу более быстрых изменений параметров устройства или окружающей среды. К таким данным относятся текущие показания счетчиков на интерфейсах (ошибки и др.), текущее состояние интерфейсов, текущих

subscribers (подписчиков или станций) на секторе радиооборудования, VLAN'ы и их описание и т.д. Динамические данные не хранятся статически в БД (т.к. срок актуальности этих данных не велик), а выводятся на монитор пользователя в процессе работы по запросу из СИ. Статические данные (имя параметра, соответствующий ему OID, значение параметра конкретного устройства) будут храниться в БД. Для динамических параметров в БД будут храниться только пары «параметр» (атрибут объекта учета) и соответствующий ему OID. Далее данные шаблона SNMP записываются в БД. Такое разделение обеспечивает гибкость и информативность при реализации и использовании системы на конкретной информационно-телекоммуникационной сети, что позволяет всегда иметь основную статическую информацию об объекте инвентаризации, а также в случае необходимости и доступности данного объекта получить доступ к оперативной динамической информации о данном объекте. Данный подход позволяет, не обращаясь напрямую к объекту управления (ввода учетных данных для доступа к объекту, поиска нужной информации и т. д.), оперативно получить сведения о состоянии динамических параметров в рамках системы ТУ. Например, при отсутствии/деградации качества связи у клиента, воспользовавшись системой ТУ и кликнув по одной кнопке на веб-интерфейсе, можно получить информацию о состоянии порта Ethernet на сетевом оборудовании, что сразу подтвердит или опровергнет одну из самых распространенных причин проблемы со связью в сетях IP. Или, например, также кликнув по одной кнопке на веб-интерфейсе, можно получить информацию о состоянии радиоканала абонентского комплекта на определенном секторе, что также позволит, не отрываясь от разговора с клиентом/сервисной службой, однозначно определить причину отсутствия/деградации качества связи.

Информация, получаемая от сетевых устройств по запросу по протоколу сетевого управления SNMP, является разнородной, что создает определенные трудности с обеспечением автоматизации процессов инвентаризации сетевого оборудования – приходится усложнять программный код (в данном случае PHP и JavaScript) для обработки различных форматов данных. Большинство OID'ов устройств не совпадают (совпадают только основные параметры, такие, как «системное имя», «интерфейсы», «расположение» и др.), что создает сложность при добавлении нового устройства в БД. Эта проблема решается за счет использования преднастроенных администратором СИ шаблонов SNMP (через веб-интерфейс), тем самым пополняя и редактируя базу знаний СИ. Необходимо для каждого производителя оборудования добавлять базы MIB в систему для идентификации большего количества параметров конкретного объекта управления. Добавить MIB вендора сетевого оборудования можно тоже через веб-интерфейс работы с шаблонами SNMP системы ТУ. В будущем возможна централизация MIB в единую БД, которую смогут использовать пользователи систем ТУ. Также MIB'ы можно получить с бесплатных сетевых ресурсов из сети Интернет (например, <http://mibdepot.com>).

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложенная методика реализации СИ обеспечивает гибкость и информативность при реализации и использовании СИ на конкретной информационно-телекоммуникационной сети, а также автоматизацию идентификации сетевого оборудования с достаточной степенью детализации получаемой информации. Методика позволяет всегда иметь основную статическую информацию об объекте инвентаризации, а также в случае необходимости и доступности данного объекта получить доступ к оперативной динамической информации о данном объекте, не вынуждая пользователя СИ «обращаться» напрямую к объекту инвентаризации, а также расширяет инфраструктуру доступа к СИ, что позволяет

использовать практически любое электронно-вычислительное устройство с web-браузером, подключенное к сети.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гребешков А.Ю. Управление и технический учет ресурсов в телекоммуникациях. – М.: ИРИАС, 2008. – 326 с.
2. Зацаринный А.А., Шабанов А.П. Управление качеством информации в сложных инфокоммуникационных проектах // Открытое образование, 2011. – № 2. – Ч. 2. – С. 206-210.
3. Кривошеев М.И. К развитию глобального информационного общества // Телецентр, 2005. – № 3(11). – С. 54-58.
4. Молчанов Д.А. Самоорганизующиеся сети и проблемы их построения // Электросвязь, 2006. – № 6. – С. 68-72.
5. Юрков Н.К. Автоматизированные информационные технологии и аппаратура: учеб. пособие. – Изд-во ПГУ, 2000. – 172 с.
6. Юрков Н.К. Модели и алгоритмы управления интегрированными производственными комплексами: монография. – Пенза: ИИЦ Пенз. гос. ун-та, 2003. – 198 с.
7. Yurkov N.K. A functional-target approach to synthesis of systems controlling integrated industrial complexes // Measurement Techniques. N.Y., Springer. – Vol. 42. – № 7, July, 1999. – P. 643-647.
8. Yurkov N.K. Conceptual approach to introduction of information technology into the field of simulation / N.K. Yurkov, A.N. Andreev, A.V. Blinov, A.N. Yakimov // Measurement Techniques. N.Y., Springer. – Vol. 42. – № 5, May, 1999. – P. 421-426.

#### **Тактаров Радик Насибуллаевич**

Российский государственный университет инновационных технологий и предпринимательства (Пензенский филиал), г. Пенза  
Аспирант  
Тел.: 8 (8412) 56-37-97  
E-mail: radiktaktarov@gmail.com

#### **Юрков Николай Кондратьевич**

Пензенский государственный университет, г. Пенза  
Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Конструирование и производство радиоаппаратуры»  
Тел.: 8 (8412) 36-82-12  
E-mail: yurkov\_nk@mail.ru

---

R.N. TAKTAROV (*Post-graduate Student*)

*Russian State University of Innovative Technologies and Entrepreneurship (Penza branch), Penza*

N.K. YURKOV (*Doctor of Engineering Science,  
Head of the Department «Design and Manufacture of Radio»  
Penza State University, Penza*)

### IMPLEMENTATION METHODS OF THE SYSTEM OF INVENTORYING NETWORK EQUIPMENT

*In the article the system inventory implementation methods of network equipment are presented. Based on the analysis of requirements for technical accounting systems have been identified and the main requirements to technical accounting information system network equipment. Methodology for the inventory system implementation is presented. Implementation technique inventory system at low cost provides high flexibility, reliability and scalability of the*

operation, as well as the automation of the identification of network equipment in sufficient detail the information obtained about the objects of accounting.

**Keywords:** *inventorying; implementation methods; network equipment.*

**BIBLIOGRAPHY (TRANSLITERATED)**

1. Grebeshkov A.Yu. Upravlenie i texnicheskij uchyot resursov v telekommunikacijax. – M.: IRIAS, 2008. – 326 s.
2. Zacarinnj'j A.A., Shabanov A.P. Upravlenie kachestvom informacii v slozhny'x infokommunikacionny'x proektax // Otkry'toe obrazovanie, 2011. – № 2. – Ch. 2. – S. 206-210.
3. Krivosheev M.I. K razvitiyu global'nogo informacionnogo obshhestva // Telecentr, 2005. – № 3(11). – S. 54-58.
4. Molchanov D.A. Samoorganizuyushhiesya seti i problemy' ix postroeniya // E'lektrosvyaz', 2006. – № 6. – S. 68-72.
5. Yurkov N.K. Avtomatizirovanny'e informacionny'e tehnologii i apparatura: ucheb. posobie. – Izd-vo PGU, 2000. – 172 s.
6. Yurkov N.K. Modeli i algoritmy' upravleniya integrirovanny'mi proizvodstvenny'mi kompleksami: monografiya. – Penza: IIC Penz. gos. un-ta, 2003. – 198 s.
7. Yurkov N.K. A functional-target approach to synthesis of systems controlling integrated industrial complexes // Measurement Techniques. N.Y., Springer. – Vol. 42. – № 7, July, 1999. – P. 643-647.
8. Yurkov N.K. Conceptual approach to introduction of information technology into the field of simulation / N.K. Yurkov, A.N. Andreev, A.V. Blinov, A.N. Yakimov // Measurement Techniques. N.Y., Springer. – Vol. 42. – № 5, May, 1999. – P. 421-426.

УДК 621.396

Д.И. УШАКОВ

## О ВОЗМОЖНОСТИ ПОВЫШЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ СИГНАЛОВ С OFDM НА ВОЗДЕЙСТВИЕ ДЖИТТЕРА НЕСУЩЕЙ ЧАСТОТЫ

*В статье предлагается метод повышения устойчивости сигнально-кодовых конструкций с OFDM к влиянию нестабильностей опорных генераторов приемной аппаратуры, основанный на использовании в качестве сигнального базиса при формировании канальных сигналов, собственных векторов субполосных матриц со значением собственных чисел, близких к единице. С использованием компьютерного моделирования показано, что применение предлагаемого подхода позволяет повысить устойчивость к влиянию частотного джиттера опорного генератора на 2,5 дБ по сравнению с OFDM-сигналами, построенными на основе базиса Фурье.*

**Ключевые слова:** OFDM; сигнальный базис; субполосная матрица; помехоустойчивость; канальные сигналы; частотный джиттер; сигнально-кодовые конструкции; эффективность системы связи.

### ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

В связи со значительным увеличением потоков удаленного информационного обмена в настоящее время создаются системы связи, обеспечивающие высокую скорость их передачи с заданным качеством обслуживания, среди которых бесспорным лидером являются системы использующие OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplex) [1-5]. Данный метод формирования канальных сигналов характеризуется высокой спектральной эффективностью, и обычно используется в связке с квадратурным модулятором для переноса сформированного сигнала на несущую частоту.

Однако данные модуляторы достаточно чувствительны к рассогласованиям частоты и фазы опорного колебания, ввиду того, что стабильность генераторов несущей частоты конечна ( $10^{-6}$ ) и работа ведется на достаточно высоких частотах (1.5-3 ГГц). Подобный частотный джиттер может также возникнуть в следствие фазового шума, который обусловлен особенностью схемной логики управляющей тактовым генератором либо нестационарность канала связи через который осуществляется передача.

Данное рассогласование обычно компенсируется системами автоматической подстройки частоты, однако некоторая остаточная ошибка всё равно существует, вызывая пропорциональное смещение спектра принимаемого сигнала и искажения в виде потерь ортогональности между квадратурами и поднесущими OFDM сигнала. Поднесущие частоты OFDM теряют взаимонезависимость вследствие того, что анализ спектра сигнала OFDM при его обработке происходит не в точках ортогональности поднесущих, а в области перекрытия спектров поднесущих частот. Это приводит к увеличению соотношения сигнал/шум на входе детектора, уменьшению амплитуды полезного сигнала и внутрисимвольной интерференции, что существенно снижает эффективность системы передачи информации в целом.

Цель работы – предложить метод повышения устойчивости сигнально-кодовых конструкций (СКК) с OFDM к влиянию нестабильностей приемной и передающей аппаратуры на основе применения нового сигнального базиса собственных векторов субполосных матриц.

### МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРЕДЛАГАЕМОГО РЕШЕНИЯ

Формирование дискретных оптимальных канальных сигналов в предлагаемом методе осуществляется в результате решения вариационной задачи по минимизации просачивания

энергии сигнала за пределы выделенного частотного интервала, которая в математическом виде может быть представлена следующим соотношением [6]:

$$\|\vec{x}\|^2 - P_r = \vec{x}^T (\mathbf{I} - \mathbf{A}_r) \cdot \vec{x} = \min, \quad (1)$$

где  $\vec{x}$  – отсчеты сформированного канального сигнала, представленные в виде вектора;  $P_r$  – энергия сигнала в заданном частотном интервале, ширина которого составляет  $(\nu_{r+1} - \nu_r)$ ;  $\mathbf{I} = \text{diag}(1, \dots, 1)$  – единичная матрица;  $\mathbf{A}_r = \{a_{ik}\}$  – субполосная матрица, соответствующая  $r$ -ому частотному интервалу с элементами вида:

$$a_{i,k} = \begin{cases} \frac{e^{j\Omega_2(i-k)} - e^{j\Omega_1(i-k)}}{j2\pi(i-k)} & \text{при } i \neq k, \\ \nu_2 - \nu_1 & \text{при } i = k \end{cases}, \quad (2)$$

$$\Omega = [\Omega_1, \Omega_2), \Omega_k = 2\pi\nu_k; k = 1, 2, \dots,$$

где  $\nu_2, \nu_1$  – границы частотного интервала, в котором формируется сигнал.

В методе формирования сигналов на основе использования выражения (1) находится такой набор собственных векторов  $\vec{q}_k$  матрицы  $\mathbf{A}_r$ , собственные числа которых близки к единице, т.е.:

$$\lambda_1 > \lambda_2 > \dots > \lambda_j \approx 1. \quad (3)$$

Выполнение условия (3) является определяющим, так как только в этом случае может быть сформирован базис собственных векторов субполосных матриц, при использовании которого для формирования канального сигнала будет обеспечен минимальный уровень просачивания его энергии за пределы выделенного частотного интервала.

Действительно, так как собственные числа  $\lambda_j$  равны долям энергии собственных векторов  $\vec{q}_j$ , которые попадают в выделенный частотный интервал и, в соответствии с равенством общей энергии единице выполняются неравенства  $\lambda_j \leq 1$ , то просачивание энергии собственного вектора за пределы выделенного частотного интервала будет равно  $1 - \lambda_j$ . Отсюда явно видно: чем ближе значения  $\lambda_j$  к единице, тем меньше уровень просачивания энергии за пределы выделенного частотного интервала.

Формирование сигналов осуществляется следующим образом:

1. Задается ширина предоставляемого канала связи  $\Delta F$  и длительность временного интервала для передачи сигнала  $T_c$ .

2. Формируется матрица вида (2) размерностью  $N \times N$ , причем  $N = 4T_c \cdot (\Delta F)$ , и вычисляется набор из  $J$  собственных векторов ( $\vec{q}_k$ ), соответствующих или близких к единичным собственным числам. Вычисленный набор собственных векторов хранится в постоянной памяти на передающей и приемной стороне на протяжении всего сеанса передачи информации.

3. Для заданной последовательности передаваемых комплексных модуляционных символов  $d_k$ , выполняется формирование следующего вектора:

$$\vec{s} = \sum_{k=1}^J d_k \vec{q}_k = (\text{Re}(s_1) \dots \text{Re}(s_N)) + j(\text{Im}(s_1) \dots \text{Im}(s_N)). \quad (3)$$

Далее полученный комплексный вектор  $\vec{s}$  обрабатывается в квадратурном модуляторе, его спектр переносится на несущую частоту и сформированная СКК  $S_{QAM}(t)$  передается в канал связи.

Предлагаемый метод позволяет определить канальный сигнал  $S_{QAM}(t)$ , оптимальный в смысле минимума просачивания энергии за пределы выделенного частотного интервала при сохранении точных значений информационного вектора.

### РЕЗУЛЬТАТЫ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Оценка влияния частотного джиттера проводилась с использованием компьютерного моделирования в среде MatLAB. Ввиду того, что одним из наиболее важных требований, предъявляемых к системам радиосвязи, является верность передаваемой от источника сообщения к получателю информации, то в качестве критерия оценки влияния помехи на сигнал целесообразно использовать вероятность ошибки на бит (BER).

Моделирование осуществлялось по следующему алгоритму:

1. Генерировалась бинарная ПСП последовательность, которая являлась передаваемыми данными.

2. Из данной ПСП формировался набор комплексных модуляционных символов заданной размерности (4, 16, 64) для разных видов модуляции.

3. Используя полученные символы, формировались СКК на основе БФ и СВМ, причем формирование происходило в одинаковой полосе частот (20 МГц) и с равной длительностью (12,8 мкс) [9].

4. Далее сформированные СКК обрабатывались в приемнике, причем к опорной частоте квадратурного модулятора добавлялся джиттер ( $\omega_{\Delta}$ ) в виде значений (500, 1000, ...4000 Гц). Математически это можно представить в следующем виде, учитывая, что частота несущей ( $\omega_n$ ) не равна частоте опорного сигнала ( $\omega_{on}$ ) т.е.  $\omega_n \neq \omega_{on}$ :

Для синфазной компоненты:

$$\begin{aligned} y_I(t) &= S_{QAM}(t) \sin(\omega_{on}t) = (I(t) \cos(\omega_n t) + Q(t) \sin(\omega_n t)) \sin(\omega_{on}t) = \\ &= (1/2)I(t) [\sin(\omega_n t - (\omega_n + \omega_{\Delta})t) + \sin(\omega_n t + (\omega_n + \omega_{\Delta})t)] + \\ &+ (1/2)Q(t) [\cos(\omega_n t - (\omega_n + \omega_{\Delta})t) - \cos(\omega_n t + (\omega_n + \omega_{\Delta})t)] = \\ &= (1/2)I(t) \sin(\omega_{\Delta}t) + (1/2)I(t) \sin((2\omega_n + \omega_{\Delta})t) + \\ &+ (1/2)Q(t) \cos(\omega_{\Delta}t) + (1/2)Q(t) \cos((2\omega_n + \omega_{\Delta})t); \end{aligned} \quad (4)$$

Для квадратурной компоненты:

$$\begin{aligned} y_Q(t) &= S_{QAM}(t) \cos(\omega_{on}t) = (I(t) \cos(\omega_n t) + Q(t) \sin(\omega_n t)) \cos(\omega_{on}t) = \\ &= (1/2)I(t) [\cos(\omega_n t - (\omega_n + \omega_{\Delta})t) + \cos(\omega_n t + (\omega_n + \omega_{\Delta})t)] + \\ &+ (1/2)Q(t) [\sin(\omega_n t - (\omega_n + \omega_{\Delta})t) + \sin(\omega_n t + (\omega_n + \omega_{\Delta})t)] = \\ &= (1/2)I(t) \cos(\omega_{\Delta}t) + (1/2)I(t) \cos((2\omega_n + \omega_{\Delta})t) + \\ &+ (1/2)Q(t) \sin(\omega_{\Delta}t) + (1/2)Q(t) \sin((2\omega_n + \omega_{\Delta})t), \end{aligned} \quad (5)$$

где  $S_{QAM}(t)$  – канальный сигнал на несущей частоте;  $I(t)$  и  $Q(t)$  – квадратурные компоненты канального сигнала;  $y_I(t)$  и  $y_Q(t)$  – выходные сигналы на соответствующих квадратурах.

5. Полученные сигналы декодировались, отношение принятых бит к общему количеству переданных вычислялось ошибочно.

6. Пункты 2-5 повторялись для различных системы модуляции исследуемых сигналов (QAM-4, QAM-16, QAM-64).

В таблицах 1-6 представлены результаты экспериментов по оценке устойчивости СКК к частотному джиттеру опорной частоты в приемнике. В полях таблицы находятся значения необходимого соотношения сигнал/шум, которое обеспечивает вероятность ошибки представленной во второй строке таблиц, при воздействии частотного рассогласования

равному значению из первого столбца таблицы. Прочерк в таблице означает невозможность обеспечить заданную вероятность ошибки при указанном частотном джиттере.

Результаты моделирования для модуляции QAM-4 представлены в таблицах 1-2.

Таблица 1 – Помехоустойчивость СКК OFDM при джиттере несущей

Джиттер, Гц	Вероятность ошибки					
	$10^{-6}$	$10^{-5}$	$10^{-4}$	$10^{-3}$	$10^{-2}$	$10^{-1}$
500	15	14,6	14,1	13,2	11,3	10,1
1000	15,5	15,1	14,6	13,9	12,4	11,2
1500	16	15,6	15	14,1	13	11,9
2000	16,4	16	15,4	14,9	14,2	13
2500	17	16,5	16	15,5	14,9	13,8
3000	17,6	17,1	16,6	16,1	15,5	14,9
3500	18,1	17,5	17	16,5	15,9	15
4000	18,6	18	17,4	16,8	16,1	15,4

Таблица 2 – Помехоустойчивость СКК СВМ при джиттере несущей

Джиттер, Гц	Вероятность ошибки					
	$10^{-6}$	$10^{-5}$	$10^{-4}$	$10^{-3}$	$10^{-2}$	$10^{-1}$
500	15	14,4	14,1	13,2	11,3	10,1
1000	15,2	14,6	14,3	13,8	12,1	10,4
1500	15,4	14,8	14,4	14	12,5	10,5
2000	15,6	15	14,6	14,2	12,7	11,6
2500	15,8	15,2	14,7	14,3	13	12
3000	16	15,4	14,8	14,6	13,3	12,5
3500	16,2	15,6	15,1	14,7	13,6	12,8
4000	16,4	15,8	15,3	15,2	14	13

Результаты моделирования для QAM-16 сигналов представлены в таблицах 3-4.

Таблица 3 – Помехоустойчивость СКК OFDM при джиттере несущей

Джиттер, Гц	Вероятность ошибки					
	$10^{-6}$	$10^{-5}$	$10^{-4}$	$10^{-3}$	$10^{-2}$	$10^{-1}$
500	20	19,6	18,6	17,6	16	14

1000	20.5	20	19.2	17.8	16.4	14.6
1500	21.4	21.1	20.1	18	17.5	15.9
2000	23	22.5	21.5	20.5	19	16.8
2500	26	25	23.1	21.4	19.9	18
3000	30	28	25	23	21	19
3500	-	30	28	25	23	20.9
4000	-	-	30	28	25	22

Таблица 4 – Помехоустойчивость СКК СВМ при джиттере несущей

Джиттер, Гц	Вероятность ошибки					
	$10^{-6}$	$10^{-5}$	$10^{-4}$	$10^{-3}$	$10^{-2}$	$10^{-1}$
500	19,8	19,5	18,4	17,4	16	11,8
1000	20,3	19,8	19	18	16,3	12,1
1500	21	20,3	19,5	18,4	17	12,9
2000	21,4	21	20	19,1	17,9	14,1
2500	23,8	22,6	20,7	19,6	27,5	14,9
3000	27,6	25,7	22,5	20,6	18,4	16,1
3500	30	27,8	25,4	24,8	20,6	17,2
4000	34	30	27,8	25,5	22,4	19,5

Результаты моделирования для QAM-64 сигналов представлены в таблице (5-6):

Таблица 5 – Помехоустойчивость СКК OFDM при джиттере несущей

Джиттер, Гц	Вероятность ошибки					
	$10^{-6}$	$10^{-5}$	$10^{-4}$	$10^{-3}$	$10^{-2}$	$10^{-1}$
500	33,2	30,7	27,6	23,2	20	17,1
1000	36	34,2	30,1	26,4	20,8	18,2
1500	40	35	31,7	28,2	22,6	20
2000	-	40	37	32	27	21
2500	-	-	40	37	30	22
3000	-	-	-	40	35	30
3500	-	-	-	-	40	34
4000	-	-	-	-	-	-

Таблица 6 – Помехоустойчивость СКК СВМ при джиттере несущей

Джиттер, Гц	Вероятность ошибки					
	$10^{-6}$	$10^{-5}$	$10^{-4}$	$10^{-3}$	$10^{-2}$	$10^{-1}$
500	33	28,4	25,5	21,4	18,2	15
1000	35,5	33,7	28,4	25	18	14,5
1500	37,6	34,2	28,9	26	20	17,6
2000	40	37	31,2	27,3	23,2	18,1
2500	-	40	37,2	32,3	28,7	25,8
3000	-	-	40	37	34,3	31,8
3500	-	-	-	40	37,6	35
4000	-	-	-	-	39,8	35,9

Экспериментально установлено, что сигнально-кодовые конструкции, формируемые на основе СВМ, обладают на 2,5 дБ большей устойчивостью к влиянию частотного рассогласования генераторов в отличие от классических OFDM сигналов.

### ВЫВОДЫ

Из полученных результатов можно сделать вывод, что применение базиса собственных векторов субполосных матриц для формирования сигнально-кодовых конструкций позволяет повысить их устойчивость к частотным рассогласованиям опорной частоты и нестабильностям приемо-передающей аппаратуры. Согласно полученным экспериментальным данным, предложенный подход обеспечивает в среднем на 2,5 дБ больше устойчивости к воздействию частотного джиттера на опорную частоту квадратурного модулятора, чем классические сигнально-кодовые конструкции на основе базиса Фурье.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тихвинский В.О., Терентьев В.О., Юрчук А.Б. Сети мобильной связи LTE. Технологии и архитектура. – М.: Эко-Трендз, 2010. – 128 с.
2. Еременко А.И., Пименов В.А. Этапы развития и преимущества применения технологии ортогонального частотного мультиплексирования // Телекоммуникации, 2007. – № 12. – С.18-21.
3. Сюваткин В.С., Есипенко В.И. и др. WiMAX – технология беспроводной связи: основы теории, стандарты, применение. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – С. 99-105.
4. Ahmad R.S. Bahai., Burton R. Salzberg. Multi-Carrier Digital Communication. Theory and Application of OFDM. Kluwer Academic/Plenum Publishers. – New York, 2007.
5. Henrik Schulze, Christian Luders. Theory and Application of OFDM and CDMA. Wideband Wireless Communications / British library Cataloguing in Publication Data: John Wiley & Sons, Ltd, 2005.
6. Жилияков Е.Г. Вариационные методы анализа и построения функций по эмпирическим данным: моногр. – Белгород: Изд-во БелГУ, 2007.
7. Хилько В.О. Некоторые аспекты применения технологии OFDM в системах мобильной связи // Мобильные системы, 2007. – № 7. – С. 6-9.

8. Иванов Ю.А., Невструев И.А. Структура и помехоустойчивость систем беспроводного доступа с OFDM // Электротехнические и информационные комплексы и системы, 2009. – № 3. – Т. 5. – С. 25-29.
9. Шахнович И.В. Современные технологии беспроводной связи. – М.: Техносфера, 2004.
10. Андрианов М.Н. Повышение помехоустойчивости при передаче информации по OFDM каналу в сложной помеховой обстановке / М.Н. Андрианов, А.В. Бумагин, А.В. Гондарь, А.А. Прудников, В.Б. Стешенко // Электросвязь, 2010. – № 7. – С. 38-41.
11. Давыдов А.В., Мальцев А.А. Анализ помехоустойчивости OFDMA-систем связи, работающих при наличии интерферирующих станций // Известия высших учебных заведений. Серия «Радиофизика», 2007. – № 6. – Т. 50. – С. 533-543.
12. Бочков Г.Н., Горохов К.В., Колобков А.В. Способ относительной фазовой модуляции OFDM-сигналов // Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. Серия «Радиофизика», 2009. – № 2. – С. 62-70.
13. Прокис Дж. Цифровая связь: пер. с англ; под ред. Д.Д. Кловского. – М.: Радио и связь, 2000.
14. Феер К. Беспроводная цифровая связь. Методы модуляции и расширения спектра: пер. с англ.; под ред. В.И. Журавлева. – М.: Радио и связь, 2000.

**Ушаков Дмитрий Игоревич**

Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород  
Кандидат технических наук, ассистент кафедры информационно-телекоммуникационных систем и технологий

Тел.: 8 (4722) 30-13-00

E-mail: Ushakov\_d@bsu.edu.ru

---

D.I. USHAKOV (*Candidate of Engineering Science, Assistant Professor of the Department of Information and Telecommunications Systems and Technologies*)  
*National Research University Belgorod State University, Belgorod*

**ABOUT POSSIBILITY INCREASING IMMUNITY OFDM SIGNALS  
ON IMPACT JITTER OF CARRIER FREQUENCY**

*The paper proposes a method for increasing noise immunity of signal-code-constructions based on c OFDM is used as a basis for forming a signal channel signals, the eigenvectors subband matrices with the value of the eigenvalues close to unity. Using computer simulation shows that the application of the proposed approach can improve resistance to the influence of the frequency of the reference oscillator jitter by 2.5 dB compared with OFDM signals constructed on the basis of the Fourier basis.*

**Keywords:** *OFDM; signal basis subband matrix; immunity; channel signals; frequency jitter; signal-code structures; the efficiency of the communication system.*

**BIBLIOGRAPHY (TRANSLITERATED)**

1. Tixvinskij V.O., Terent'ev V.O., Yurchuk A.B. Seti mobil'noj svyazi LTE. Texnologii i arxitektura. – М.: E'ko-Trendz, 2010. – 128 s.
2. Ertomenko A.I., Pimenov V.A. E'tapy' razvitiya i preimushhestva primeneniya texnologii ortogonal'nogo chastotnogo mul'tipleksirovaniya // Telekommunikacii, 2007. – № 12. – S.18-21.
3. Syuvatkin V.S., Esipenko V.I. i dr. WiMAX – texnologiya besprovodnoj svyazi: osnovy' teorii, standarty', primeneniye. – SPb.: BXV-Peterburg, 2005. – S. 99-105.
4. Ahmad R.S. Bahai., Burton R. Salzberg. Multi-Carrier Digital Communication. Theory and Application of OFDM. Kluwer Academic/Plenum Publishers. – New York, 2007.
5. Henrik Schulze, Christian Luders. Theory and Application of OFDM and CDMA. Wideband Wireless Communications / British library Cataloguing in Publication Data: John Wiley & Sons, Ltd, 2005.
6. Zhilyakov E.G. Variacionny'e metody' analiza i postroeniya funkcij po e'mpiricheskim danny'm: monogr. – Belgorod: Izd-vo BelGU, 2007.

7. Xil'ko V.O. Nekotory'e aspekty' primeneniya texnologii OFDM v sistemax mobil'noj svyazi // Mobil'ny'e sistemy', 2007. – № 7. – S. 6-9.
8. Ivanov Yu.A., Nevstruev I.A. Struktura i pomexoustojchivost' sistem besprovodnogo dostupa s OFDM // E'lektrotexnicheskie i informacionny'e komplekсы' i sistemy', 2009. – № 3. – T. 5. – S. 25-29.
9. Shaxnovich I.V. Sovremennye texnologii besprovodnoj svyazi. – M.: Texnosfera, 2004.
10. Andrianov M.N. Povy'shenie pomexoustojchivosti pri peredache informacii po OFDM kanalu v slozhnoj pomexovoj obstanovke / M.N. Andrianov, A.V. Bumagin, A.V. Gondar', A.A. Prudnikov, V.B. Steshenko // E'lektrosvyaz', 2010. – № 7. – S. 38-41.
11. Davy'dov A.V., Mal'cev A.A. Analiz pomexoustojchivosti OFDMA-sistem svyazi, rabotayushhix pri nalichii interferiruyushhix stancij // Izvestiya vy'sshix uchebny'x zavedenij. Seriya «Radiofizika», 2007. – № 6. – T. 50. – S. 533-543.
12. Bochkov G.N., Goroxov K.V., Kolobkov A.V. Sposob otnositel'noj fazovoj modulyacii OFDM-signalov // Vestnik Nizhegorodskogo universiteta im. N.I. Lobachevskogo. Seriya «Radiofizika», 2009. – № 2. – S. 62-70.
13. Prokis Dzh. Cifrovaya svyaz': per. s angl.; pod red. D.D. Klovsogo. – M.: Radio i svyaz', 2000.
14. Feer K. Besprovodnaya cifrovaya svyaz'. Metody' modulyacii i rasshireniya spektra: per. s angl.; pod red. V.I. Zhuravleva. – M.: Radio i svyaz', 2000.

УДК 621.396.6.019

В.В. БУХАРИН, В.В. ДВОРЯДКИН, С.Ю. КАРАЙЧЕВ

## УПРАВЛЕНИЕ ДОСТУПОМ К ИНФОРМАЦИОННЫМ РЕСУРСАМ ИНФОРМАЦИОННО-ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ ПРИ ОБЕСПЕЧЕНИИ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

*Рассмотрен метод управления доступом к информационным ресурсам информационно-телекоммуникационной сети при обеспечении информационной безопасности. Метод относится к области обеспечения информационной безопасности и может быть использован при эксплуатации сетей связи для предотвращения несанкционированного доступа пользователей к сетевым информационным ресурсам и сервисам посредством распределенного контроля устанавливаемых сетевых соединений.*

**Ключевые слова:** информационно-телекоммуникационная сеть; управление доступом; информационная безопасность.

### ВВЕДЕНИЕ

Проведенный анализ руководящих и нормативных документов Российской Федерации (РФ), регламентирующих обеспечение информационной безопасности (ИБ) в информационно-телекоммуникационных сетях (ИТКС) [1-4], за последнее время показал, что основные усилия научных разработок в области защиты информации необходимо направить на обеспечение обнаружения, предупреждения и ликвидации последствий компьютерных атак на информационные ресурсы.

При эксплуатации ИТКС могут возникнуть события безопасности, связанные с реализацией злоумышленниками различных видов деструктивных программных воздействий (ДПВ). Эффективность реализации ДПВ определяется как уязвимостями программного обеспечения защиты, так и эффективностью средств и способов защиты и конфигурации политики безопасности средств защиты. Как правило, ДПВ направлены на получение несанкционированного доступа (НСД) к информации, циркулирующей в ИТКС, для ее последующего использования в интересах противоборствующей стороны. Для предотвращения НСД к информации используются программные и технические средства (межсетевые экраны, средства обнаружения вторжений, средства обнаружения компьютерных атак, антивирусы и т.д.). Одним из эффективных методов решения проблемы защиты ИТКС от НСД может быть использование распределенного контроля устанавливаемых сетевых соединений.

### ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Информационная безопасность при управлении доступом к информационным ресурсам ИТКС на стадии эксплуатации является актуальной задачей, что требует разработки и использования эффективных методов для ее решения. Использование предлагаемого метода призвано обеспечить повышение уровня защищенности ИТКС за счет осуществления дополнительного анализа потоков несанкционированного доступа и изменения разрешенных маршрутов передачи потоков данных.

## ОСНОВНЫЕ ОГРАНИЧЕНИЯ И ДОПУЩЕНИЯ

При разработке метода рассматривался несанкционированный доступ (несанкционированные действия), под которым понимается доступ к информации или действия с информацией, осуществляемые с нарушением установленных прав и (или) правил доступа к информации или действий с ней с применением штатных средств информационной системы или средств, аналогичных им по своим функциональному предназначению и техническим характеристикам [5].

## РЕШЕНИЕ

Предложенный метод может быть использован при эксплуатации сетей связи для предотвращения несанкционированного доступа пользователей к сетевым информационным ресурсам и сервисам посредством распределенного контроля устанавливаемых сетевых соединений.

Наиболее близким технически к предлагаемому методу является способ управления потоками данных защищенных распределенных информационных систем в сети шифрованной связи [6]. Способ заключается в следующих действиях: задают таблицу коммутации, определяющую соответствие между портами устройства подключения и сетевыми адресами соединенных с ним устройств, управляют коммутацией сетевых соединений с использованием динамической таблицы коммутации, определяющей разрешенные маршруты передачи потоков данных, выявляют события безопасности в передаваемом потоке данных, временно блокируют поток данных при обнаружении событий безопасности, анализируют обнаруженное событие для принятия решения о допустимости передачи связанного с этим событием потока данных, изменяют динамическую таблицу коммутации в зависимости от правил дополнительно определенной политики безопасности, блокируют поток либо передают его по назначению в зависимости от разрешения динамической таблицей коммутации сетевого взаимодействия, которое реализуется этим потоком данных.

Недостатком способа является относительно низкая защищенность информационно-телекоммуникационной сети, обусловленная тем, что управление доступом к информационным ресурсам ИТКС при возникновении событий безопасности осуществляется только путем их блокирования, что может привести к новым реализациям несанкционированного доступа нарушителем уже с учетом полученной информации о системе защиты информационно-телекоммуникационной сети.

Предложенный метод можно пояснить на схеме информационно-телекоммуникационной сети (рис. 1).

Информационно-телекоммуникационная сеть 2 подключена к внешней сети посредством блока анализа. В общем случае информационно-телекоммуникационная сеть 2 представляет собой совокупность сетевых узлов  $2.1_1-2.1_N$  (маршрутизаторов, концентраторов, коммутаторов, ПЭВМ) [7], центра управления доступом 3, блока анализа 4, узла дополнительного анализа 5, объединенных физическими линиями связи. Все эти элементы имеют идентификаторы, в качестве которых в наиболее распространенном стеке протоколов TCP/IP используются сетевые адреса (IP-адреса). Внешняя сеть представлена набором маршрутизаторов, осуществляющих транспортировку информационных потоков из одной ИТКС в другую. Информационным потоком (или потоком данных) называют непрерывную последовательность данных, объединенных набором общих признаков, выделяющих их из общего сетевого трафика [7].

Кроме этого, центр управления доступом 3 обрабатывает события безопасности при получении от блока анализа 4 оповещения об их наличии в информационном потоке. Под

событием безопасности понимается операция или действие, совершенное пользователем или программой, приводящее к изменению потоков данных в распределенной информационной системе. Событием безопасности является идентифицированное появление определенного состояния системы, сервиса или сети, указывающего на возможное нарушение политики безопасности или на отказ защитных мер, или возникновение неизвестной ранее ситуации, которая может иметь отношение к безопасности [8].

Далее блок анализа 4 осуществляет изменение динамической таблицы коммутации в соответствии с общесистемной политикой безопасности и направляет нелегитимный информационный поток на узел дополнительного анализа 5. Узел дополнительного анализа 5 осуществляет изменение динамической таблицы конфигурации и формирует ответный информационный поток.

Структура пакетов сообщений известна, как известен и принцип передачи пакетов в вычислительных сетях. Например, на рисунке 2 представлена структура заголовка TCP-пакетов сообщений, где выделены поля портов источника и портов получателя пакета сообщений [9].

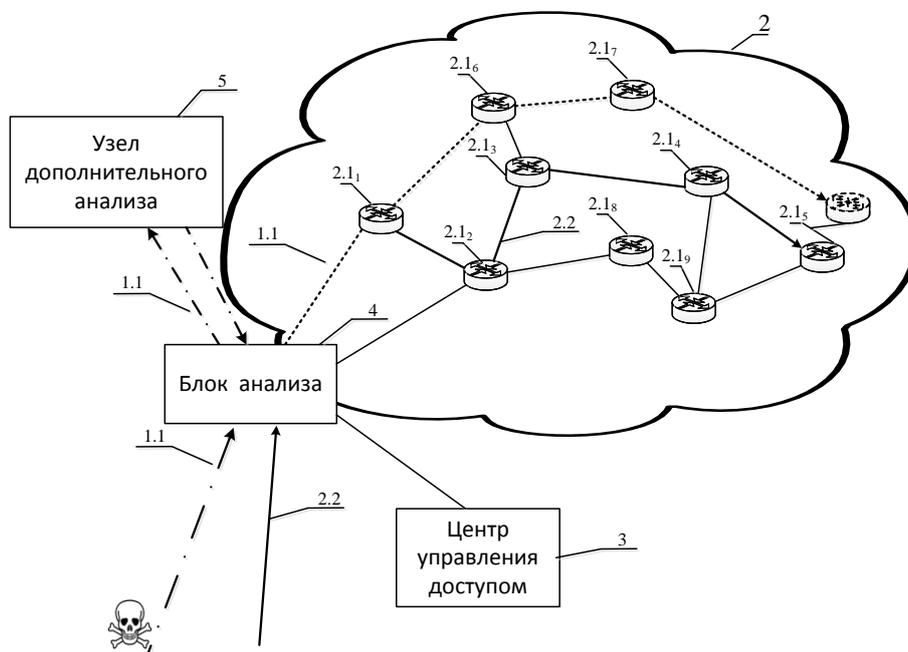


Рисунок 1 – Схема информационно-телекоммуникационной сети

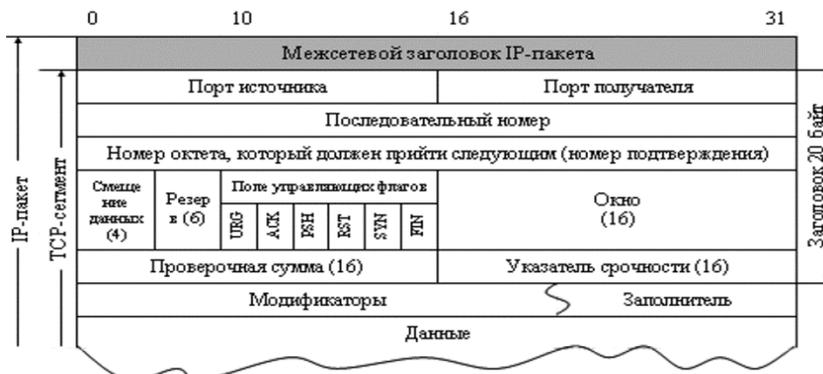


Рисунок 2 – Структура заголовка TCP-пакетов сообщений

Пакеты, поступающие на транспортный уровень, формируются операционной системой в виде множества очередей к точкам входа различных прикладных процессов. В терминологии TCP/IP системные очереди называются портами. Для однозначной идентификации портов им присваиваются номера портов. Номера портов используются для адресации приложений; если процессы представляют собой популярные общедоступные службы, такие, как FTP, telnet, HTTP, TFTP, DNS и т.д., то за ними закрепляются стандартные, назначенные номера, также называемые номерами портов (рис. 2). Для некоторых приложений номера портов назначаются операционной системой локально в ответ на поступление запроса от приложения [7].

При прохождении информационного потока через внешнюю сеть осуществляется его маршрутизация от источника к получателю в соответствии с IP-адресом назначения. Пара, состоящая из номера сети и номера узла, является сетевым адресом. В технологии TCP/IP сетевой адрес называют IP-адрес [7].

На рисунке 3 представлена блок-схема последовательности действий, реализующих метод управления доступом к информационным ресурсам ИТКС.

Первоначально формируют таблицу коммутации  $M$  и динамическую таблицу конфигурации  $K$  согласно общесистемной политики безопасности (блок 1, рис. 3). В таблице коммутации локальному или глобальному признаку (признакам) потока (например, адресу назначения) ставят в соответствие номер порта, на который узел сети должен передавать данные, относящиеся к этому потоку [7]. В динамическую таблицу конфигурации входят две таблицы, причем в первой таблице номеру события безопасности ставят в соответствие значения адресов сетевых узлов и номера портов (рис. 4), а во второй формируют к требуемому узлу сети безопасный маршрут в соответствии с номером события безопасности (рис. 5).

Если передача потока данных  $P$  разрешена таблицей коммутации, то его передают по назначению согласно таблице коммутации на запрашиваемый узел сети ИТКС (блок 4, рис. 5). Если таблицей коммутации запрещена передача потока данных  $P$  на запрашиваемый узел сети, то блок анализа 4 передает поток данных  $P$  на узел дополнительного анализа 5, где из потока данных  $P$  выделяют сетевые адреса  $S$  и номера портов  $R$  и (блоки 5-6, рис. 3).

Далее на узле дополнительного анализа осуществляют проверку наличия в ИТКС выделенных из информационного потока  $P$  сетевых адресов  $S$  и соответствующих им номеров портов  $R$  (блоки 6-7, рис. 3). Если сетевые адреса  $S$  и соответствующие им номера портов  $R$  существуют в ИТКС, то для данных узлов в соответствии с номером события безопасности определяются новые сетевые адреса и номера портов по динамической таблице конфигурации  $K$  (блок 8, рис. 3). Далее присваивают новые параметры  $S$ ,  $R$ , узлам сети ИТКС (блок 9, рис. 3). После чего формируют безопасный маршрут по динамической таблице конфигурации  $K$  (рис. 5), для чего каждому узлу связи ИТКС в зависимости от номера события безопасности определяют соответствующий маршрут  $L$  передачи информационного потока (блок 10, рис. 3). На рисунке 1 жирной линией показан исходный маршрут  $S_2$ ,  $S_3$ ,  $S_4$  передачи информационных потоков при отсутствии событий безопасности, а новый безопасный маршрут показан пунктирной линией и включает в себя узлы сети  $S_1$ ,  $S_6$ ,  $S_7$ .

Далее вносят изменения в динамическую таблицу конфигурации  $K$  и таблицу коммутации  $M$  (блоки 11-12, рис. 3) путем, во-первых, изменения используемых сетевых адресов  $S$  и соответствующих им номеров портов  $R$  на новые, во-вторых, исключения из первой таблицы использовавшихся вариантов конфигурации сети. Затем формируют ответный поток  $F$  для уточнения события безопасности.

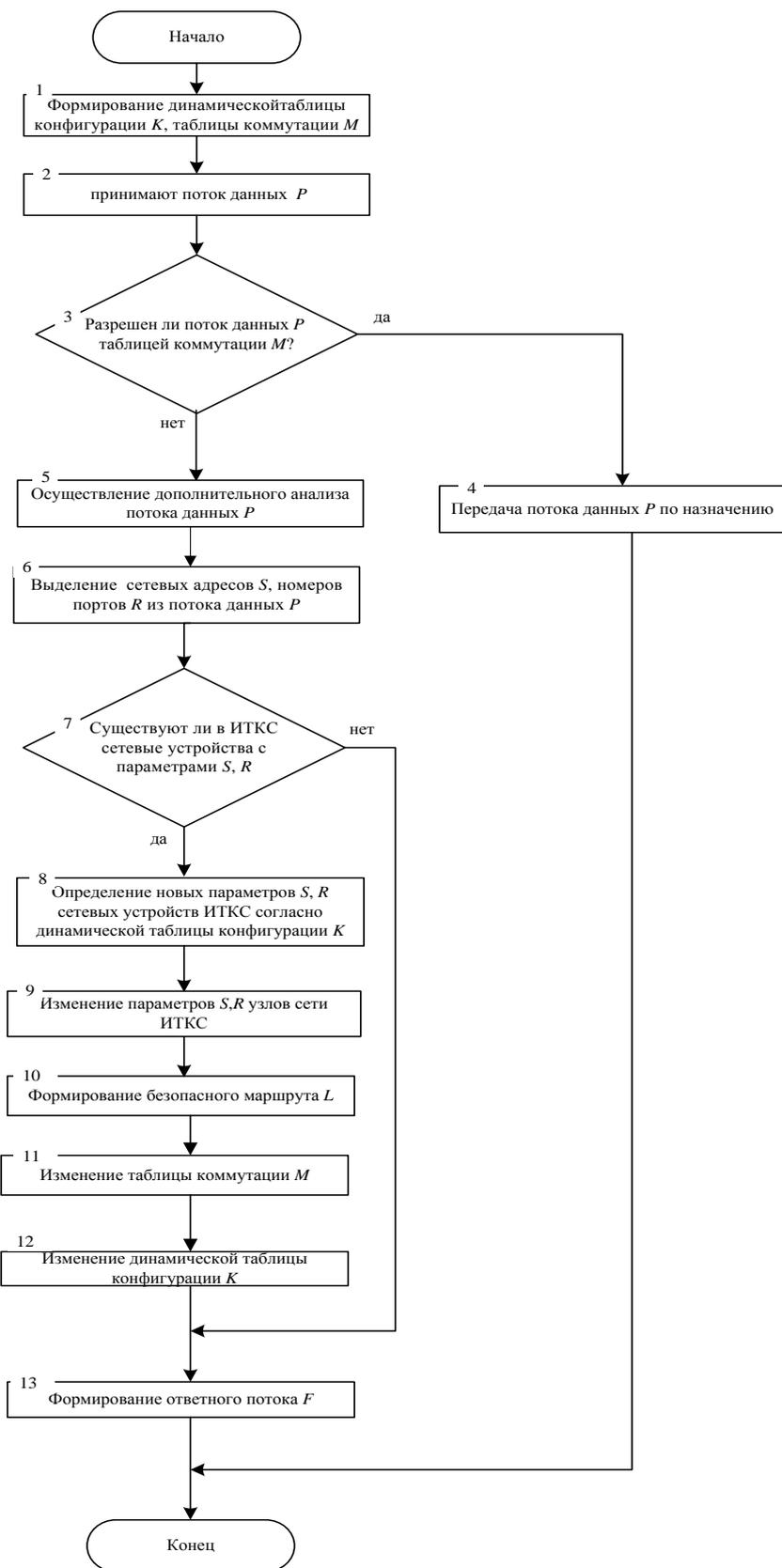


Рисунок 3 – Последовательность действий метода управления доступом к информационным ресурсам ИТКС

№ узла	№ события безопасности	IP адрес	№ порта
1(10.230.231.1)	1	10.230.231.4	1024/1050
	2	10.230.231.7	1033/1043
	3	10.230.231.12	1025/1065
	4	10.230.231.24	1055/1073
	...	...	...
	<i>i</i>	10.230.231.56	1026/1032
2(10.230.235.246)	1	10.230.235.240	1035/1036
	2	10.230.235.232	1038/1040
	3	10.230.235.203	1041/1048
	4	10.230.235.41	1043/1049
	5	10.230.235.30	1042/1051
	...	...	...
	<i>i</i>	10.230.235.5	1059/1060
3(10.230.232.1)	1	10.230.232.23	1057/1061
	2	10.230.232.15	1064/1068
	3	10.230.232.206	1066/1069
	4	10.230.232.105	1067/1077
	5	10.230.232.112	1070/1030
	...	...	1072/1083
	<i>i</i>	10.230.232.161	1115/1126
...	...	...	...
N(10.230.245.255)	1	10.230.245.205	1079/1080
	2	10.230.245.209	1081/1092
	3	10.230.245.2	1083/1095
	4	10.230.245.5	1096/1112
	5	10.230.245.45	1097/1114
	...	...	...
	<i>i</i>	10.230.245.33	1272/1253

*Рисунок 4 – Схема, поясняющая порядок формирования сетевых адресов в потоке данных в зависимости от событий безопасности*

№ узла	№ события безопасности	Маршрут
4	1	$S_2, S_3;$
	2	$S_1, S_6, S_3;;$
	3	$S_2, S_8, S_9;$
	4	$S_1, S_6, S_7, S_5;$
	...	...
	$i$	$S_1, \dots, S_N;$
5	1	$S_2, S_3, S_4;$
	2	$S_1, S_6, S_7;$
	3	$S_2, S_8, S_9;$
	4	$S_2, S_3, S_4, S_9;$
	...	...
	$i$	$S_2, \dots, S_N;$
...	.....	.....
$N$	1	$S_1, \dots, S_N;$
	2	$S_2, \dots, S_N;$
	...	...
	$i$	$S_1, \dots, S_N;$

*Рисунок 5 – Схема, поясняющая порядок формирования безопасного маршрута в зависимости от событий безопасности*

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предлагаемый метод осуществляет дополнительный анализ потоков несанкционированного доступа и изменение разрешенных маршрутов передачи потоков данных путем управления параметрами (адресами и портами) узлов, позволяет обеспечить повышение защищенности ИТКС.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Указ Президента Российской Федерации «О создании государственной системы обнаружения, предупреждения и ликвидации последствий компьютерных атак на информационные ресурсы Российской Федерации» от 15 января 2013 г. № 31с (выписка). – М.: Издательство указов, 2013. – С. 1-3.
2. Методический документ ФСТЭК России «Профиль защиты систем обнаружения вторжений уровня сети шестого класса защиты». – М.: ФСТЭК, 2012. – 58 с.
3. Методический документ ФСТЭК России «Профиль защиты средств антивирусной защиты типа «Г» шестого класса защиты». – М.: ФСТЭК, 2012. – 37 с.
4. Методический документ ФСТЭК России «Профиль защиты средств антивирусной защиты типа «Г» шестого класса защиты». – М.: ФСТЭК, 2012. – 42 с.
5. Руководящий документ «Базовая модель угроз безопасности персональных данных при их обработке в информационных системах персональных данных». – М.: ФСТЭК, 2008. – 76 с.

6. Патент RU № 2402881, МПК H04L 9/32, опубл. 27.10.2010 г., бюлл. № 30.
7. Олифер В.Г., Олифер Н.А. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы (3-е издание). – СПб.: Питер, 2009. – 600 с.
8. ГОСТ Р ИСО/МЭК 18044-2007 Информационная технология. Методы и средства обеспечения безопасности. Менеджмент инцидентов информационной безопасности. – М.: Издательство стандартов, 2002. – 2 с.
9. RFC-793 Transmission Control Protocol, 1981. – С. 8-12.

**Бухарин Владимир Владимирович**

Академия ФСО России, г. Орел  
Доктор технических наук, доцент  
Тел.: 8 (4862) 54-94-50  
E-mail: bobah\_buch@mail.ru

**Дворядкин Владимир Владимирович**

Академия ФСО России, г. Орел  
Преподаватель  
Тел.: 8 (4862) 54-94-50  
E-mail: Camay\_orel@mail.ru

**Карайчев Сергей Юрьевич**

Академия ФСО России, г. Орел  
Преподаватель  
Тел.: 8 (4862) 54-94-50

---

V.V. BUXARIN (*Doctor of Engineering Science, Associate Professor*)

V.V. DVORYADKIN (*Teacher*)

S.Yu. KARAJCHEV (*Teacher*)

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

**CONTROL OF ACCESS TO THE INFORMATION RESOURCES OF INFORMATION-  
TELECOMMUNICATION SYSTEM IN PROVIDING INFORMATION SECURITY**

*The method of control over access to information resources of an information and telecommunication network is considered when ensuring information security. The method belongs to area of ensuring information security and can be used at operation of communication networks for prevention of unauthorized access of users to network information resources and services by means of the distributed control of established network connections.*

**Keywords:** *information and telecommunication network; management of access; information security.*

**BIBLIOGRAPHY (TRANSLITERATED)**

1. Ukaz Prezidenta Rossijskoj Federacii «O sozdanii gosudarstvennoj sistemy' obnaruzheniya, preduprezhdeniya i likvidacii posledstvij komp'yuternyx atak na informacionny'e resursy' Rossijskoj Federacii» ot 15 yanvarya 2013 g. № 31s (vy'piska). – M.: Izdatel'stvo ukazov, 2013. – S. 1-3.
2. Metodicheskij dokument FSTE'K Rossii «Profil' zashhity' sistem obnaruzheniya vtorzhenij urovnya seti shestogo klassa zashhity'». – M.: FSTE'K, 2012. – 58 s.
3. Metodicheskij dokument FSTE'K Rossii «Profil' zashhity' sredstv antivirusnoj zashhity' tipa «G» shestogo klassa zashhity'». – M.: FSTE'K, 2012. – 37 s.
4. Metodicheskij dokument FSTE'K Rossii «Profil' zashhity' sredstv antivirusnoj zashhity' tipa «G» shestogo klassa zashhity'». – M.: FSTE'K, 2012. – 42 s.
5. Rukovodyashhij dokument «Bazovaya model' ugroz bezopasnosti personal'ny'x danny'x pri ix obrabotke v informacionny'x sistemax personal'ny'x danny'x». – M.: FSTE'K, 2008. – 76 s.
6. Patent RU № 2402881, МПК H04L 9/32, опубл. 27.10.2010 г., бюлл. № 30.

7. Olifer V.G., Olifer N.A. Komp'yuterny'e seti. Principy', texnologii, protokoly' (3-e izdanie). – SPb.: Piter, 2009. – 600 s.
8. GOST R ISO/ME'K 18044-2007 Informacionnaya texnologiya. Metody' i sredstva obespecheniya bezopasnosti. Menedzhment incidentov informacionnoj bezopasnosti. – M.: Izdatel'stvo standartov, 2002. – 2 s.
9. RFC-793 Transmission Control Protocol, 1981. – S. 8-12.

УДК 62-5

Д.А. ТУПИКИН, С.В. КИСЕЛЕВА, И. АГИБАЛОВ

**ОПТОЭЛЕКТРОННОЕ УСТРОЙСТВО ВИЗУАЛИЗАЦИИ  
С МЕХАНИЧЕСКОЙ РАЗВЕРТКОЙ**

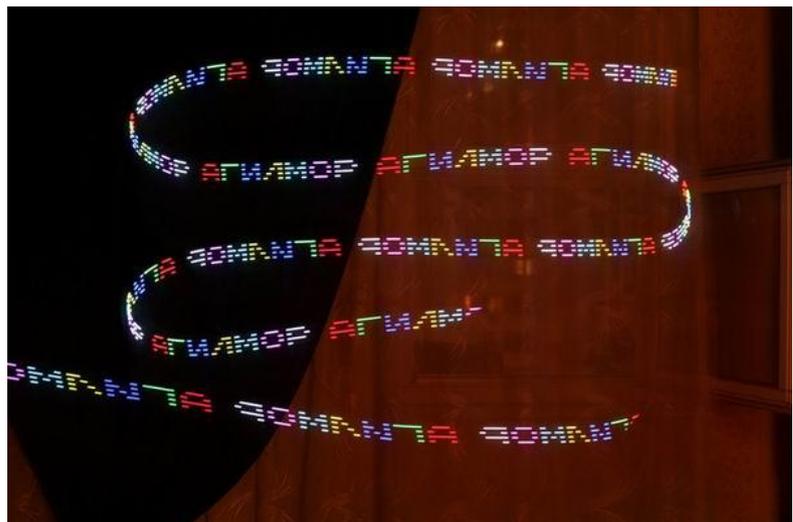
*Рассмотрена возможность создания действующего прототипа устройства с альтернативным методом отображения информации с целью уменьшения площади неактивного прибора.*

**Ключевые слова:** индикатор; светодиодная матрица; печатная плата; оперативная память.

Разработанное устройство основано на эффекте Боба Блика – иллюзии «висящего» в воздухе изображения с помощью быстро перемещающихся источников света. Применение этого эффекта не получило широкого распространения. Существуют различные технические решения, основанные на данном эффекте; некоторые примеры представлены на рисунках 1 и 2.



*Рисунок 1 – «Глобус»*



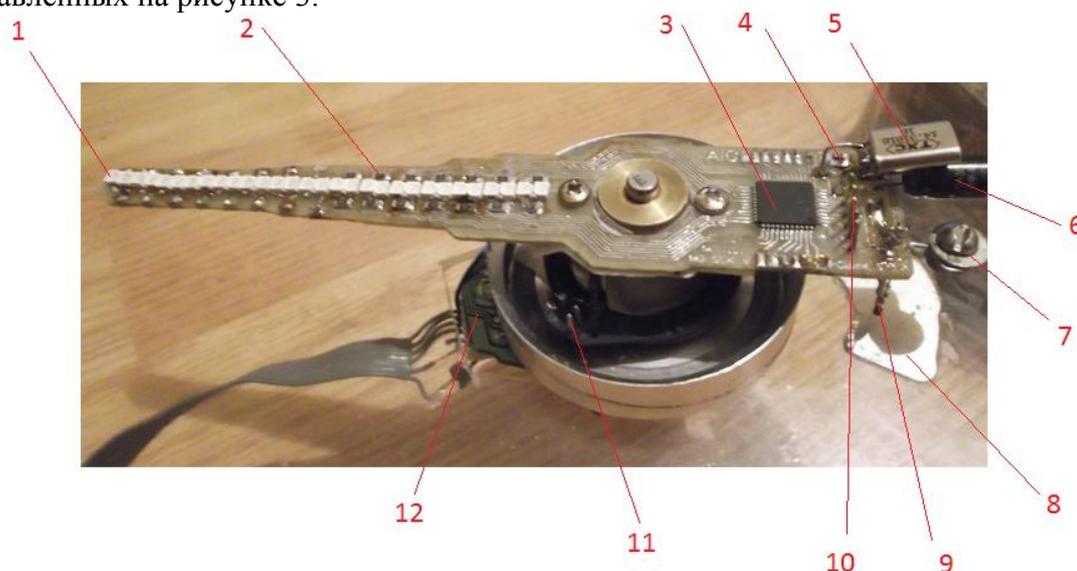
*Рисунок 2 – «Лента»*

Задача разрабатываемого устройства состоит в том, чтобы уменьшить площадь, занимаемую индикатором, в неактивном состоянии. Поскольку альтернативой разработанному устройству является светодиодное табло, возможно произвести сравнительный анализ. Предположим, что нужен дисплей или индикатор для визуализации какого-либо изображения с разрешением 60x60 точек. Создание светодиодной матрицы потребует 3600 точечных источников света. В неактивном состоянии, в то время, когда она ничего не отображает, такая матрица занимает значительное пространство. Если применить механическую развертку, то занимаемая в неактивном состоянии площадь резко сокращается. Также резко сокращается число необходимых источников света. Для получения аналогичной разрешающей способности достаточно всего 30 светодиодов и устройства для их вращения (электродвигатель или альтернативные способы вращения, например, ветряное колесо).

Разработанное устройство является прототипом, позволяющим провести анализ возможностей аналогичных устройств и перспективы их применения.

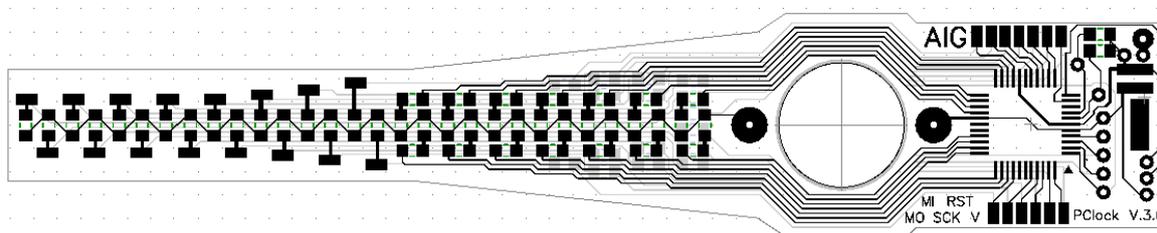
Устройство использует инерцию зрения и за счет синхронизации вращения и переключения светодиодов определенным образом в разные моменты времени способно при минимальном количестве индикаторов создавать достаточно четкие статические и динамические изображения с произвольным информационным наполнением.

В качестве аппаратной основы системы управления устройством использован микроконтроллер Atmel ATmega16. Устройство состоит из печатной платы и компонентов, представленных на рисунке 3.



**Рисунок 3 – 1) светодиоды, 2) сопротивления 300 Ом, 3) микроконтроллер, 4) балансировочные конденсаторы 22 нФ, 5) кварцевый резонатор с частотой 16 МГц, 6) конденсатор 10 мкФ, 7) грузик для балансировки, 8) неодимовый магнит, 9) датчик Холла, 10) интерфейс программирования, 11) вывод щетки питания, плата управления двигателем**

Электрическая схема устройства достаточно проста и хорошо видна на изображении печатной платы. Питание подается при помощи щетки под платой. Рядом с контроллером находится конденсатор для стабилизации напряжения, кварцевый резонатор частотой 16 МГц для тактирования контроллера, балансировочные конденсаторы по 22 pF на выводах резонатора, датчик Холла и выводы для программирования. Вращение происходит при помощи бесколлекторного двигателя. Разводка печатной платы представлена на рисунке 4.



**Рисунок 4 – Изображение печатной платы**

Программа контроллера состоит из нескольких блоков, назначение которых рассмотрено ниже.

Блок констант содержит информацию о создаваемых изображениях в виде шестнадцатеричных кодов портов микросхемы на каждый из 360 градусов. Данные представлены в виде двух массивов, содержащих информацию об изображении идущих часов и информацию о «бегущей строке». Для автоматизации создания массивов констант была написана дополнительная программа, конвертирующая изображение в коды. Для бегущей строки размеры массивов могут быть разными, так как только часть строки будет отображаться в отдельный момент времени.

Блок переменных довольно велик, переменных достаточно много, это обусловлено оптимизацией по скорости программы, а не по объему. Переменные будут обрабатываться в оперативной памяти микросхемы. Они отвечают за отсчет времени, вычисление угла наклона, режим работы, автоподстройку при изменении скорости вращения, сдвиг бегущей строки.

Блок прерываний обрабатывает событие при срабатывании датчика Холла. Часть исходного кода блока представлена на рисунке 5. Прерывание наступает по возрастающему фронту сигнала. Здесь происходит автоподстройка частоты отображения для синхронизации с двигателем. Так как магнита два, то необходимо указывать, какую половину изображения необходимо отобразить.

Также здесь происходит сдвиг бегущей строки на одну позицию. Дабы не выходить за пределы массива, реализовано обновление указателя сдвига. Счетчики автоподстройки при этом обнуляются.

```

...
interrupt [EXT_INT0] void ext_int0_isr(void)
{
    if (seeker > 183){div++;}
    if ((seeker < 177) && (div>1)){div--;}

    if (half == 0){
        degree = 179;
        half = 1;
    }else{
        degree = 0;
        half = 0;
    }
    if (state == 1){
        str_shift--;
        if (str_shift < -180){str_shift=180;}
    }
    seeker=0;
    counter=0;
}
...

```

**Рисунок 5 – Часть исходного кода программы «Обработчик события прерывания» от датчика Холла**

Блок прерываний также содержит обработку прерывания по таймеру. При совпадении количества прерываний по таймеру со значением автоподстройки происходит переключение градуса угла поворота, установка новых значений управляющих выводов микросхемы.

Для автоподстройки используется счетчик количества смен градуса угла. Значение автоподстройки изменяется так, чтобы на момент срабатывания прерывания от датчика счетчик показывал число около 180.

Для отображения стрелок часов используется сравнение значений переменной, отвечающей за отсчет секунд и переменной угла поворота.

При смене режима отображения из состояния «часы» в состояние «бегущая строка» начинает выполняться соответствующая часть программы. Время при этом отсчитывается количеством прерываний таймера. В секунду происходит примерно 38937 прерываний.

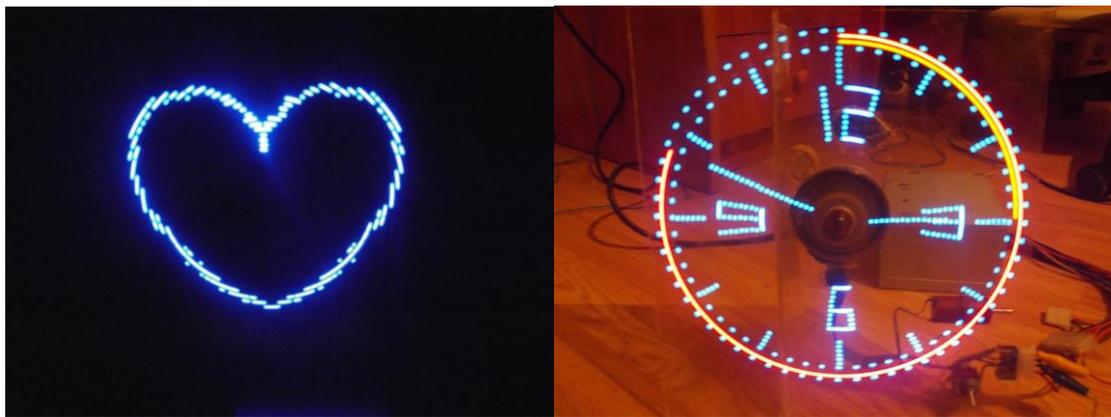
Блок инициализации задействуется при включении устройства – микросхема выполняет инициализацию, необходимую для настройки и нормальной работы таймеров, прерываний, регистров вводов/выводов и тактирования.

### **РАБОТА УСТРОЙСТВА**

Устройство работает с небольшими отклонениями при отображении. Это вызвано тем, что частота вращения постоянно изменяется из-за внешних факторов.

Можно настроить не только отображение статичных картинок, но и анимации (рис. 6).

Для удобства кодирования изображения также было написано отдельное приложение, выполняющее конвертацию изображения из декартовой системы в радиальную в соответствии с разверткой.



*Рисунок 6 – Примеры статичных и анимационных картинок*

Частота вращения может плавно регулироваться посредством делителя напряжения на управляющем выводе микросхемы-драйвера двигателя (рис. 7).



*Рисунок 7 – Управляющая плата двигателя*

Испытания показывают, что при снижении частоты вращения устройства качество создаваемого изображения практически не снижается до достижения нижнего предела частоты, зависящего от инерционности зрения.

Разработанный прототип демонстрирует относительно высокое качество изображения, которое может быть повышено увеличением числа индикаторов и повышением качества синхронизации их работы с вращением, например, за счет увеличения числа точек отсчета угла поворота – в созданной конструкции их всего две.

Использование более совершенных технологий проектирования и создания подвижного носителя для индикаторов позволит в перспективе дополнительно уменьшить габариты устройства в неактивном состоянии. Можно рассмотреть варианты конструкции подвижного элемента, которые могут складываться в неактивном состоянии и разворачиваться в активном, например, под действием центробежных сил.

Применение более совершенной аппаратной базы в системе управления и беспроводных интерфейсов позволит осуществлять динамическое варьирование создаваемых изображений в реальном времени, а также генерацию цветных изображений за счет использования многоцветных индикаторов.

Для передачи энергии и управляющих сигналов на подвижную часть устройства необходимо использовать индукционный принцип, что позволит ликвидировать элементы трения и повысить надежность.

В совокупности применение усовершенствованных вариантов рассмотренного устройства наиболее перспективно в устройствах, предъявляющих высокие требования к компактности отображающего устройства в неактивном состоянии и одновременно требующих значительной площади изображения в активном состоянии.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. SUNISS. Первый этап завершен [Электронный ресурс]. – URL: <http://chipok.ru/archives/803> (дата обращения: 24.06.2014)
2. Persistence of vision, или текст в воздухе [Электронный ресурс]. – URL: <http://radio-developer.livejournal.com/1619.html> (дата обращения: 24.06.2014)
3. ATmega16 [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.atmel.com/devices/ATMEGA16.aspx> (дата обращения: 24.06.2014).

#### **Тупикин Дмитрий Александрович**

Ливенский филиал ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК», г. Ливны  
Кандидат технических наук, доцент кафедры технологии машиностроения  
E-mail: [tupidim@mail.ru](mailto:tupidim@mail.ru)

#### **Киселева Светлана Валентиновна**

Ливенский филиал ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК», г. Ливны  
Старший преподаватель кафедры технологии машиностроения  
E-mail: [kiselev\\_sergey60@mail.ru](mailto:kiselev_sergey60@mail.ru)

#### **Агибалов Иван**

Ливенский филиал ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК», г. Ливны  
Студент

---

D.A. TUPIKIN (*Candidate of Engineering Science,  
Associate Professor of the Department of Engineering Technology*)

S.V. KISELYoVA (*Senior Teacher of the Department of Engineering Technology*)

I. AGIBALOV (*Student*)  
*Livny' Branch of State University – ESPC, Livny'*

**ELECTROOPTICAL VISUALIZATION DEVICE WITH MECHANICAL SWEEP**

*The option of creating of the active prototype of the device with the alternative information display method for reducing square of inactive device*

**Keywords:** *indicator; light-emitting diode matrix; plated circuit; operative memory.*

**BIBLIOGRAPHY (TRANSLITERATED)**

1. SUNISS. Pervyj e'tap zavershen [E'lektronny'j resurs]. – URL: <http://chipok.ru/archives/803> (data obrashheniya: 24.06.2014)
2. Persistence of vision, ili tekst v vozduxe [E'lektronny'j resurs]. – URL: <http://radio-developer.livejournal.com/1619.html> (data obrashheniya: 24.06.2014)
3. ATmega16 [E'lektronny'j resurs]. – URL: <http://www.atmel.com/devices/ATMEGA16.aspx> (data obrashheniya: 24.06.2014).

**ТРЕБОВАНИЯ**  
**к оформлению статьи для опубликования в журнале**  
**«Информационные системы и технологии»**

**ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ**

Объем материала, предлагаемого к публикации, измеряется страницами текста на листах **формата А4** и содержит от **4 до 9 страниц**; все страницы рукописи должны иметь сплошную нумерацию.

В одном сборнике может быть опубликована только **одна** статья **одного** автора, включая соавторство.

Плата с аспирантов за публикацию рукописей не взимается.

Аннотации всех публикуемых материалов, ключевые слова, информация об авторах, списки литературы будут находиться в свободном доступе на сайте соответствующего журнала и на сайте Российской научной электронной библиотеки – РУНЭБ (Российский индекс научного цитирования).

**ТРЕБОВАНИЯ К СОДЕРЖАНИЮ НАУЧНОЙ СТАТЬИ**

Научная статья, предоставляемая в журналы, должна иметь следующие **обязательные** элементы:

- постановка проблемы или задачи в общем виде;
- анализ достижений и публикаций, в которых предлагается решение данной проблемы или задачи, на которые опирается автор, выделение научной новизны;
- исследовательская часть;
- обоснование полученных результатов;
- выводы по данному исследованию и перспективы дальнейшего развития данного направления;
- библиография.

**ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ НАУЧНОЙ СТАТЬИ**

• Статья должна быть набрана шрифтом Times New Roman, размер 12 pt с одинарным интервалом, текст выравнивается по ширине; абзацный отступ – 1,25 см, правое поле – 2 см, левое поле – 2 см, поля внизу и сверху – 2 см.

• **Обязательные элементы:**

- **УДК**
- **заглавие (на русском и английском языках)**
- **аннотация (на русском и английском языках)**
- **ключевые слова (на русском и английском языках)**
- **список литературы**, на которую автор ссылается в тексте статьи.

**ТАБЛИЦЫ, РИСУНКИ, ФОРМУЛЫ**

• Все таблицы, рисунки и основные формулы, приведенные в тексте статьи, должны быть пронумерованы.

• **Формулы** следует набирать в редакторе формул Microsoft Equation 3.0 с размерами: обычный шрифт – 12 pt, крупный индекс – 10 pt, мелкий индекс – 8 pt. **Формулы, внедренные как изображение, не допускаются!** Русские и греческие буквы, а также обозначения тригонометрических функций набираются прямым шрифтом, латинские буквы – *курсивом*.

• **Рисунки** и другие иллюстрации (чертежи, графики, схемы, диаграммы, фотоснимки) следует располагать непосредственно после текста, в котором они упоминаются впервые. Рисунки, число которых должно быть логически оправданным, представляются в виде отдельных файлов в формате \*.eps (Encapsulated PostScript) или TIF размером не менее 300 dpi.

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ**

• В конце статьи приводятся набранные 10 pt сведения об авторах в такой последовательности: фамилия, имя, отчество (полужирный шрифт); учреждение или организация, ученая степень, ученое звание, должность, адрес, телефон, электронная почта (обычный шрифт).

Сведения об авторах предоставляются отдельным файлом и обязательно дублируются на английском языке.