

№ 3 (83) май-июнь 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)

*Сдано в набор 15.04.2014 г.*

*Подписано в печать 26.04.2014 г.*

*Формат 60x88 1/8.*

*Усл. печ. л. 7,5. Тираж 300 экз.*

*Заказ № 161/14П1*

*Отпечатано с готового оригинал-макета  
на полиграфической базе*

*ФГБОУ ВПО «Госуниверситет - УНПК»*

*302030, г. Орел, ул. Московская, 65*

*Подписной индекс 15998*

*по объединенному каталогу*

*«Пресса России»*

**Материалы статей печатаются в авторской редакции.**

**Право использования произведений предоставлено 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.

### **Рубрики номера**

1. Математическое и компьютерное моделирование.....5-30
2. Информационные технологии в социально-экономических и организационно-технических системах .....31-50
3. Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами.....51-85
4. Математическое и программное обеспечение вычислительной техники и автоматизированных систем.....86-91
5. Телекоммуникационные системы и компьютерные сети.....92-113
6. Информационная безопасность и защита информации.....114-123

### *Редакция*

*О.И. Константинова*

*К.Д. Оболенская*

*А.А. Митин*

### *Адрес учредителя журнала*

*302020, г. Орел, Наугорское шоссе, 29*

*(4862) 42-00-24; www.gu-unpk.ru;*

*E-mail: unpk@ostu.ru*

### *Адрес редакции*

*302020, г. Орел, Наугорское шоссе, 40*

*(4862) 43-40-39; www.gu-unpk.ru;*

*E-mail: isit@ostu.ru*

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

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

№ 3 (83) May-June 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 15.04.2014,  
26.04.2014 is put to bed  
Format 60x88 1/8.*

*Convent. printer's sheets 7,5. Circulation 300 copies  
The order № 161/14П1*

*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.....5-30
2. Information technologies in social and economic and organizational-technical systems.....31-50
3. Automation and control of technological processes and manufactures.....51-85
4. Software of the computer facilities and the automated systems.....86-91
5. Telecommunication systems and computer networks.....92-113
6. Information and data security.....114-123

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**

*Д.В. АНИСИМОВ*

Моделирование процесса сбора и обработки данных в беспроводном сегменте АСУ ТП газотранспортного предприятия.....5-10

*С.Н. ЛАЗАРЕВ*

Математическая модель процесса сервисного обслуживания средств вычислительной техники промышленных предприятий, организованная по принципу последовательных операций.....11-16

*Ю.П. ЛАЛУШКИН, А.А. ОВСЯННИКОВ*

Методология проектирования моделей и методик аналитической обработки информации управленческого назначения.....17-23

*А.С. НАУМОВ*

Автоматизированная реконструкция фрагментированных изображений с использованием совокупности признаков фрагментов.....24-30

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

*О.С. МИХАЙЛОВА, Л.Ю. ДМИТРИЕВА, Е.А. МУСИХИНА*

Программа «Визуализация комплексного антропогенного воздействия на воздушную среду территории Иркутской области».....31-38

*Л.И. ЕФРЕМОВА*

Формирование корпоративной информационной системы энергетической компании с использованием геоинформационной системы.....39-43

*А.А. ПОПКОВА*

Повышение эффективности систем поддержки принятия решений.....44-50

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

*В.Т. ЕРЁМЕНКО, Д.С. МИШИН, Т.М. ПАРАМОХИНА, А.В. ЕРЁМЕНКО, С.В. ЕРЁМЕНКО*

Направления и проблемы интеграции автоматизированных систем управления для предприятий с непрерывным технологическим циклом.....51-58

*В.А. ЛОБАНОВА, Н.Г. ЛОБАНОВА*

Задача проектирования адаптивных механизмов функционирования развивающейся организации.....59-62

*М.В. НОСОВ*

Методика разделения джиттера сигналов различных каналов взаимодействия технических средств и оператора АРМ.....63-72

*К.Ю. РЮМШИН*

Математический базис перехода от нелинейных к квазилинейным системам в автоматизированных системах управления технологическими процессами.....73-77

*М.А. ФОКИН*

Анализ эффективности fuzzy-регуляторов в управлении технологическим процессом ректификации нефти.....78-85

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

*А.С. СИОРА*

Программное обеспечение информационно-диагностического комплекса «Спектр-ИДК».....86-91

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

*А.В. ГРАЧЁВ, Т.М. КИСЕЛЁВА, А.С. ДОБРЫНИН, Р.С. КОЙНОВ*

О методе выбора промежуточных узлов передачи данных для маршрутизации в иерархических сетях разной топологии.....92-98

*А.Н. ОСИПОВ*

Многоуровневая модель процесса обмена данными оперативно-диспетчерского управления газотранспортными предприятиями.....99-106

*А.В. ЩАГИН, НАИНГ ЛИН ЗО, ВЭЙ ЯН ЛВИН, ПЬО ХЫЛАМ ХТУТ*

Методы обеспечения достоверности передачи информации в информационно-управляющих PLC-сетях предприятий.....107-113

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

*С.С. ЖАРИНОВА, А.А. БАБЕНКО*

Оптимизация инвестиций в информационную безопасность предприятия.....114-123

---

---

**CONTENT**

**MATHEMATICAL AND COMPUTER SIMULATION**

<i>ANISIMOV D.V.</i> Modeling of data collection and processing in the wireless segment APCS gas transportation company.....	5-10
<i>LAZAREV S.N.</i> Mathematical model of process servicing of computer equipment industrial enterprises, organized on the principle of consecutive operations.....	11-16
<i>LALUShKIN Yu.P., OVSYANNIKOV A.A.</i> Methodology of model and methods design of analytical processing of management-purpose information.....	17-23
<i>NAUMOV A.S.</i> Automated reconstruction of the fragmented images based on multiple fragment features.....	24-30

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

<i>MIXAJLOVA O.S., DMITRIEVA L.Yu., MUSIXINA E.A.</i> The program «Visualization anthropogenic pressure on the air environment in Irkutsk region».....	31-38
<i>EFREMOVA L.I.</i> Formation of corporate information system of the power company with use of geoinformation system.....	39-43
<i>POPKOVA A.A.</i> Increasing of the decision support systems efficiency.....	44-50

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

<i>ERYOMENKO V.T., MISHIN D.S., PARAMOXINA T.M., ERYOMENKO A.V., ERYOMENKO S.V.</i> Trends and problems of automated control systems integration for companies with a continuous production cycle.....	51-58
<i>LOBANOVA V.A., LOBANOVA N.G.</i> The problem of design of adaptive mechanisms of developing organization.....	59-62
<i>NOSOV M.V.</i> Jitter separation technique for signals of different channels of technical equipment interaction and automated workstation's operator.....	63-72
<i>RYuMShIN K.Yu.</i> Mathematical basis transition from nonlinear a quasilinear system in automatic control systems processes.....	73-77
<i>FOKIN M.A.</i> Analysis of the fuzzy controllers effectiveness in the management of the technological process of oil rectification.....	78-85

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

<i>SIORA A.S.</i> Software for information diagnostic complex «Spectrum-IDC».....	86-91
--	-------

**TELECOMMUNICATION SYSTEMS AND COMPUTER NETWORKS**

<i>GRACHYoV A.V., KISELYoVA T.V., DOBRY'NIN A.S., KOJNOV R.S.</i> The method of selection of intermediate nodes for routing data in hierarchical networks with different topologies.....	92-98
<i>OSIPOV A.N.</i> Multilevel model of data exchange process of operatively-dispatching management of the gas-transport enterprises.....	99-106
<i>ShhAGIN A.V., NAING LIN ZO, VE'J YaN LVIN, P''O XY'LAM XTUT</i> Methods of providing the reliability of information transmission in information-management PLC-networks of enterprises.....	107-113

**INFORMATION AND DATA SECURITY**

<i>ZhARINOVA S.S., BABENKO A.A.</i> Optimizing investments in information security for business.....	114-123
---	---------

---

УДК 004.732

Д.В. АНИСИМОВ

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА СБОРА И ОБРАБОТКИ ДАННЫХ В БЕСПРОВОДНОМ СЕГМЕНТЕ АСУ ТП ГАЗОТРАНСПОРТНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

*В статье предлагается подход к организации доступа к беспроводному каналу элементами сети в режиме повышенной нагрузки с целью снижения количества возникающих коллизий и повышения общей пропускной способности. Исследование проводится с помощью математической модели, построенной на базе цепи Маркова.*

**Ключевые слова:** беспроводная сеть; коллизии; пропускная способность; Марковская цепь.

### ВВЕДЕНИЕ

Беспроводные сегменты сетей передачи данных в составе организационно-технологических распределенных комплексов автоматизированных систем управления (АСУ) газотранспортного предприятия (ГТП) получили широкое распространение на распределительных станциях, что связано с особенностью производственной деятельности, осуществляемой в условиях существующего высокого уровня взрывоопасности, экстремальных температур повышенной влажности, пыли и грязи.

Газораспределительная станция (ГРС) – совокупность установок и технического оборудования, измерительных и вспомогательных систем распределения газа и регулирования его давления. Газораспределительные станции входят в состав газораспределительной системы [1].

В настоящее время в случае возникновения аварийной ситуации на таком объекте работающее оборудование переходит в специальный режим работы, позволяющий подключить резервные комплекты диагностического и технологического оборудования для контроля показаний основного комплекта или замены оборудования, вышедшего из строя. В результате перехода в такой режим работы конечного оборудования в беспроводном сегменте возникают перегрузки в его работе, что приводит к возникновению коллизий и, как следствие, может стать причиной потери части передаваемых данных (данных от датчиков) и, соответственно, принятия неправильного решения на уровне диспетчерского управления. На рисунке 1 представлена организация взаимодействия посредством беспроводного доступа между компонентами газораспределительной станции и диспетчерским управлением.

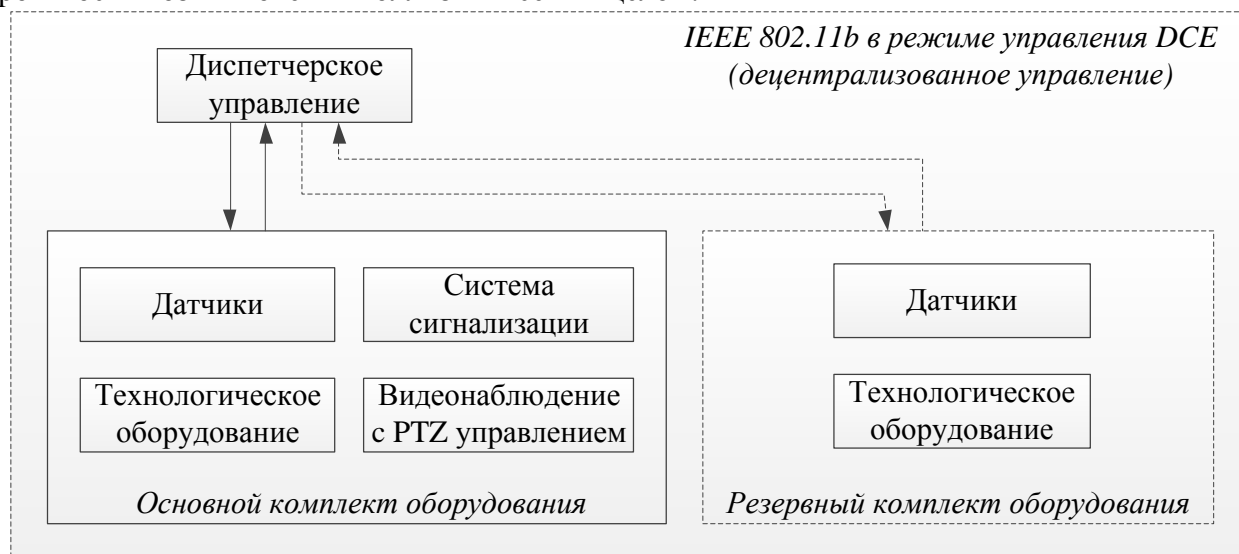
Решение данной проблемы должно быть низко затратным, что подразумевает неизменность имеющейся инфраструктуры, так как жизненный цикл применяемого сейчас оборудования подразумевает его использование еще в течение 5-6 лет.

### ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Существует необходимость без использования дополнительного сетевого оборудования доработать имеющийся механизм доступа DCF к беспроводной среде стандарта IEEE 802.11 b/g, обеспечивающий снижение числа коллизий и временных задержек при передаче данных от конечного оборудования в периоды высокой загруженности канала (в аварийном режиме работы).

Для решения этой задачи предлагается гипотеза о необходимости внесения дополнительной задержки при передаче данных на устройствах с более низким приоритетом в период высокой загрузки беспроводного сегмента за счет дополнительных циклов повторных передач с максимальным значением окна конкуренции. Это должно привести к возможности получения доступа к сети приоритетных устройств (датчиков) и снижению

вероятности возникновения коллизий в сети в целом.



Виды используемых датчиков:

- температуры (постоянная передача данных);
- давления (постоянная передача данных);
- потока (постоянная передача данных);
- утечки газа (пороговое срабатывание).

Система сигнализации:

- датчики объема (пороговое срабатывание);
- датчики открытия (пороговое срабатывание);
- датчики возгорания (пороговое срабатывание).

Технологическое оборудование:

- система дистанционного управления задвижками на газопроводе (постоянная передача данных, объем которых зависит от режима работы);
- газоанализатор (постоянная передача данных).

Система видеонаблюдения:

- IP-камеры (постоянная передача данных).

**Рисунок 1 – Беспроводной сегмент сети сбора и обработки данных АСУ ТП транспортировки газа**

Использование данного механизма доступа к среде передачи данных осуществляется при возникновении нагрузки свыше 97% от максимального размера реальной пропускной способности канала. Отключение производится при уровне загруженности канала менее 93%. При этом следует учитывать, что реальное значение пропускной способности канала на 30-50% меньше номинальной пропускной способности (значение варьируется в зависимости от различных факторов) [2]. На рисунке 2 схематично изображены предлагаемые изменения к существующему механизму доступа.

Исследования проводились на примере газораспределительной станции. Исследуемым протоколом стал IEEE 802.11 b с механизмом доступа к каналу передачи данных DCF. Состав оборудования следующий: точка доступа в промышленном исполнении и 40 конечных сетевых элементов, работающих посредством стека TCP/IP, представленных технологическими датчиками (температуры, давления, утечки, потока), газоанализаторами, оборудованием системы дистанционного управления задвижками на газопроводе, датчиками охранно-пожарной сигнализации (объема, открытия, возгорания) и беспроводными камерами системы видеонаблюдения.

Характер поступления пакетов от элементов сети описывается моделью M/M/1, что позволяет смоделировать незагруженное состояние беспроводного сегмента. Канал считается идеальным и предполагается, что размер буфера элементов сети бесконечен, а время распространения сигнала между станциями мало и может не учитываться. Поступление пакетов описывается в виде пуассоновского потока с интенсивностью  $\lambda_i$  и скоростью обработки пакетов  $\mu_i$ . Время обслуживания при передаче данных описывается показательным законом  $1/\mu$ . Нагрузка на канал генерировалась в диапазоне от 93% до 120%

от максимально возможной реальной пропускной способности канала. При проведении исследований рассматривалась работа в двух режимах протокола IEEE 802.11 b – в базовом и RTS/CTS.

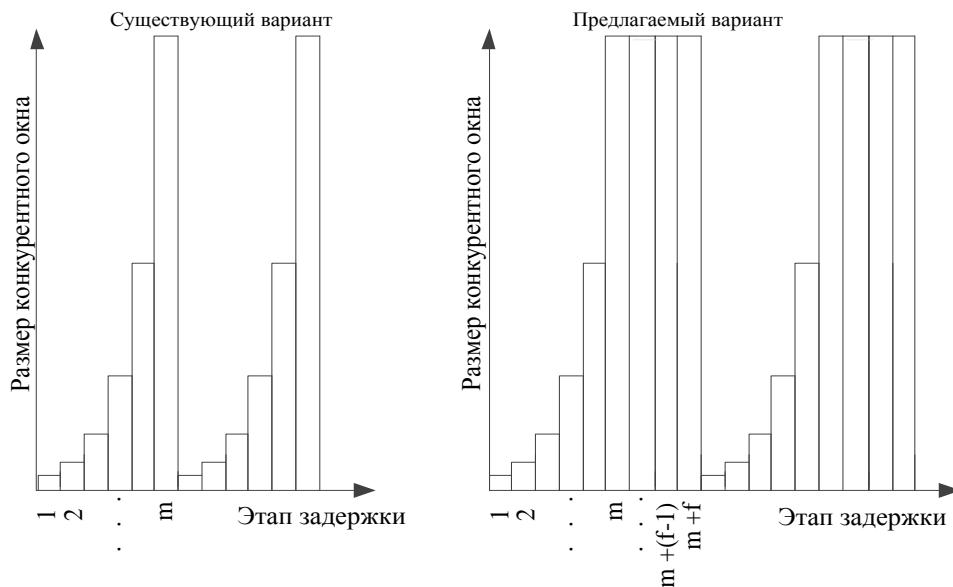


Рисунок 2 – Сравнение существующего и предлагаемого метода доступа

### МОДЕЛИРОВАНИЕ ИССЛЕДУЕМОГО ПРОЦЕССА

Для описания процессов передачи данных в беспроводных сегментах организационно-технологических распределенных комплексов АСУ ГТП было проведено математическое моделирование оценки состояния загруженности беспроводного канала. Целью проводимого моделирования являлось: нахождение вероятности возникновения столкновения процессов и внепротокольных прерываний, определение максимальной реальной пропускной способности беспроводного канала и значение его загруженности в данный момент времени.

Определено, что в любой момент времени канал может находиться в одном из следующих состояний: канал свободен, в канале возникла коллизия, произведена успешная передача. Для описания переходов состояний беспроводного сегмента СПД в работе используется аппарат цепей Маркова [3].

Исходя из предлагаемой модели, данный механизм доступа можно описать следующим образом: когда элемент сети достигает этапа задержки  $m$ , время конкуренции увеличивается до максимального значения, при этом, если не получен доступ к каналу, осуществляется еще не более  $f$  повторных передач с максимальным размером окна конкуренции. Когда элемент сети достигает этапа  $m+f$ , то кадр либо успешно передается, либо отбрасывается.

Вероятность неудачной передачи элементом сети описывается как:

$$p_k = 1 - (1 - p_f)(1 - p_c) = p_f + p_c - p_f p_c, \quad (1)$$

где  $p_c$  и  $p_f$  – вероятности столкновения процессов и ошибки в кадре.

В случаях изменения размера окна конкуренции в связи с повторной передачей пакетов элементом сети  $k$  предложенная цепь Маркова используется для анализа как загруженных, так и незагруженных переходных состояний в канале.

Состояние элемента сети описывается как  $\{i, l\}$ , где  $i$  – это этап задержки со значением в интервале  $(0, 1, \dots, m+f)$ ,  $l$  является счетчиком времени задержки со значением во временном интервале  $(0, 1, \dots, W_i-1)$ . Состояние  $\{-1, 0\}$  указывает, что очередь элемента сети пуста. При появлении пакета, доступного для передачи, элемент сети переходит в одно из

состояний в строке  $0$  с вероятностью  $(1-q)/W_0$ . В случае неудачной попытки передачи в состояние  $\{i, 0\}$ , элемент сети переходит в одно из состояний в строке  $i+1$  с вероятностью  $p_k/W_{i+1}$ .

В случае успешной передачи элемент сети переходит в состояние  $\{-1, 0\}$  с вероятностью  $(1-p_k)q$  или к одному из состояний в строке  $0$  с вероятностью  $(1-p_k)(1-q)/W_0$ . После достижения элементом сети этапа  $m+f$  происходит возврат к состоянию  $\{-1, 0\}$ .

Таким образом, вероятность передачи элементом сети  $k$  в случайно выбранном интервале времени может быть рассчитана как:

$$\tau_k = \frac{2(1-p_k^{m+f+1})}{\frac{2q(1-p_k)}{1-q} + (1-p_k^{m+f+1}) + W \left[ \frac{[1-(2p_k)^{m+1}](1-p_k)}{1-2p_k} + p_k(2p_k)^m(1-p_k^f) \right]}. \quad (2)$$

Вероятность передачи  $\tau_k$  элементом беспроводного сегмента сети  $k$  зависит от вероятности неудачной передачи  $p_k$ , которая, в свою очередь, зависит от вероятности столкновения процессов  $p_c$  и вероятности ошибки в кадре  $p_f$ . В исследовании вероятность  $p_f$  принимается за константу. Тогда  $p_c$  является вероятностью того, что, по крайней мере, один из  $n-1$  оставшихся элементов сети может вести передачу в том же временном интервале, что и элемент сети  $k$ . Тогда вероятность  $p_c$  может быть получена как:

$$p_c = 1 - \prod_{i=1, i \neq k}^n (1-\tau_i). \quad (3)$$

Поскольку  $n$  элементов сети конкурируют за доступ к среде передачи и каждый из них ведет передачу с вероятностью  $\tau_i$  ( $i=1, \dots, n$ ), то значение  $P_{tr}$  (вероятность того, что, по крайней мере, один элемент сети производит передачу данных в данном временном интервале) рассчитывается как:

$$P_{tr} = 1 - \prod_{i=1}^n (1-\tau_i). \quad (4)$$

Вероятность того, что произведена успешная передача элементом сети, рассчитывается как:

$$P_s = \frac{\sum_{i=1}^n \tau_i \prod_{j=1, j \neq i}^n (1-\tau_j)}{P_{tr}}. \quad (5)$$

Для получения вероятности столкновения и вероятности передачи в состоянии максимальной загрузки канала решается следующая система уравнений:

$$\begin{aligned} \tau &= \frac{2(1-p^{m+f+1})(1-2p)}{(1-p^{m+f+1})(1-2p) + W[(1-(2p)^{m+1})(1-p) + p(2p)^m(1-p^f)(1-2p)]}, \\ p_k &= p_f + c - p_f c, \\ p_c &= 1 - (1-\tau)^{n-1}. \end{aligned} \quad (6)$$

Нормированная пропускная способность канала в работе представлена в виде отношения средней полезной нагрузки передаваемой информации во временном интервале к средней длине этого временного интервала. Следовательно, загруженность канала можно вычислить:

$$C_u = \frac{E[L](1 - \prod_{i=1}^n q_i) P_{tr} P_s}{(1-P_{tr})t_\sigma + P_{tr} P_s T_s + P_{tr} (1-P_s) T_c + P_{tr} P_s p_f T_e}, \quad (7)$$

где  $E[L]$  – средняя длина пакета.



Полученная модель позволяет получить значение реальной пропускной способности канала в определенный момент времени. В рамках разработанной модели такое состояние достигается в случае, когда вероятность отсутствия передачи равна нулю для всех элементов сети и рассчитывается как:

$$C_s = \frac{E[L]P_r P_s}{(1 - P_{tr})t_{\sigma} + P_{tr} P_s T_s + P_{tr} (1 - P_s) T_c + P_{tr} P_s p_f T_e} \quad (8)$$

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты проведенного математического моделирования показывают, что в результате применения предлагаемого механизма доступа к среде передачи данных в среднем в два раза повысилась пропускная способность канала в моменты пиковой нагрузки, что, в свою очередь, привело к значительному снижению вероятности возникновения коллизий в таких условиях. Данный эффект наблюдался как в базовом, так и RTS/CTS режимах функционирования протокола IEEE 802.11 б.

На рисунках 3 и 4 произведено сравнение полученных результатов существующего и предлагаемого механизма доступа в двух режимах работы протокола. Предполагается, что такие же результаты могут быть получены и для протокола IEEE 802.11 г, так как реализация доступа к среде передачи данных у них одинакова.

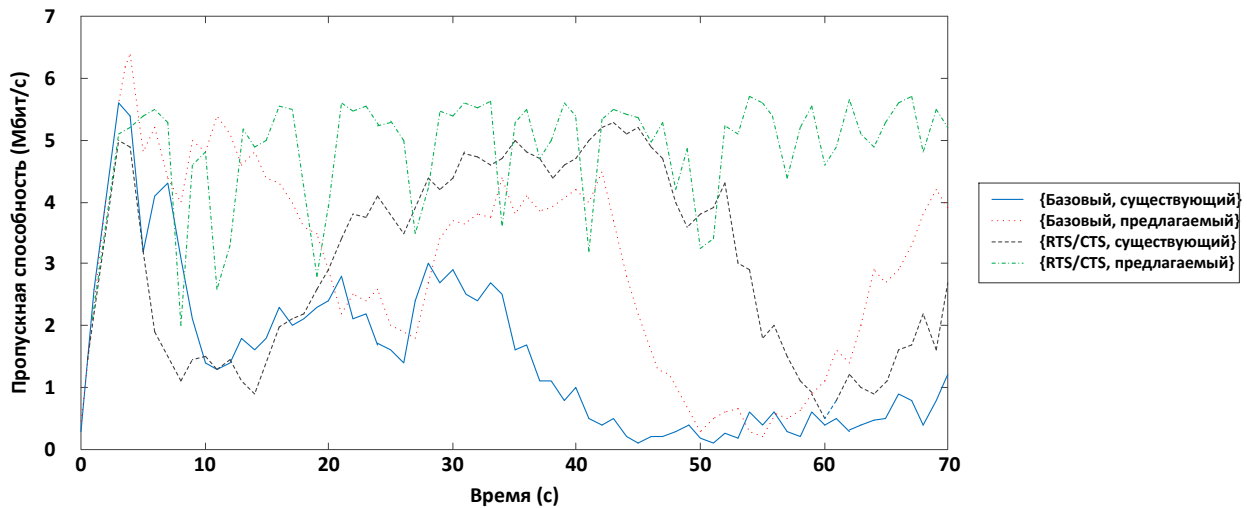


Рисунок 3 – Сравнение результатов по пропускной способности канала

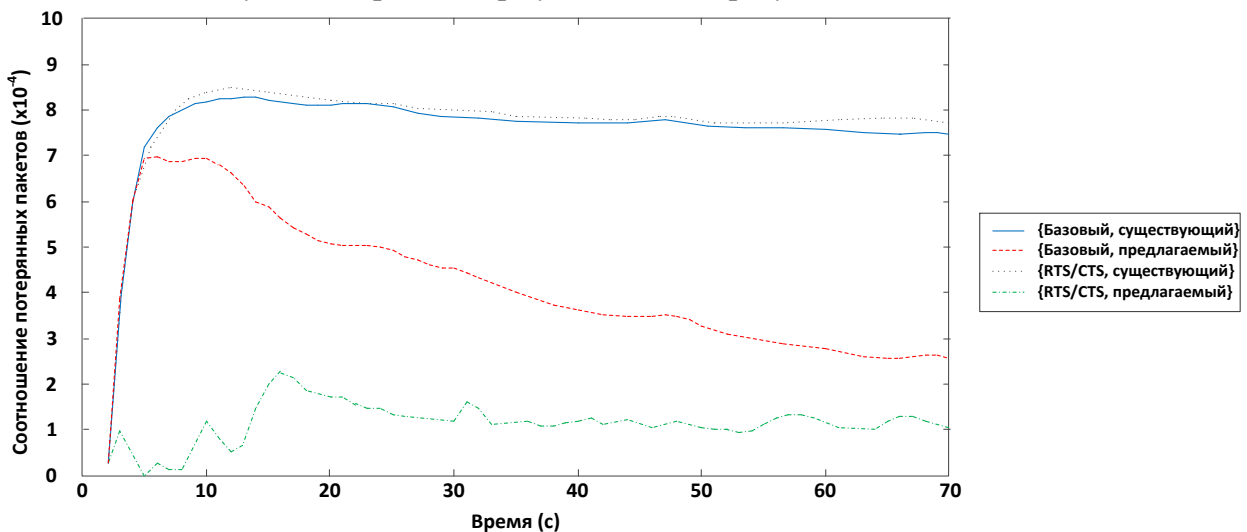


Рисунок 4 – Сравнение результатов по соотношению потерянных пакетов

Предложенный метод доступа к среде может быть использован в беспроводных сегментах имеющейся инфраструктуры АСУ ТП ГТП с целью повышения надежности процесса сбора и обработки данных между конечным оборудованием и диспетчерским управлением.

#### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Информаторий ОАО «Газпром» [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.gazprominfo.ru/terms/gas-distributing-station/> (дата обращения: 07.03.2014).
2. Анисимов Д.В. Моделирование пропускной способности сегмента беспроводной сети АСУП на базе стандарта 802.11 / Д.В. Анисимов, В.Т. Ерёмченко, С.А. Черепков, А.А. Лякишев, П.А. Чупахин // Информационные системы и технологии, 2013. – № 2. – С. 82-86.
3. Анисимов Д.В. Моделирование состояний пропускной способности беспроводного канала сети передачи данных газотранспортного предприятия на основе насыщенных цепей Маркова // Информационные системы и технологии, 2013. – № 5. – С. 5-14.

**Анисимов Дмитрий Владимирович**

Академия ФСО, г. Орел

Научный сотрудник

Тел.: 8 920 286 86 35

E-mail: dimadikiy@mail.ru

---

*D.V. ANISIMOV (Research Associate)*

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

#### **MODELING OF DATA COLLECTION AND PROCESSING IN THE WIRELESS SEGMENT APCS GAS TRANSPORTATION COMPANY**

*The paper proposes an approach to provide access to wirelessly network elements in elevated mode load, for the purpose reducing the number of collisions occurring and improve overall throughput. The research is conducted using a mathematical model constructed on the basis of a Markov chain.*

**Keywords:** *wireless networks; collision; bandwidth; Markov's chain.*

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

1. Informatorij ОАО «Gazprom» [E'lektronny'j resurs]. – URL: <http://www.gazprominfo.ru/terms/gas-distributing-station/> (data obrashheniya: 07.03.2014).
2. Anisimov D.V. Modelirovanie propusknoj sposobnosti segmenta besprovodnoj seti ASUP na baze standartarta 802.11 / D.V. Anisimov, V.T. Eryomenko, S.A. Cherepkov, A.A. Lyakishev, P.A. Chupaxin // Informacionny'e sistemy' i texnologii, 2013. – № 2. – S. 82-86.
3. Anisimov D.V. Modelirovanie sostoyanij propusknoj sposobnosti besprovodnogo kanala seti peredachi danny'x gazotransportnogo predpriyatiya na osnove nasy'shhennyx cepej Markova // Informacionny'e sistemy' i texnologii, 2013. – № 5. – S. 5-14.

УДК 629.083

С.Н. ЛАЗАРЕВ

## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА СЕРВИСНОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ СРЕДСТВ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ, ОРГАНИЗОВАННАЯ ПО ПРИНЦИПУ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫХ ОПЕРАЦИЙ

*В статье представлена математическая модель процесса сервисного обслуживания средств вычислительной техники, организованная по принципу последовательных операций, позволяющая повысить качество управления техническим обслуживанием и ремонтом вычислительных сетей промышленных предприятий.*

**Ключевые слова:** система технического обслуживания и ремонта; средства вычислительной техники; сервисное обслуживание.

Система технического обслуживания и ремонта (СТО и Р) средств вычислительной техники (СВТ) – это организационно-техническая система, основными элементами которой являются операторы (люди), объекты технической эксплуатации (средства вычислительной техники), измерительно-вычислительные комплексы с соответствующим программным и математическим обеспечением. Ее основная цель заключается в том, чтобы наилучшим образом провести техническое обслуживание и ремонт средств вычислительной техники сетей промышленных предприятий.

Основными научными проблемами, возникающими при организации сервисного обслуживания, являются разработка и исследование модели СТО и Р, имеющей многоступенчатую структуру, каждый элемент которой выполняет определенные функции в процессе технического обслуживания и ремонта средств вычислительной техники. Процесс функционирования СТО и Р при этом рассматривается как процесс массового обслуживания [1, 2]. Теоретическим аспектам функционирования СТО и Р на основе профилей протоколов посвящен целый ряд работ [3-5]. Что касается функционирования средств вычислительной техники сетей промышленных предприятий, то ряд источников предлагает новые подходы к их формальному описанию [6-7]. В технической литературе описан подход к определению параметров одноступенчатой структуры СТО и Р, а также отдельного звена многоступенчатой структуры, исходя из заданных требований по качеству технического обслуживания и ремонта. Однако в настоящее время отсутствует математический аппарат, который позволил бы определить качественные и количественные характеристики для структуры в целом с учетом влияния отдельных ее элементов.

Расчет любой многоступенчатой (многоэтапной) структуры всегда производится, исходя из величины поступающих на ее вход потоков, а также потоков на входе и выходе отдельных этапов процесса, представляющих собой единичные элементы рассматриваемой структуры. Под поступающим потоком понимается случайный процесс  $N(t)$ , представляющий собой число одновременно поступивших средств вычислительной техники в момент времени  $t$ . Обслуженный поток предшествующего этапа является поступающим для последующего; поступающий поток, не обслуживаемый в данный момент времени, ставится в очередь и образует поток элементов, ожидающих обслуживания.

При рассмотрении СТО и Р приняты следующие допущения: поступление потока средств вычислительной техники возможно на любой ее участок, но обязателен переход на последний участок; отсутствуют обратные переходы; возможны обходные пути. При этом подразумевается, что поток, поступающий на вход системы, известен, т.е. известно его распределение, являющееся некоторой функцией от времени  $f(t)$ . Положено также, что известна интенсивность обслуженного потока на отдельных этапах процесса.

Так как поток случайный, характеризующийся на различных этапах различными законами распределения, то общий поток СТО и Р не может быть определен простым

суммированием потоков отдельных этапов. Эта задача может быть решена по-разному в зависимости от условий функционирования конкретной СТО и Р.

Простая цепочка – СТО и Р – состоит из последовательных, пронумерованных в порядке возрастания этапов. Переходы осуществляются только с  $i$ -го на  $(i+1)$ -й участок ( $i = 1, 2, \dots, n-1$ ). Такие процессы могут быть описаны системой дифференциальных уравнений, вид которых определяется законами распределения нагрузок на этапах исследуемого процесса и сделанными выше допущениями.

Рассмотрим систему без потерь. Поток, поступающий (имеющийся) на  $i$ -й участок и в то же время обслуженный на  $(i-1)$  участке, обозначим  $N_i(t)$ . Считаем, что скорость изменения потока, поступившего на  $i$ -й участок, линейно зависит от поступающего с  $(i-1)$ -го и обслуженного на  $i$ -м участке потока, то есть:

$$dN_i = \lambda_{i-1}N_{i-1}dt - \lambda_iN_i dt, \quad (1)$$

где  $N_{i-1}$  – поток, поступивший на  $(i-1)$ -й участок;  $\lambda_{i-1}$ ,  $\lambda_i$  – коэффициенты, характеризующие процесс поступления потока соответственно с  $(i-1)$ -го участка на  $i$ -й и с  $i$ -го на  $(i+1)$ -й.

Тогда процессы, происходящие в простой цепочке, опишутся системой дифференциальных уравнений:

$$\begin{cases} \frac{dN_1}{dt} = -\lambda_1N_1(t); \\ \dots\dots\dots \\ \frac{dN_i}{dt} = \lambda_{i-1}N_{i-1}(t) - \lambda_iN_i(t); \\ \dots\dots\dots \\ \frac{dN_n}{dt} = \lambda_{n-1}N_{n-1}(t) - \lambda_nN_n(t), \end{cases} \quad (2)$$

где  $n$  – число этапов СТО и Р.

В дальнейшем, если не назван вид потока, будем иметь в виду поступивший поток.

Пусть  $N_i(0) = N_{i,0}$ . Если в начальный момент времени поток есть только на первом участке, то есть

$$\begin{cases} N_{i,0} = 1, \text{ если } i = 1; \\ N_{i,0} = 0, \text{ если } i \neq 1, \end{cases}$$

то решение системы (2) примет вид:

$$\begin{cases} N_n = \prod_{i=1}^{n-1} \lambda_i \sum_{s=1}^n \frac{e^{-\lambda_s t}}{\prod_{\substack{q=1 \\ q \neq s}}^n (\lambda_q - \lambda_s)}; \\ N_1 = e^{-\lambda_1 t}. \end{cases} \quad (3)$$

Подставляя конкретное значение  $n$ , получим величину потока в момент времени  $t$  на данном участке, если на первый участок СТО и Р поступает единичный поток.

Решение системы (2) при начальных условиях  $N_i(0) = N_{i,0}$  в случае, когда на  $i$ -й участок в момент времени  $t_0$  поступает поток  $N_{i,0}$ , является суперпозицией решения (3). В этом случае, изменяя  $n$ , получим величину потока на конкретном участке:

$$N_n(t) = N_{n,0}e^{-\lambda_n t} + \sum_{i=1}^{n-1} N_{i,0} \prod_{\kappa=i}^{n-1} \lambda_{\kappa} \sum_{s=i}^n \frac{e^{-\lambda_s t}}{\prod_{\substack{q=i \\ q \neq s}}^n (\lambda_q - \lambda_s)}. \quad (4)$$

В сложной цепочке (с ветвлениями) можно выделить участки с параллельными и последовательными звеньями. В точках разветвления поток распределяется с некоторыми весами по параллельным участкам. Тогда поток на всем пути от 1-го до  $n$ -го участка ( $n$  – количество участков в СТО и Р) можно представить в виде суммы нагрузок на пересекающихся последовательных цепочках.

Перейдем к решению задачи в общем виде. Пусть рассматриваемые СТО и Р представляют собой сумму  $p$  ( $p = 1, p_{\max}$ ) непересекающихся цепочек. При этом каждая  $p$ -я цепочка состоит из  $n_p$  участков. В точках разветвления общей системы элементы распределяются по параллельным ветвям с весами, равными  $\gamma_{r_p}$ . В дальнейшем индекс  $p$  указывает на принадлежность к  $p$ -й сложной цепочке, индекс  $r$  – это текущий номер участка в общей системе.

Общее решение задачи для полной системы является суперпозицией решений (4) и представляется в виде:

$$N_n(t) = N_{n0}e^{-\lambda_n t} + \sum_{p=1}^{p_{\max}} \sum_{i_p=1}^{n_{p-1}} N_{i_p,0} \sum_{r_p=i_p}^{n_{p-1}} \gamma_{r_p} \lambda_{r_p} \sum_{s=i_p}^{n_p} \frac{e^{-\lambda_s t}}{\prod_{\substack{q=i_p \\ q \neq s_p}}^{n_p} (\lambda_q - \lambda_s)}. \quad (5)$$

При вычислениях по формуле (5) необходимо обратить внимание на то, чтобы каждый элемент технологической цепочки был учтен только в одной последовательной цепочке. Кроме того, в процессе представления сложной цепочки суперпозицией простых могут быть переходы с  $i$ -го на  $(i+m)$ -й участок ( $m > 1$ ). Поэтому нумерация этапов при расчете изменится. С помощью формулы (5) можно получить все переходные процессы и предельные соотношения для случаев, оговоренных в системе (2). Выражение (3) представляет собой реакцию соответствующей цепочки на входное воздействие. При соответствующем нормировании  $N_n(t)$  формула (5) определяет импульсную характеристику системы.

Рассмотрим случай произвольной поступающей нагрузки на первый участок в момент времени  $t$ . В этом случае величина ожидающей нагрузки  $g(t)$  на последнем участке в момент  $t$  определится интегралом свертки:

$$g(t) = \int_0^t f(\tau) N(t - \tau) d\tau, \quad (6)$$

где  $N(t)$  – импульсная характеристика системы (или одного звена), определяемая по формуле (3) и удовлетворяющая условию:  $\int_{-\infty}^{\infty} N(t) dt = 1$ .

Когда СТО и Р состоит из одной последовательной цепочки, при выполнении условия системы (2) импульсная характеристика системы (3) после нормировки примет вид:

$$N(t) = \begin{cases} \prod_{r=1}^n \lambda_r \sum_{s=1}^n \frac{e^{-\lambda_s t}}{\prod_{\substack{q=1 \\ q \neq s}}^n (\lambda_q - \lambda_s)}, & \text{при } n > 1; \\ \lambda e^{-\lambda t}, & \text{при } n = 1. \end{cases} \quad (6)$$

Нетрудно убедиться в том, что результаты, полученные с помощью интеграла свертки (6) с ядром типа (7), совпадают с результатами, полученными по формуле (3). Ядро интегрального уравнения для каждого элемента простой цепочки описывается экспонентой. До сих пор предлагалось, что обслуживание элементов в СТО и Р происходит бесконечно долго. Практически же элементы обслуживаются за некоторый конечный промежуток времени, а этот процесс трудно описать дифференциальными уравнениями. Прделаем эту операцию с помощью интеграла свертки. Допустим, что поступившая на любой участок нагрузка обрабатывается за время  $t \leq t_0$ . Тогда ядро уравнения свертки из условий нормировки (6) примет вид:

$$N(t) = \begin{cases} \frac{\lambda_i}{1 - e^{-\lambda_i t_0}} e^{-\lambda_i t}, & \text{для } t \leq t_0; \\ 0, & \text{для } t > t_0. \end{cases} \quad (7)$$

Формулы для расчета поступающей  $g_i$  и ожидаемой  $g_{i-1} - g_i$  нагрузок на СТО и Р на  $i$ -м участке ( $i = 1, 2, \dots, n$ ) показаны в таблице 1. Эти формулы важны для реальных расчетов. Они учитывают конечность обслуживания СВТ на каждом участке. При этом предполагается, что процесс обслуживания на  $i$ -м этапе на отрезке времени от 0 до  $t_0$  описывается экспоненциальным законом, т.к. выбирая величину  $\lambda_i$ , можно экспонентой описать любой реальный процесс, вплоть до равномерного.

Таблица 1 – Формулы для расчета поступающей и ожидаемой нагрузки на  $i$ -м участке системы технического обслуживания и ремонта

I	$g_i$	$g_{i-1} - g_i$
0	$I$	–
1	$\frac{1 - e^{-\lambda_1 t}}{1 - e^{-\lambda_2 t_0}}$	$\frac{e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_1 t_0}}{1 - e^{-\lambda_2 t_0}}$
2	$\frac{1 - \frac{\lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1} e^{-\lambda_1 t} - \frac{\lambda_1}{\lambda_1 - \lambda_2} e^{-\lambda_2 t}}{(1 - e^{-\lambda_1 t_0})(1 - e^{-\lambda_2 t_0})}$	$\frac{(\frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} + e^{-\lambda_2 t_0}) e^{-\lambda_1 t}}{(1 - e^{-\lambda_1 t_0})(1 - e^{-\lambda_2 t_0})} + \frac{\lambda_1}{\lambda_1 - \lambda_2} \frac{e^{-\lambda_2 t} - e^{-\lambda_2 t_0}}{(1 - e^{-\lambda_1 t_0})(1 - e^{-\lambda_2 t_0})}$

$n \geq 3$	$1 - \prod_{i=1}^n \lambda_i \sum_{s=1}^n \frac{e^{-\lambda_s t}}{\lambda_s \prod_{q=1}^n (\lambda_q - \lambda_s) \prod_{i=1}^n (1 - e^{-\lambda_i t_0})}$	$\left[ \prod_{i=1}^n \frac{1}{(1 - e^{-\lambda_i t_0})} \prod_{i=1}^{n-1} \left[ \lambda_i \sum_{s=1}^n \frac{e^{-\lambda_s t}}{\prod_{\substack{q=1 \\ q \neq s}}^n (\lambda_q - \lambda_s)} - \right. \right. \\ \left. \left. - e^{-\lambda_n t_0} \left( 1 - \prod_{i=1}^{n-1} \lambda_i \sum_{s=1}^{n-1} \frac{e^{-\lambda_s t}}{\prod_{\substack{q=1 \\ q \neq s}}^{n-1} (\lambda_q - \lambda_s)} \right) \right] \right]$
------------	--	---

Разработанная математическая модель процесса сервисного обслуживания средств вычислительной техники представляет собой последовательность отдельных этапов (простую или сложную цепочку). Показано, что в отличие от подходов, предложенных в [2, 5, 7], общий поток СТО и Р не может быть определен простым суммированием потоков отдельных этапов. Это связано с тем, что поток – это случайный процесс, характеризующийся на различных этапах различными законами распределения.

Модель сервисного обслуживания вычислительной техники, организованная по принципу последовательных операций, предназначена для анализа технологии и оптимизации структуры процесса технического обслуживания и ремонта. Соблюдение требуемых качественных показателей для СТО и Р позволяет установить действительные характеристики существующей системы, исследовать реальные потоки средств вычислительной техники с целью совершенствования управления, повышения безотказности техники и сокращения затрат на ее содержание в пользу экономических методов, а также создания специализированной службы технического обслуживания и ремонта, отвечающей за исправное состояние вычислительных сетей промышленных предприятий. Полученные выражения важны для реальных расчетов, т.к. они учитывают конечность обслуживания средств вычислительной техники на каждом участке СТО и Р.

В реальных условиях анализ системы ТОР с помощью разработанной математической модели предлагается проводить по случайным выборкам входных воздействий и откликов системы. В результате такого подхода характеристики системы также будут случайными величинами, что позволяет проводить последующий анализ СТО и Р на основе метода конфлюэнтного анализа.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вентцель Е.С. Исследование операций. – М.: Наука, 1988. – 208 с.
2. Юдин Д.Б. Задачи и методы стохастического программирования. – М.: Наука, 1999. – 392 с.
3. Ерёменко В.Т. Выбор операционных моделей обработки, архивирования и защиты изображений в распределенных системах технической диагностики // В.Т. Ерёменко, А.В. Тютякин, Е.А. Семашко // Информационные системы и технологии, 2011. – № 3. – С. 115-119.
4. Ерёменко В.Т., Тютякин А.В. Методологические аспекты выбора профилей сбора и обработки данных в системах неразрушающего контроля и диагностики технических объектов // Контроль. Диагностика, 2013. – № 1. – С. 24-31.

5. Ерёмченко В.Т. Способы и приемы оптимизации процесса оценки вида технического состояния объектов телекоммуникаций / В.Т. Ерёмченко, А.Н. Орешин, Н.А. Орешин, А.М. Лабунец // Вестник компьютерных и информационных технологий, 2008. – № 6 – С. 40-47.
6. Ерёмченко В.Т. Способы и приемы предотвращения блокировок процессов информационного обмена в сетях передачи данных предприятия / В.Т. Ерёмченко, А.В. Коськин, С.И. Афонин, А.Н. Савенков, В.Е. Фисенко // Вестник компьютерных и информационных технологий, 2008. – № 12. – С. 38-43.
7. Ерёмченко В.Т. Оптимизация ресурсов и управление процессами информационного обмена в сетях АСУТП на основе полевых шин / В.Т. Ерёмченко, С.И. Афонин, С.А. Максаков, А.И. Куленич // Вестник компьютерных и информационных технологий, 2011. – № 9. – С. 46-49.

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

---

S.N. LAZAREV (*Deputy Head of the Department*)  
*Academy of Federal Agency of Protection of the Russian Federation, Orel*

**MATHEMATICAL MODEL OF PROCESS SERVICING OF COMPUTER EQUIPMENT  
INDUSTRIAL ENTERPRISES, ORGANIZED ON THE PRINCIPLE  
OF CONSECUTIVE OPERATIONS**

*The paper presents a mathematical model of the process of the service maintenance of computers, organized on the principle of consecutive operations, allowing to raise quality of management of maintenance service and repair of computer networks of the industrial enterprises.*

**Keywords:** *system maintenance and repair; computer equipment; service.*

**BIBLIOGRAPHY (TRANSLITERATED)**

1. Ventcel' E.S. Issledovanie operacij. – М.: Nauka, 1988. – 208 s.
2. Yudin D.B. Zadachi i metody' stoxasticheskogo programmirovaniya. – М.: Nauka, 1999. – 392 s.
3. Eryomenko V.T. Vy'bor operacionny'x modelej obrabotki, arxivirovaniya i zashhity' izobrazhenij v raspredelenny'x sistemax texnicheskoy diagnostiki // V.T. Eryomenko, A.V. Tyutyakin, E.A. Semashko // Informacionny'e sistemy' i tehnologii, 2011. – № 3. – С. 115-119.
4. Eryomenko V.T., Tyutyakin A.V. Metodologicheskie aspekty' vy'bora profilej sbora i obrabotki danny'x v sistemax nerazrushayushhego kontrolya i diagnostiki texnicheskix ob'ektov // Kontrol'. Diagnostika, 2013. – № 1. – С. 24-31.
5. Eryomenko V.T. Sposoby' i priemy' optimizacii processa ocenki vida texnicheskogo sostoyaniya ob'ektov telekommunikacij / V.T. Eryomenko, A.N. Oreshin, N.A. Oreshin, A.M. Labunec // Vestnik komp'yuternyx i informacionny'x tehnologij, 2008. – № 6 – С. 40-47.
6. Eryomenko V.T. Sposoby' i priemy' predotvrashheniya blokirovok processov informacionnogo obmena v setyax peredachi danny'x predpriyatiya / V.T. Eryomenko, A.V. Kos'kin, S.I. Afonin, A.N. Savenkov, V.E. Fisenko // Vestnik komp'yuternyx i informacionny'x tehnologij, 2008. – № 12. – С. 38-43.
7. Eryomenko V.T. Optimizaciya resursov i upravlenie processami informacionnogo obmena v setyax ASUTP na osnove polevy'x shin / V.T. Eryomenko, S.I. Afonin, S.A. Maksakov, A.I. Kulenich // Vestnik komp'yuternyx i informacionny'x tehnologij, 2011. – № 9. – С. 46-49.



УДК 004.02

Ю.П. ЛАЛУШКИН, А.А. ОВСЯННИКОВ

**МЕТОДОЛОГИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ  
МОДЕЛЕЙ И МЕТОДИК АНАЛИТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ  
УПРАВЛЕНЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ**

*Рассматривается задача проектирования моделей и методик аналитической обработки информации. Излагается опыт интеграции различных методов проектирования компонентов информационно-аналитического обеспечения задач управления. Предлагаются процедурно-ориентированный язык и рекомендации для действий участников проекта в ходе трансляции требований по организации проектирования в концептуальную модель информационной системы.*

**Ключевые слова:** методология проектирования; информационное обеспечение управления; трансляция требований; концептуальная модель; аналитическая обработка; базы знаний.

Объекты системы управления и внешняя среда часто могут иметь противоречивые цели. Поэтому сегодня одним из самых популярных понятий управления является «неопределенность» как постоянная изменчивость условий, возникновение новых связей, быстрая переориентация функционирования в ответ на динамику складывающихся обстоятельств. В связи с этим функциональность методик управления и оперативность анализа методов компьютерной обработки управленческой информации становятся критическими свойствами. На практике это означает необходимость перехода от пассивного наблюдения к активному мониторингу и анализу состояний объектов. При этом сразу ощущается дефицит многоплановой и корректной информации о процессе оценки и объекте регулирования. Поэтому совершенствование методологических основ задач организации информационного обеспечения процессов подготовки решений по управлению и координации действий являются важными задачами.

Трудности разработки аналитического инструментария отчасти обусловлены тем, что функциональные взаимосвязи входных и выходных данных, обстоятельств, складывающихся в объекте управления, сложны в структурных, алгоритмических или логических отношениях, в связи с чем возникает необходимость построения сложных баз данных и баз знаний. Дополнительная проблема возникает в случае, если информационные системы разрабатывались без учета необходимости их взаимодействия. Среди основных факторов, осложняющих интеграцию различных методов проектирования и разработки информационно-аналитических и информационно-управляющих систем, наиболее существенными являются:

– реализация различных методов формирования баз знаний данных систем осуществляется на основе различных информационных технологий (часто без опоры на стандарты);

– отсутствие целостных подходов к интеграции различных методов проектирования и соответствующих трансляторов требований в концептуальные и математические модели для представления данных и процессов обработки.

Проблема интеграции проявляется в отсутствии гарантий полноты описания связей по задачам и по информации в процессе проектирования моделей и методик аналитической обработки информации.

Целью унификации методов проектирования является сокращение трудозатрат на разработку и эксплуатацию информационных систем аналитической службы за счет внедрения типовых проектных решений.

В этой работе описывается попытка обобщить опыт интеграции различных методов проектирования компонентов информационно-аналитического обеспечения задач

управления и разработать целостный подход с ориентацией на современные технологии программирования.

Прогресс в программном обеспечении за последние 20 лет привел к возрастанию использования высокоуровневых абстракций (макроуровень), процедурных абстракций (микроуровень), абстрактных типов данных. Сравнительно недавно появившиеся программные агенты – это примеры таких абстракций, применяемые в разработке распределенных вычислительных и расчетных систем.

К настоящему времени пока нет достаточно универсального и широко используемого инструментального средства для автоматизации проектирования и разработки агентно-ориентированных систем управленческого назначения. Среди развивающихся в настоящее время одной из наиболее зрелых и документированных методологий является методология Gaia [1]. Следует отметить, что в различных сравнительных обзорах многоагентных технологий одним из основных недостатков методологии Gaia указывается отсутствие CASE-средств, поддерживающих ее использование для разработки программного обеспечения.

Разработанная методология проектирования моделей и методик аналитической обработки информации базируется на использовании:

- положений системного анализа [2];
- методологии KADS (Knowledge Acquisition Documentation Structuring) [3];
- методологии агентно-ориентированного анализа Gaia;
- методологии структурного анализа и проектирования SADT (Structured Analysis and Design Technique), моделей под названиями IDEF0, IDEF1 и рекомендаций по стандартизации Р 50.1.028-2001 [4, 5];
- принципов стандарта онтологического исследования IDEF5 [6].

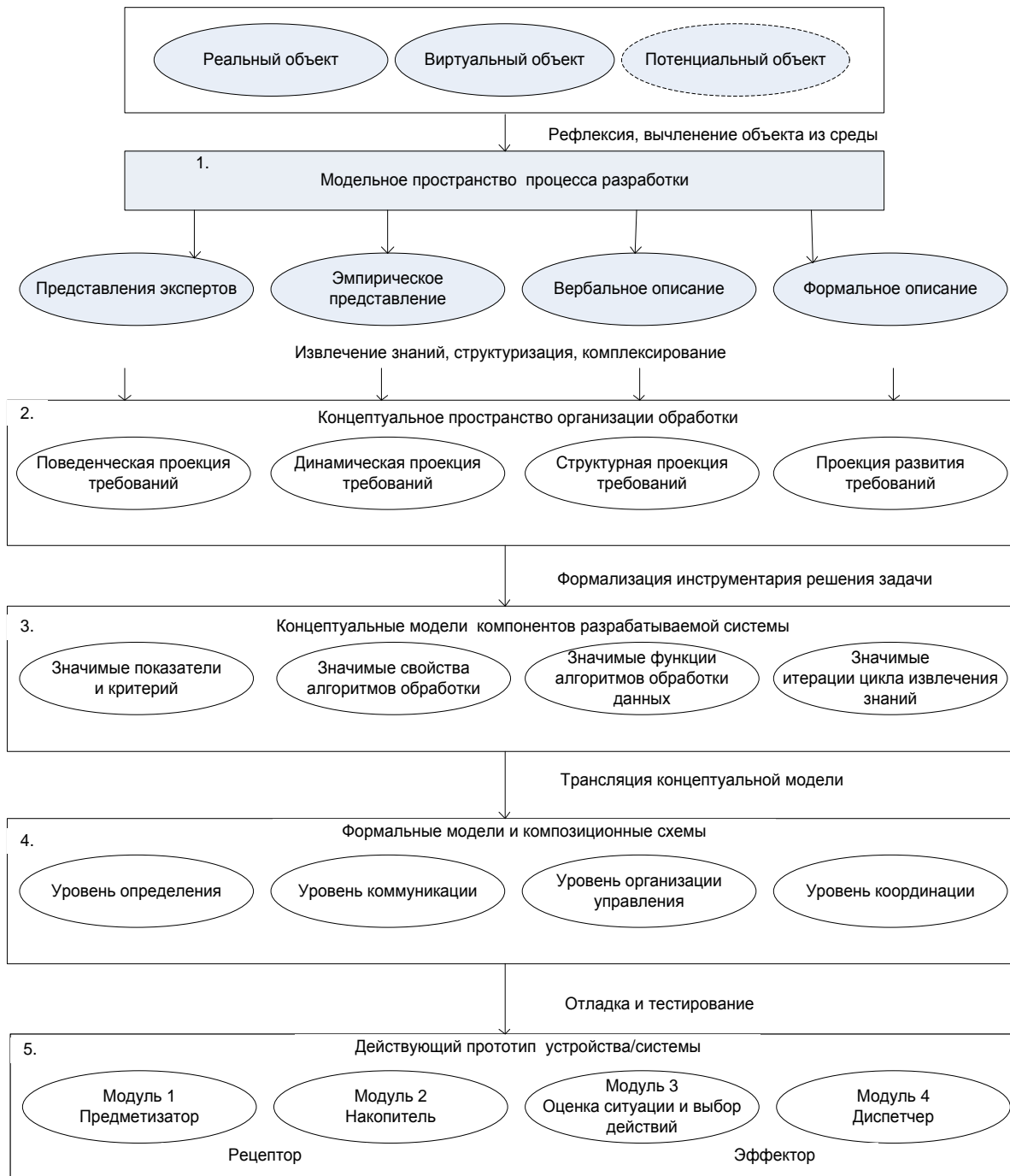
Следует сказать, что каждая из методологий, включая стандарт IDEF5, имеет свои ограничения, что обусловило необходимость интеграции их отдельных компонентов методологией проектирования моделей и методик аналитической обработки информации.

Например, из пяти действий стандарта IDEF5 в новой методологии использованы стадии № 2 и № 3:

- № 2. Сбор и накопление данных. Здесь происходит сбор и накапливание необходимых начальных данных для построения онтологии;
- № 3. Анализ данных. Эта стадия заключается в анализе и группировке собранных данных и предназначена для облегчения построения терминологии.

Кроме того формат языков в методологии IDEF5 не позволяет вводить продукции (факты, правила, цели). Поэтому возможности формата языков в методологии IDEF5 были дополнены формой представления знаний в виде продукционных правил.

Цель «классического» процесса проектирования – преобразование абстрактных моделей, полученных в процессе анализа в модели низкого уровня абстракции, которые могут быть реализованы алгоритмически. Особенностью разрабатываемой методологии является комплексный характер развиваемого подхода, что требует применения совокупности философских (аксиология, теория деятельности), семиотических, математических и формально-логических методов исследования сложных систем. Структура методологии проектирования моделей и методик аналитической обработки информации представлена на рисунке 1.



**Рисунок 1 – Структурная схема методологии проектирования инструментария аналитической обработки информации**

Рассматриваемая методология применима после фазы определения проблемы [2], когда определяются потребители, нужды, которые должны быть удовлетворены; непосредственно потребности, подлежащие удовлетворению; способ определения степени удовлетворения потребностей; круг участников проекта – всех тех, кто может влиять на проект или испытывать на себе влияние последнего; границы системы – предложения или ограничения, которые будут влиять на решение или его реализацию; объем имеющихся ресурсов.

В связи со сложными взаимосвязями среды и предметных областей и большими объемами требуемой управленческой информации ее упорядочение следует делать с самого начала. Здесь может быть полезен коэффициент неопределенности объекта регулирования.

В верхней части рисунка 1 изображены три исходные ситуации проектирования: определенности (реальный объект), нечеткости (виртуальный) и неясности (потенциальный). В условиях неопределенности мы имеем дело с четко определенным проявлением события, но не знаем, произойдет оно или нет (объекты известны, но нет сведений о вероятности состояний среды). В условиях неясности событие определено нечетко, его трудно классифицировать. При этом не имеется в виду «объективизировать фикции». Неясность значит, что в научных исследованиях современных предметных областей необходим «переход» от изучения динамики отдельных элементов к изучению динамики структур, где отношения (ситуативные связи) были бы более явно наблюдаемы и измеримы.

В нижней части рисунка 1 показано, что информационно-аналитическая система управленческого назначения может состоять из нескольких типовых проектов рецептора и эффектора: предметизатор определяет, для чего будут использованы знания; накопитель определяет, как получить знание; подсистема анализа и выбора определяет цели, для реализации которых отыскивается информация и оценки, диспетчер применяет полученные знания.

С методологических позиций задача проектирования моделей и методик аналитической обработки информации разделена на пять шагов:

- концептуализация метода;
- идентификация инструментальных средств решения задачи;
- проектирование цикла извлечения знаний;
- проектирование механизма выбора;
- проектирование композиционной схемы программной системы.

На первом шаге подхода (концептуализация метода) предполагается идентификация и выработка требований концептуального (мета) уровня предметной области, разработка критерия управления и анализ задачи управления.

При процессно-ориентированном подходе к управлению для отдельного процесса должны быть определены цели, критерии и методы, необходимые для обеспечения результативности, как при его осуществлении, так и при управлении им.

В результате первого шага должны быть получены:

- терминология и взаимосвязи понятий, которые могут быть формализованы с применением методологии KADS;
- поведенческая проекция требований, позволяющая уточнить цель и объект регулирования/управления (например, в виде критерия оценки и предмета оценки);
- динамическая проекция требований, позволяющая обосновать количество этапов преобразований в методике обработки информации (например, предметный и статический; предметный, статический и динамический);
- структурная проекция требований к организации обработки в виде композиционной схемы методики обработки информации;
- проекция развития требований определяет однократный или периодически повторяющийся режим извлечения знаний.

На втором шаге подхода (идентификация инструментальных средств решения задачи) необходимо обосновать состав показателей (частные и обобщенные); описать базу для сравнения; определить эталонный объект (образец), имеющий лучшие оценочные показатели. При обосновании состава показателей следует придерживаться принципов стандарта онтологического исследования IDEF5.

В результате второго шага должны быть получены:

- набор показателей;
- измерительные шкалы;
- единый тип данных с помощью метода перехода к сопоставимому виду;
- коэффициенты связи показателей с помощью метода выявления предпочтений;
- обобщенные показатели с помощью метода агрегирования показателей.

На третьем шаге подхода (проектирование цикла извлечения знаний) необходимо сформировать структуру и функции цикла извлечения знаний из данных, например, служащих для технологического управления.

Исходным материалом при работе со знаниями на этом шаге являются анкеты опроса экспертов, протоколы наблюдений, обучающая выборка. При этом протоколируемая информация включает сведения только об объектах, которые выделены как значимые для определенной сферы деятельности, а из всего многообразия связей каждого объекта/явления выделяются лишь некоторые, заранее признанные существенными.

Чтобы отделить организацию процесса обработки информации от функций программного обеспечения в алгоритме автоматической обработки данных, следует применить методологию структурного анализа и проектирования SADT и рекомендации по стандартизации Р 50.1.028-2001.

В результате третьего шага должны быть получены:

- функциональная модель обработки данных;
- определены итерации цикла извлечения знаний;
- значимые свойства алгоритмов обработки данных.

На четвертом шаге подхода (проектирование механизма выбора) выполняется построение правил сравнения для алгоритма выбора альтернатив/действий, реализующих функции механизма логического вывода экспертной системы.

При построении правил сравнения часто необходимо рассчитывать сходство/различие с применением искусственной меры. Логическим выводом реализуется связь между обстановкой, определяемой значениями показателей, и выбираемыми альтернативами. Здесь нужно выбрать подходящий формализм для представления знаний, позволяющий описать рассуждения эксперта.

Для осуществления регулирования часто возникает необходимость использования нечетких информационных мер. При этом, когда имеется множество объектов и оно оценивается с точки зрения какого-то свойства, функция принадлежности имеет смысл степени нормы, степени отклонения от нормы, степени истинности, степени важности объекта с точки зрения изучаемого свойства.

В результате четвертого шага должны быть получены:

- значения меры сходства/отличий объекта от нормального состояния;
- правила оценки обстановки/состояний объекта;
- алгоритм оценки состояний объекта и выбора регулирующих действий.

На пятом шаге подхода (проектирование композиционной схемы программной системы) для трансляции компонентов концептуальной модели возможно применить методологию агентно-ориентированного анализа Gaia.

В результате пятого шага должны быть получены:

- композиционные схемы по уровням агентно-ориентированного анализа;
- концептуальная структура прототипа программной системы.

Таким образом, в результате применения пяти шагов методологического подхода выявляются и документируются результаты проектирования, перечисленные в таблице 1.

Спецификация результатов проектирования обеспечивает прослеживаемость выполненных работ, что снижает риск потери информации при переходе от концептуальной модели к схеме модели данных программной системы.

Следует отметить, что разработанная методология проектирования была апробирована научными сотрудниками и программистами, которые разрабатывали реально функционирующие методику аналитического мониторинга качества информационно-аналитических материалов [7] и модули анализатора и управления для системы мониторинга текстовых ресурсов Интернет [8], то есть составляли методики и программы для аналитической обработки и оценочного анализа управленческой информации.

Таблица 1 – Результаты использования разработанной методологии проектирования моделей и методик аналитической обработки информации

№	Спецификация результатов проектирования
1	терминология и взаимосвязи понятий
2	поведенческая проекция требований к организации обработки
3	динамическая проекция требований к организации обработки
4	структурная проекция требований к организации обработки
5	проекция развития требований
6	набор показателей
7	измерительные шкалы
8	единый тип данных
9	коэффициенты связи показателей
10	обобщенные показатели
11	функциональная модель обработки данных
12	алгоритм цикла извлечения знаний
13	значимые свойства алгоритмов обработки данных
14	значения меры сходства/отличий объекта от нормального состояния
15	правила оценки обстановки/состояний объекта
16	алгоритм оценки состояний и выбора регулирующих действий
17	композиционные схемы агентно-ориентированного анализа
18	концептуальная структура прототипа программной системы

Во-первых, использование унифицированной методологии проектирования позволяет упрощать и ускорять решение задачи разработки компонентов системы управления, существенно сокращать трудозатраты на разработку информационно-аналитической системы. Во-вторых, использование методологии (в сочетании с агентно-ориентированным подходом) может обеспечивать достижение более высокой производительности программной системы. В-третьих, за счет полного документирования результатов проектирования уменьшаются потенциальные риски несовместимости моделей данных и потерь данных в процессе жизненного цикла корпоративной информационной системы.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Романов В.Н. Системный анализ для инженеров. – СПб: СЗГЗТУ, 2006. – 186 с.
2. Wooldridge M., Jennings N., Kinny D. The Gaia methodology for agent-oriented analysis and design [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.csc.liv.ac.pdf> (дата обращения: 10.02.2014).
3. Гаврилова Т.А., Хорошевский В.Ф. Базы знаний интеллектуальных систем. – СПб: Питер, 2000. – 384 с.
4. Марка Д., МакГоуэн К. Методология структурного анализа и проектирования SADT: пер. с англ. – М.: Банксервис, 1993. – 240 с.
5. Р 50.1.028-2001. Рекомендации по стандартизации. Информационные технологии поддержки жизненного цикла продукции. Методология функционального моделирования – М: ВНИИстандарт, 2002. – 54 с.
6. IDEF5 Method Report. Information Integration for Concurrent Engineering. [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.idef.com/pdf/Idef5.pdf> (дата обращения: 01.02.2014).
7. Голубинский Е.Ю. Методика аналитического мониторинга качества информационно-аналитических материалов // Вестник Костромского государственного университета имени Н.А. Некрасова, 2013. – № 1. – С. 19-23.
8. Елецкий К.В., Овсянников А.А. Подход к фильтрации сообщений СМИ на основе модели оценки качества // Информационные системы и технологии, 2010. – №1. – С. 68-74.

**Лалушкин Юрий Петрович**

Управление информационных систем Спецсвязи ФСО России, г. Москва

Доктор технических наук, старший научный сотрудник, консультант

Тел.: 8 926 150 94 43

E-mail: Lalushkina@rambler.ru

**Овсянников Анатолий Анатольевич**

Академия ФСО России, г. Орел

Кандидат технических наук, доцент, начальник лаборатории

Тел.: 8 910 262 32 84

E-mail: ovsyannikov.aa@mail.ru

---

*Yu.P. LALUSHKIN (Doctor of Engineering Science, Senior Researcher, Consultant)*

*Management Information Systems Special Communications Federal Security Service of Russia, Moscow*

*A.A. OVSYANNIKOV (Candidate of Engineering Science, Associate Professor, Head of the Laboratory)*

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

#### **METHODOLOGY OF MODEL AND METHODS DESIGN OF ANALYTICAL PROCESSING OF MANAGEMENT-PURPOSE INFORMATION**

*The article deals with the task of designing models and methods for information analytical processing is considered. The article describes the experience of different integration methods of information-analytical provision of management tasks. The authors suggest procedure-oriented language and recommendations for project participants in the course of translation requirements for design organization into a conceptual model of informational system.*

**Keywords:** *methodology of design; information provision of management; translation of requirements; conceptual model; analytical processing; knowledge bases.*

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

1. Romanov V.N. Sistemny'j analiz dlya inzhenerov. – SPb: SZGZTU, 2006. – 186 s.
2. Wooldridge M., Jennings N., Kinny D. The Gaia methodology for agent-oriented analysis and design [E'lektronny'j resurs]. – URL: <http://www.csc.liv.ac.pdf> (data obrashheniya: 10.02.2014).
3. Gavrilova T.A., Xoroshevskij V.F. Bazy' znaniy intellektual'ny'x sistem. – SPb: Piter, 2000. – 384 s.
4. Marka D., MakGoue'n K. Metodologiya strukturnogo analiza i proektirovaniya SADT: per. s angl. – M.: Bankservis, 1993. – 240 s.
5. R 50.1.028-2001. Rekomendacii po standartizacii. Informacionny'e texnologii podderzhki zhiznennogo cikla produkcii. Metodologiya funkcional'nogo modelirovaniya – M: VNIStandart, 2002. – 54 s.
6. IDEF5 Method Report. Information Integration for Concurrent Engineering. [E'lektronny'j resurs]. – URL: <http://www.idef.com/pdf/Idef5.pdf> (data obrashheniya: 01.02.2014).
7. Golubinskij E.Yu. Metodika analiticheskogo monitoringa kachestva informacionno-analiticheskix materialov // Vestnik Kostromskogo gosudarstvennogo universiteta imeni N.A. Nekrasova, 2013. – № 1. – S. 19-23.
8. Eleckij K.V., Ovsyannikov A.A. Podxod k fil'tracii soobshhenij SMI na osnove modeli ocenki kachestva // Informacionny'e sistemy' i texnologii, 2010. – №1. – S. 68-74.

## АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ РЕКОНСТРУКЦИЯ ФРАГМЕНТИРОВАННЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СОВОКУПНОСТИ ПРИЗНАКОВ ФРАГМЕНТОВ

*В статье рассмотрена проблема синтеза изображения из фрагментов в приложении к реконструкции деструктурированных объектов в криминалистике, археологии и других областях. Предложен трехэтапный метод поиска стыков фрагментов с использованием совокупности признаков и метод синтеза изображения на основе найденных стыков. Показаны преимущества и практическая значимость разработанных методов.*

**Ключевые слова:** стыковка фрагментов; реконструкция изображения; графы; дескриптор фрагмента.

### ВВЕДЕНИЕ

В таких прикладных областях, как реставрация, криминалистика, археология, музейное и архивное дело, возникает задача восстановления механически фрагментированных объектов: фресок, керамических изделий, бумажных документов, фотографий и т.п. Традиционный подход к решению такой задачи предполагает ручной подбор стыкующихся между собой фрагментов для последующего воссоздания композиции, соответствующей исходному объекту. Этот процесс требует большого объема малоэффективной ручной работы, которая приводит к необратимому разрушению материалов в процессе физического контакта с ними. Поэтому актуальной задачей является поиск методов автоматизации данного процесса с использованием вычислительной техники, программного обеспечения и соответствующих алгоритмов.

Для широкого класса материалов с относительно плоской поверхностью задача реконструкции объекта может быть сведена к задаче синтеза изображения из фрагментов произвольной формы. При этом используются двумерные цифровые изображения поверхности фрагментов, а также дополнительная информация об их свойствах, которая задается отдельно. На рисунке 1 показан пример фрагментированной фресковой композиции.

Процесс автоматизированной реконструкции фрагментированного изображения в общем виде включает в себя следующие этапы:

1. Оцифровка исходных материалов;
2. Формализация и описание характеристик (признаков) фрагментов;
3. Перебор пар фрагментов, сравнение признаков и выявление стыков;
4. Синтез изображения композиции на основе найденных пар.

К настоящему времени предложен ряд подходов, решающих задачу реконструкции изображений применительно к различным прикладным областям. Например, в работах [1] и [2] рассмотрена реконструкция керамических изделий, в [3] и [4] – бумажных документов, [5] и [6] – фотографий. Следует отметить, что практически все известные подходы и методы разработаны для конкретных типов исходных данных, что ограничивает их применение. Как правило, для поиска стыков используется только контур фрагмента. На данный момент не предложено обобщенного подхода, позволяющего одновременно учесть и другие доступные признаки.

Задача перебора пар фрагментов и сравнения их признаков имеет вычислительную сложность  $O(n^2)$ . При росте общего числа фрагментов число проверяемых на возможность стыка пар растет в квадратичной зависимости. При этом повышается вероятность обнаружения ложных стыков, что осложняет процесс реконструкции. В известных методах не предложено каких-либо путей оптимизации и сокращения множества перебора. В части работ проблема синтеза изображения после нахождения стыкующихся пар не рассмотрена, а



в некоторых работах ([2] и [6]) предлагаются сложные с точки зрения реализации и недостаточно эффективные по производительности алгоритмы.



*Рисунок 1 – Изображение фресковой композиции*

В данной работе представлен новый метод, позволяющий реализовать универсальный подход к синтезу изображения из фрагментов без привязки к конкретному типу материалов. Такой подход позволяет учесть все доступные признаки фрагментов, набор которых может быть адаптирован для конкретных задач без изменения общей процедуры реконструкции. Разработанные методы позволяют повысить эффективность и производительность реконструкции за счет постепенного отсеивания заведомо ложных вариантов на ранних этапах обработки.

### **ПРИЗНАКИ ФРАГМЕНТА И ФОРМИРОВАНИЕ ДЕСКРИПТОРА**

Обзор и классификация признаков фрагментов различных типов рассмотрена в работах [7], [8]. С точки зрения представления их можно разделить на 3 группы:

1. Элементарные признаки принимают конечное число значений из заранее определенного множества. Как правило, эти признаки не могут быть получены из изображения фрагмента и задаются отдельно. К ним относятся, например, тип бумаги, тип краски, информация о принадлежности фрагмента какой-либо известной части композиции и т.д. Данные признаки сравниваются по критерию точного совпадения.

2. Скалярные признаки представляются вещественным числом (например, толщина фрагмента) и допускают количественное сравнение.

3. Векторные признаки представляются набором значений, организованных в структуру данных. К ним относятся контур фрагмента, цветовая палитра, дескриптор текстуры и т.п.

Очевидно, что векторные признаки обладают большей информативностью и требуют наибольших вычислительных затрат для их сравнения. В общем случае главным векторным признаком является контур, так как он позволяет идентифицировать область стыка [7].

С точки зрения сравнения признаки можно также разделить на 3 группы:

1. Предварительные признаки позволяют разделить множество фрагментов на классы, поскольку, например, нет смысла искать стык между фрагментами рукописного документа и фотографии. К этой группе относятся в основном элементарные признаки.

2. Основные признаки служат для установления наличия стыка и локализации его области. Они могут быть как векторные, так и скалярные.

3. Верификационные признаки можно сравнить только после расчета предполагаемого стыка. Например, для печатного документа направление строк текста на соседних фрагментах должно быть одинаковым.

Таким образом, дескриптор фрагмента может быть представлен в виде совокупности  $D(F) = \{T_p; T_s; T_v\}$ , где  $T_p = \{t_{p1}, \dots, t_{pn}\}$  – набор предварительных признаков,  $T_s$  – основных,  $T_v$  – верификационных.

### ПРОЦЕДУРА ПОИСКА СТЫКОВ

Для обеспечения максимальной эффективности и достоверности обнаружения стыка двух фрагментов необходимо включить в процедуру поиска анализ всех доступных признаков. Для этого предложена схема процесса идентификации стыка, включающая в себя 3 последовательных этапа, на каждом из которых проверяется соответствующая группа признаков (рис. 2).

На этапе классификации на основе предварительных признаков выделяются непересекающиеся классы фрагментов, внутри которых выполняется дальнейший поиск. Это позволяет сократить множество, подлежащее перебору, а также распараллелить процесс обработки независимых классов.

На этапе поиска происходит перебор всех возможных пар фрагментов внутри класса, проверяются вычислительно сложные признаки группы  $T_s$ , и при нахождении стыка выполняется расчет взаимного положения фрагментов. Результатом данного этапа является ранжированный по весу список вероятных вариантов стыков. В качестве веса выступает длина предполагаемой области стыка.

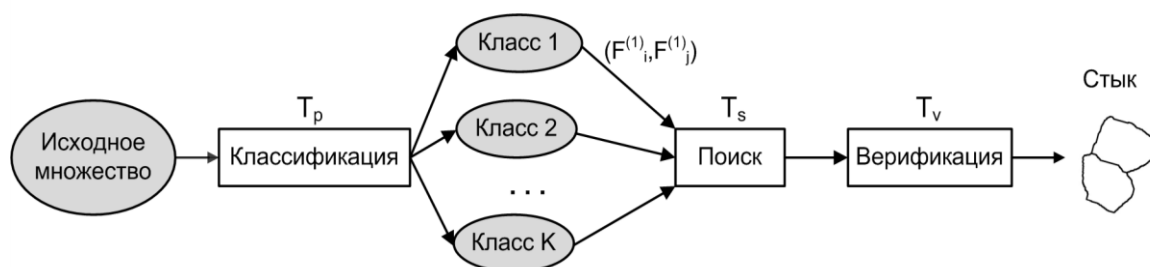


Рисунок 2 – Трехэтапная процедура поиска стыков

Сравнение признаков организовано по принципу конвейера (рис. 3), каждая стадия которого реализует сравнение конкретного признака. Из схемы видно, что в случае совпадения признака  $t_{s1}$  процедура переходит к сравнению признака  $t_{s2}$  и т.д. В случае, если на какой-либо стадии критерий сравнения не выполняется, данная пара фрагментов исключается из дальнейшего рассмотрения и происходит выбор следующей пары. Для максимальной оптимизации производительности порядок признаков выбирается таким образом, чтобы более ресурсоемкие операции были отнесены к более поздним стадиям конвейера.

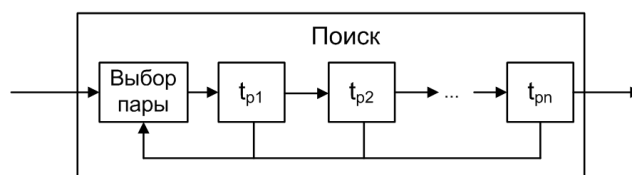


Рисунок 3 – Конвейерная обработка на этапе поиска

На этапе верификации проверяются признаки группы  $T_v$ , которые невозможно проверить ранее, и исключаются пары, не совпадающие с точки зрения этих признаков. В случае реализации интерактивного режима реконструкции на данном этапе может быть реализована процедура ручного утверждения стыков оператором-экспертом, который при необходимости выполняет коррекцию взаимной привязки фрагментов для более качественной визуализации. Данный этап строится по конвейерному принципу аналогично поиску, при этом ручное утверждение стыка является последней стадией.

Результатом работы трехэтапной процедуры является набор предполагаемых стыков вида  $\{F_i, F_j, w_{ij}, M_{ij}\}$ , где  $F_i, F_j$  – идентификаторы фрагментов,  $w_{ij}$  – вес стыка,  $M_{ij}$  – параметры взаимной привязки фрагментов и приведения в единую систему координат.

Трехэтапная процедура обеспечивает гибкость временных рамок. Классификацию удобно реализовать на этапе описания признаков фрагментов, а верификация может быть выполнена независимо от поиска, что удобно при реализации интерактивного режима с оператором-экспертом.

### СИНТЕЗ КОМПОЗИЦИИ

Композиция может быть представлена неориентированным взвешенным графом, в котором каждая вершина соответствует фрагменту, ребро – стыку между фрагментами, а вес ребра является характеристикой стыка. Таким образом, на основе списка идентифицированных стыков необходимо построить набор графов, каждый из которых соответствует части исходного изображения или же изображению целиком. При этом в исходном множестве могут содержаться фрагменты как единственной композиции, так и множества отдельных композиций.

Пусть  $G_{\text{общ}} = (V, E, w)$  – взвешенный граф связности, сформированный по результатам работы алгоритма поиска стыков, соответствующий множеству фрагментов, принадлежащих одному из непересекающихся классов. При этом  $V$  – множество вершин графа,  $E$  – множество ребер,  $w$  – выбранная весовая функция. Моделью реконструированной композиции (или ее части) является граф  $T_{\text{комп}}$ , являющийся покрывающим деревом для некоторого подграфа  $G' \subset G_{\text{общ}}$  [9]. Выбор древовидной структуры обусловлен удобством хранения информации и обработки при последующей визуализации изображений. Задача синтеза композиции сводится к преобразованию общего графа в набор деревьев, соответствующих частям композиции, или в единственное дерево, соответствующее всей композиции.

Алгоритм синтеза композиции представляет собой модификацию поиска в ширину и включает в себя следующие действия:

1. Выбор начального фрагмента с наибольшей длиной контура. Он соответствует корневой вершине дерева (уровень 0).
2. Выбор очередного стыка с максимальным весом.
3. Проверка перекрытий с уже состыкованными фрагментами и прочих эвристических правил. Если обнаружен конфликт, то стык исключается и происходит переход на шаг 2.
4. Стыковка выбранного фрагмента к текущей композиции. Исключение его из списка доступных фрагментов. Визуализация.
5. Повторение алгоритма с шага 2, пока есть хотя бы один доступный стык для любого из фрагментов текущего уровня. Если таких кандидатов нет, то выполняется переход на следующий уровень и повторение с шага 2 для всех фрагментов следующего уровня.

На рисунке 4 представлена визуализация работы метода.

На шаге 3 проверяются различные эвристические правила, гарантирующие, что фрагмент может быть встроен в текущую композицию. Например, фрагменты, образующие

общий угол, являются приоритетными для выбора, а документы имеют определенный размер листа бумаги. Адекватный подбор таких правил существенно повышает достоверность реконструкции.

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

Для оценки эффективности представленного подхода был проведен эксперимент при помощи специально разработанной программной системы. В качестве исходных материалов использованы 5 разорванных вручную бумажных документов, из которых 4 печатных и 1 рукописный. Описание документов приведено в таблице 1. Для 63 фрагментов в случае полного перебора потребовалась бы обработка  $63 \cdot 62 / 2 = 1953$  пар, из которых 91 или 4,5% – истинные. За счет классификации по типу документа и типу бумаги было выделено 3 класса из 34, 11 и 18 фрагментов соответственно. С учетом независимости каждого класса суммарное число сочетаний в этом случае составило 769 или примерно 40% от исходного, таким образом, размерность задачи была уменьшена более чем в 2 раза. На этапе поиска использовалось сравнение цветовой палитры и контуров методом, представленным в работе [10]. Верификация выполнялась по направлению строк текста. Для класса 1 при сравнении цветовой палитры было отвергнуто около 40% вариантов (дальнейшее сравнение контуров для них не выполнялось), что позволило примерно на 35% сократить время обработки фрагментов данного класса.

В целом было найдено 79 истинных стыков из 91. Также было ошибочно найдено 25 ложных стыков, которые были отвергнуты позже во время синтеза композиции. Необнаруженными оказались в основном стыки, имеющие малую протяженность. Документы в целом были восстановлены за исключением нескольких отдельных фрагментов. На рисунке 5 представлено изображение одного из реконструированных документов. Отметим, что в реальных задачах следует учесть большее количество признаков.

Полученные результаты позволяют говорить об эффективности разработанных методов. Предложенный подход к синтезу изображения из фрагментов позволяет разрабатывать программные средства реконструкции фрагментированных изображений для реальных прикладных задач и учесть все доступные признаки фрагментов, набор которых может быть адаптирован для конкретного типа фрагментов. Разработанные методы позволяют повысить достоверность и производительность процесса реконструкции. Для достижения лучших результатов в реальных прикладных задачах требуется учесть как можно больше отдельных признаков фрагментов и разработать эффективные методы описания и сравнения каждого признака.

Таблица 1 – Характеристики тестовых материалов

№	Описание документа	Бумага	Кол-во фрагментов	Кол-во стыков	Класс
1	Печатный	Белая	11	15	1
2	Печатный	Белая	13	20	1
3	Печатный	Цветная	18	26	2
4	Печатный цветной	Белая	10	14	1
5	Рукописный	Белая	11	16	3
<b>Итого:</b>			63	91	

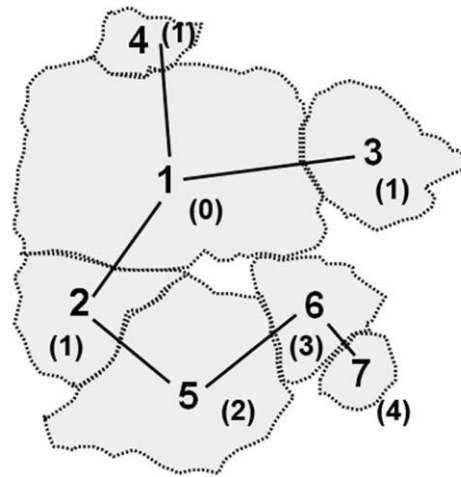


Рисунок 4 – Построение дерева композиции для абстрактного изображения (в скобках указан порядок добавления элементов и уровень вершин графа)

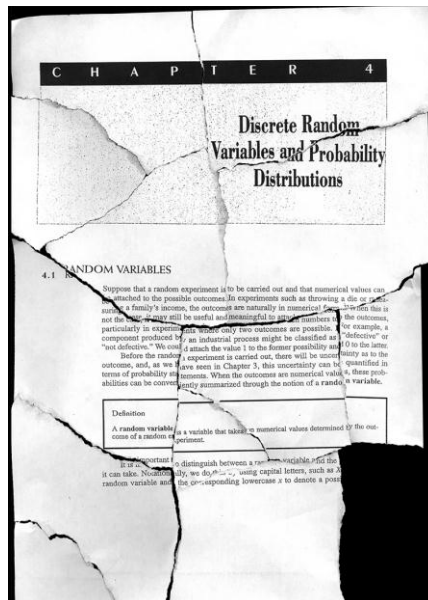


Рисунок 5 – Изображение реконструированного печатного документа

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Leitao H.C., Stolfi J. A Multiscale method for the reassembly of two-dimensional fragmented objects // IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2002. – V. 24. – № 9. – P. 1239-1251.
2. McBride J.C., Kimia B.B. Archaeological fragment reconstruction using curve-matching // Conference on computer vision and pattern recognition CVPRW '03, 2003. – № 1. – P. 3-11.
3. Deever A., Gallagher A. Semi-automatic assembly of real cross-cut shredded documents / Proceedings 19th IEEE International Conference on Image Processing, ICIP 2012, 2012. – P. 233-236.
4. Justino E., Oliveira L.S., Freitas C. Reconstructing shredded documents through feature matching // Forensic Science International, 2006. – V. 160. – № 2. – P. 140-147.
5. Amigoni F., Gazzani S., Podico S. A Method for reassembling fragments in image reconstruction // International conference on image processing ICIP 2003. Proceedings. – V. 2. – P. 581-584.
6. Shengjiao C., Hairong L., Shuicheng Y. Automated assembly of shredded pieces from multiple photos // IEEE International Conference on Multimedia & Expo (ICME), 2010.

7. Наумов А.С. Анализ методов описания контуров фрагментов при решении задачи синтеза изображения // Великий Новгород: НовГУ им. Ярослава Мудрого, 2010. – Деп. в ВИНТИ 24.01.11, № 15-В2010.
8. Наумов А.С. Критерии сравнения характеристик фрагментов в задаче синтеза композиции // Великий Новгород: НовГУ им. Ярослава Мудрого, 2011. – Деп. в ВИНТИ РАН 01.07.2011 № 315-В2011.
9. Емеличев В.А. Лекции по теории графов / В.А. Емеличев, О.И. Мельников, В.И. Сарванов, Р.И. Тышкевич. – М.: Наука, 1990. – 384 с.
10. Наумов А.С. Стыковка фрагментов изображения по геометрическому и цветовому контурам // Вестник компьютерных и информационных технологий, 2013. – № 9. – С. 16-21.

**Наумов Алексей Сергеевич**  
Аспирант  
Тел.: 8 921 202 90 83  
E-mail: alex.naumov53@mail.ru

---

A.S. NAUMOV (*Post-graduate Student*)  
*Yaroslav-the-Wise Novgorod State University, Velikij Novgorod*

#### **AUTOMATED RECONSTRUCTION OF THE FRAGMENTED IMAGES BASED ON MULTIPLE FRAGMENT FEATURES**

*Article deals with the problem of the reassembling images from fragments in application to the object reconstruction in forensics, archaeology and other fields. A new 3-stage match searching method based on multiple fragment features is presented, and image synthesis method based on found fragment pairs proposed. The article also shows advantages and practical significance of the developed methods.*

**Keywords:** *fragment matching; image reconstruction; graphs; fragment descriptor.*

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

1. Leitao H.C., Stolfi J. A Multiscale method for the reassembly of two-dimensional fragmented objects // IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2002. – V. 24. – № 9. – P. 1239-1251.
3. McBride J.C., Kimia B.B. Archaeological fragment reconstruction using curve-matching // Conference on computer vision and pattern recognition CVPRW '03, 2003. – № 1. – P. 3-11.
4. Deever A., Gallagher A. Semi-automatic assembly of real cross-cut shredded documents / Proceedings 19th IEEE International Conference on Image Processing, ICIP 2012, 2012. – P. 233-236.
5. Justino E., Oliveira L.S., Freitas C. Reconstructing shredded documents through feature matching // Forensic Science International, 2006. – V. 160. – № 2. – P. 140-147.
6. Amigoni F., Gazzani S., Podico S. A Method for reassembling fragments in image reconstruction // International conference on image processing ICIP 2003. Proceedings. – V. 2. – P. 581-584.
7. Shengjiao C., Hairong L., Shuicheng Y. Automated assembly of shredded pieces from multiple photos // IEEE International Conference on Multimedia & Expo (ICME), 2010.
8. Naumov A.S. Analiz metodov opisaniya konturov fragmentov pri reshenii zadachi sinteza izobrazheniya // Velikij Novgorod: NovGU im. Yaroslava Mudrogo, 2010. – Dep. v VINITI 24.01.11, № 15-V2010.
9. Naumov A.S. Kriterii sravneniya xarakteristik fragmentov v zadache sinteza kompozicii // Velikij Novgorod: NovGU im. Yaroslava Mudrogo, 2011. – Dep. v VINITI RAN 01.07.2011 № 315-V2011.
10. Emelichev V.A. Lekcii po teorii grafov / V.A. Emelichev, O.I. Mel'nikov, V.I. Sarvanov, R.I. Tyshkevich. – M.: Nauka, 1990. – 384 s.
11. Naumov A.S. Sty'kovka fragmentov izobrazheniya po geometricheskomu i cvetovomu konturam // Vestnik komp'yuterny'x i informacionny'x texnologij, 2013. – № 9. – S. 16-21.

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ  
И ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

УДК 55.01.77-004.451.2

О.С. МИХАЙЛОВА, Л.Ю. ДМИТРИЕВА, Е.А. МУСИХИНА

**ПРОГРАММА «ВИЗУАЛИЗАЦИЯ  
КОМПЛЕКСНОГО АНТРОПОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ  
НА ВОЗДУШНУЮ СРЕДУ ТЕРРИТОРИИ ИРКУТСКОЙ ОБЛАСТИ»**

*Статья посвящена описанию программы для визуального анализа состояния воздушной среды, позволяющей ограничить возможность административного или ведомственного влияния на результат расчетов. Предложен расчет качественного показателя состояния воздушной среды на основе пространственной методики, который позволяет повысить достоверность оценки и визуально представить уровни антропогенного воздействия.*

***Ключевые слова:** информационные технологии; визуализация; качественный показатель состояния воздушной среды; методика расчета.*

**ВВЕДЕНИЕ**

При проведении экологических исследований особый интерес представляет изучение загрязнения приземного слоя атмосферы продуктами деятельности промышленных предприятий, выхлопами от различных видов транспорта и от утилизации бытовых отходов. Ежегодно выпускаются различные отчеты о состоянии загрязнения атмосферного воздуха в населенных пунктах Российской Федерации, составленные на основании данных мониторинга, осуществляемого специализированными организациями различного уровня. Данные, поступающие из этих отчетов, многомерны, зачастую одноименные показатели представлены целым спектром не всегда совпадающих величин, что вызвано погрешностью измерения показателей, применением различных методов расчета, дефицитом информации и ее неадекватностью. Часто мы сталкиваемся не с количественными показателями, выраженными в абсолютных единицах, а с качественными, характеристики которых осуществляются с применением ранговой шкалы, что затрудняет не просто восприятие данных, но и дальнейшую их интерпретацию. Данный вопрос требует отдельного внимания [1].

Для выявления проблемной области исследования такой сложной задачи необходим особый инструмент. Таковым является модель представления данных, реализуемая в программе «Визуализация комплексного антропогенного воздействия на воздушную среду территории Иркутской области». В программе систематизированы и структурированы данные разных отчетов, содержащих информацию о состоянии воздушной среды за период с 2006 по 2011 годы. Предлагаемая структура данных позволяет осуществлять одновременный доступ к исходным данным и к расчетным показателям загрязнения воздушной среды. Основной функцией программы является автоматическое построение графиков для визуального анализа, включая сравнение уровней загрязнения по 13 городам Иркутской области на основе выбранных пользователем временных интервалов интересующих показателей. Кроме того, осуществляется визуализация изменения параметров на основании анализа динамических рядов с целью прогнозирования состояния воздушной среды выбранного пользователем города на последующий двухгодичный временной интервал. Программа защищена от возможности изменения результатов полученной оценки.

Предлагаемый метод качественной оценки состояния воздушной среды основан на учете предельно допустимой концентрации (ПДК), класса опасности загрязняющего

вещества и радиуса удаленности от территории, подверженной антропогенному воздействию.

Для вычисления величины параметра адаптирована «модель подсчета эколого-экономического ущерба, наносимого окружающей среде (ОС) горным производством» [2, 3]. В рамках этой модели предлагалось для комплексной оценки состояния почв территории Иркутской области использовать следующую формальную пространственно-временную модель, в которой левая часть формулы представляет собой пространственные отношения, а правая характеризует временную компоненту:

$$Y = \frac{C_{нар} * S_{нар}^n}{100 * S_{общ}^n} * K_{св} * T_{max} * \left(\frac{1}{Ck}\right)^{n-1},$$

где  $Ck$  – масштабный коэффициент подобия,  $T_{max}$  – время жизни компонента природной среды,  $n$  – количество уровней системы, для которых производится расчет,  $K_{св}$  – коэффициент связи компонентов природной среды,  $C_{нар}$  – степень нарушенности земель,  $S_{нар}$  – площадь загрязненных токсикантами земель,  $S_{общ}^n$  – общая площадь территории Иркутской области [2].

### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В алгоритме расчета применена формула, полученная путем адаптации на воздушную среду модели подсчета эколого-экономического ущерба, наносимого ОС горным производством. Исходя из свойства природных систем, развивающихся в режиме самоорганизации и характеризующихся затуханием степени локального воздействия при распространении его на постепенно увеличивающийся размер окружающего пространства, с учетом ПДК и класса опасности загрязняющих веществ, формула расчета качественного показателя состояния воздушной среды представляется следующим выражением:

$$Y = \frac{\sum_n^I N_{i(зв)} * K_{i(ко)} + \sum_m^I M_{j(озв)} * K_{j(кот)}}{r_{усл} + \sum_s^I L_{k(ур)}},$$

где  $K_{i(ко)}$  – коэффициенты, учитывающие класс опасности загрязняющего вещества и принимаются для I класса опасности – 16,3; для II – 7,43; для III – 3,43; для IV – 1,58,  $N_{i(зв)}$  – среднегодовая концентрация загрязняющих веществ относительно уровня ПДК, измеряемая в количестве раз,  $K_{j(кот)}$  – коэффициенты, учитывающие класс опасности загрязняющего вещества, измеренного в тысячах тонн, для основных загрязняющих веществ, таких как твердые диоксид серы ( $SO_2$ ), диоксид азота ( $NO_2$ ), окись углерода (CO),  $M_{j(озв)}$  – масса основных загрязняющих веществ, измеряемая в тысячах тонн,  $r_{усл}$  – условный радиус населенного пункта, рассчитывается по формуле  $r = \sqrt{S/\pi}$ , где  $S$  – площадь населенного пункта,  $L_{k(ур)}$  – период дискретизации, принимаемый равным 5 км, исходя из эмпирических данных. Полученная модель не охватывает временной фактор воздействия поллютантов и визуализирует характеристику состояния приземного слоя атмосферного воздуха только на текущий момент времени.

Для реализации проекта выбран язык Visual Basic for Applications (VBA) [4], поскольку база данных для расчетов была создана в программе MS Excel в виде таблиц, включающих в себя информацию об абсолютных и качественных показателях загрязнения воздушной среды полученных из официальных источников. VBA позволяет реализовать в программе следующие задачи:

- провести статистический анализ уровней загрязнения по 13 городам Иркутской области: Иркутск, Ангарск, Байкальск, Братск, Зима, Саянск, Свирск, Слюдянка, Тулун, Усолье-Сибирское, Усть-Илимск, Черемхово и Шелехов;
- получить визуальный автоматизированный отчет по каждому интересующему пользователя показателю;
- спрогнозировать состояние воздушной среды интересующего пользователя города на последующий двухгодичный временной интервал.



## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Программа выполняет визуализацию по любому из четырех измеряемых параметров основных загрязняющих веществ с учетом выбранного пользователем города Иркутской области в период с 2006 по 2011 гг [5].

По каждому из указанных городов существует возможность выбора условий визуализации (рис. 1).

Рисунок 1 – Выбор города и условий визуализации по данным с 2006 по 2011 гг.

Результат представляется в виде гистограммы по трем уровням степени локального воздействия, с учетом затухания при распространении на периферию окружающего пространства (рис. 2).



Рисунок 2 – Гистограммы суммарных выбросов основных загрязняющих веществ в атмосферу по г. Иркутск с 2006 по 2011 гг.

Первый уровень рассчитывается по условному радиусу города, зависящему от площади населенного пункта, радиус каждого последующего уровня увеличивается на 5 км. Гистограммы характеризуются постепенным уменьшением показателя токсиканта от первого уровня к последующим. Положительным фактором является учет выбросов в атмосферу, производимых в пределах городских территорий и оказывающих определенное негативное

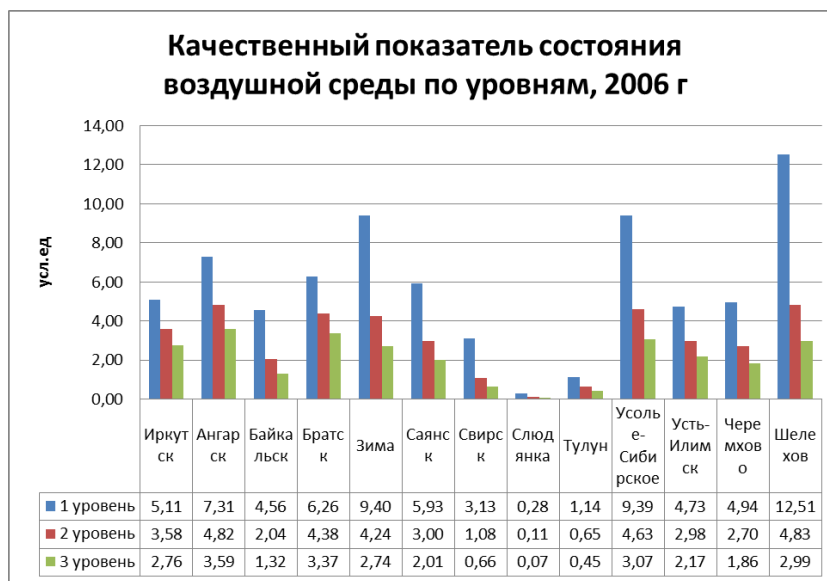
воздействие на окружающее пространство и на здоровье людей, проживающих, в том числе, и за пределами города.

Особое внимание необходимо обратить на показатели суммарных выбросов СО в атмосферу по г. Иркутск, поскольку наблюдается резкое изменение (он вырос в 12,12 раза) значения показателя выброса в 2010 и 2011 годах. В Саянске в 2010 году значение по СО увеличилось в 40,8 раза, в Усть-Илимске, Черемхово и Зиме – более чем в 10 раз. В Байкальске показатель в 2011 году превысил предыдущий в 580 раз.

Чем же вызвано такое резкое изменение показателя суммарного выброса СО в атмосферу в указанных годах? По произведенному запросу в Росприроднадзор по Иркутской области был получен ответ, что данные по передвижным источникам загрязнения, включая автотранспорт, в отчетах до 2010 года не учитывались. Программа позволяет учитывать все возможные качественные и количественные показатели, доступные из государственных отчетов, в том числе количество СО, влияющего, в свою очередь, на качественный показатель состояния воздушной среды. Новизна и значение программы заключается в том, что при использовании большого количества показателей ошибка или изменение методики расчета показателя не может радикально повлиять на общий результат исследования.

### ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ХАРАКТЕРИСТИКИ КАЧЕСТВЕННОГО ПОКАЗАТЕЛЯ СОСТОЯНИЯ ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ ПО 3 УРОВНЯМ ЗА ОПРЕДЕЛЕННЫЙ ГОД

Показатель учитывает состояние воздушной среды, основываясь на ПДК, классе опасности загрязняющего вещества и радиусе удаленности от территории, подверженной антропогенному воздействию.



*Рисунок 3 – Гистограмма, отображающая динамику качественного показателя состояния воздушной среды по уровням степени локального воздействия, 2006 г.*

Программа выполняет визуализацию распространения и интенсивности антропогенного воздействия на воздушную среду территорий по каждому из 13 городов с 2006 по 2011 годы (рис. 3). Представленная гистограмма позволяет определить степень загрязнения атмосферной среды городов Иркутской области с учетом не только абсолютных показателей суммарных выбросов вредных веществ в атмосферу, но и других факторов, влияющих на общее состояние воздушной среды.

Максимальное значение качественного показателя в 2006 году прослеживается в городе Шелехове. Данный показатель резко убывает на втором и на третьем уровнях, данная

ситуация характерна для небольшого по площади города, каковым и является г. Шелехов (площадь – 31 км<sup>2</sup>), с очень значительными показателями выбросов в атмосферу. Следовательно, всю территорию г. Шелехов можно рассматривать как локальный объект, характеризующийся самым высоким уровнем антропогенного воздействия.

### ХАРАКТЕРИСТИКА КАЧЕСТВЕННОГО ПОКАЗАТЕЛЯ СОСТОЯНИЯ ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ ПО ГОРОДАМ ЗА ОПРЕДЕЛЕННЫЙ ГОД

Программа выполняет визуализацию по каждому из приведенных городов с 2006 по 2011 годы (рис. 4). Построение гистограммы позволяет сравнить уровни загрязнения атмосферного воздуха в городах Иркутской области по каждому определенному году.



*Рисунок 4 – Гистограмма характеристики качественного показателя состояния воздушной среды по городам Иркутской области за 2011 г.*

Максимальный показатель 2011 года, составляет 31,45 усл. ед. и характеризует воздушную среду г. Шелехов. Города Зима, Братск, Усолье-Сибирское, Иркутск и Ангарск также характеризуются высоким качественным показателем степени антропогенного воздействия на атмосферный воздух.

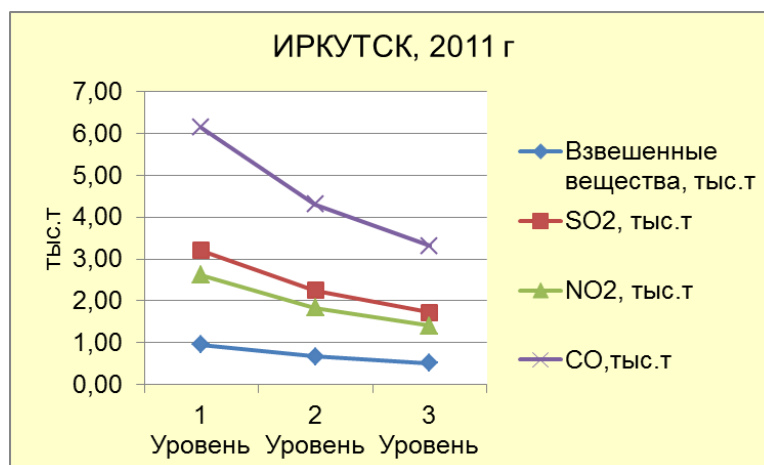
### РЕАЛИЗАЦИЯ ПРОГНОЗА ПО СУММАРНОМУ ПОКАЗАТЕЛЮ ВОЗДЕЙСТВИЯ

Для прогноза предикторами были выбраны абсолютные показатели загрязнителей атмосферы с учетом их ПДК. Линейная прогностическая модель (рис. 5) позволяет показать пользователю тренд преобразования столь значительного массива данных. Такая визуализация осуществляется по каждому из рассматриваемых городов.

Суммарный показатель воздействия на воздушную среду (без учета пространственного распространения) в г. Иркутск возрастает год от года. Замедлив свой рост в период 2008-2009 гг., что можно связать с глобальным экономическим кризисом, показатель вновь возрастает в 2010 году. Линейный прогноз характеризует лишь общую картину. Использование для прогноза иной функции нецелесообразно, поскольку данный показатель зависит от множества факторов, не фигурирующих в исследовании (экономических, социальных, технологических и др.).



**Рисунок 5 – График прогноза по суммарному показателю воздействия на воздушную среду г. Иркутск**



**Рисунок 6 – График суммарных выбросов основных загрязняющих веществ в г. Иркутск в 2011 г.**

На рисунке 6 представлена визуализация данных, позволяющая определить количество основных загрязняющих веществ с учетом затухания при распространении на окружающее пространство по каждому году и городу. Скорость убывания показателя характеризуется обратной зависимостью от площади города, соответственно, чем выше скорость, тем большую антропогенную нагрузку несет территория.

## ВЫВОДЫ

В результате проведенных исследований была создана программа, осуществляющая визуализацию комплексного антропогенного воздействия на воздушную среду территории Иркутской области. Предложен принципиально новый алгоритм расчета качественного показателя состояния воздушной среды, позволяющий агрегировать данные из различных официальных отчетов о состоянии окружающей среды. Автоматически произведенный

расчет качественного показателя с учетом уровней степени локального воздействия позволяет повысить достоверность оценки и визуально представить интенсивность антропогенного воздействия на атмосферный воздух. Верификация результатов работы программы проводилась по сводкам МЧС Россия по Иркутской области.

Планируется дальнейшее сопровождение программы с целью и внесения поступающей информации в базу данных. Применение языка VBA позволяет оперативно реагировать на нужды пользователей и в случае необходимости дополнять программу новыми модулями.

*Реализация программы «Визуализация комплексного антропогенного воздействия на воздушную среду территории Иркутской области» защищена свидетельством о государственной регистрации программ для ЭВМ [6].*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Арнольд В.И. «Жесткие» и «мягкие» модели // Доклад на научно-практическом семинаре «Аналитика в государственных учреждениях». – М., 1997.
2. Мусихина Е.А. Исследование влияния фактора времени на оценку состояния окружающей среды в условиях работы горнодобывающих предприятий. – Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2007. – 90 с.
3. Мусихина Е.А. Методологический аспект технологии комплексной оценки экологической емкости территорий. – М.: Издательство «Академия Естествознания», 2009.
4. Бурман В.М., Кропотов Ю.А. Автоматизированная распределенная системы экологического мониторинга окружающей среды модульного типа // Информационные системы и технологии, 2008. – № 1-2. – С. 53-57.
5. Ежегодники «Состояние загрязнения атмосферы в городах на территории России» за 2006-2011 гг.
6. Дмитриева Л.Ю., Михайлова О.С., Мусихина Е.А. Визуализация комплексного антропогенного воздействия на воздушную среду территории Иркутской области. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2014611218, 28 января 2014 г.

**Михайлова Ольга Сергеевна**

ФГБОУ ВПО «Иркутский государственный технический университет», г. Иркутск  
Аспирант кафедры архитектурного проектирования  
E-mail: mikhaylova.istu@gmail.com

**Дмитриева Лариса Юрьевна**

Российская академия правосудия, г. Иркутск  
Кандидат технических наук, доцент кафедры общеобразовательных дисциплин  
E-mail: dlj-2011@mail.ru

**Мусихина Елена Алексеевна**

ФГБОУ ВПО «Иркутский государственный технический университет», г. Иркутск  
Кандидат технических наук, профессор кафедры архитектурного проектирования  
E-mail: elena.science@yandex.ru

---

O.S. MIXAJLOVA (*Post-graduate Student of the Department of Architectural Design*)  
*Irkutsk State Technical University, Irkutsk*

L.Yu. DMITRIEVA (*Candidate of Engineering Science, Assistant Professor of the Department of General Subjects*)  
*Russian Academy of Justice, Irkutsk*

E.A. MUSIXINA (*Candidate of Engineering Science, Professor of the Department of Architectural Design*)  
*Irkutsk State Technical University, Irkutsk*

**THE PROGRAM «VISUALIZATION ANTHROPOGENIC PRESSURE ON THE AIR ENVIRONMENT IN IRKUTSK REGION»**

*The article describes the program for the visual analysis of air, allowing to limit possibility of administrative or departmental influence on result of calculations. Proposed settlement quality indicator air condition on the basis of spatial techniques allows to increase the accuracy of the estimates and visually represent levels of anthropogenous influence.*

**Keywords:** *information technology; visualization; qualitative indicator of air condition; design procedure.*

**BIBLIOGRAPHY (TRANSLITERATED)**

1. Arnol'd V.I. «Zhestkie» i «myagkie» modeli // Doklad na nauchno-prakticheskom seminare «Analitika v gosudarstvenny'x uchrezhdeniyax». – M., 1997.
2. Musixina E.A. Issledovanie vliyaniya faktora vremeni na ocenku sostoyaniya okruzhayushhej sredy' v usloviyax raboty' gornodoby'vayushhix predpriyatij. – Irkutsk: Izd-vo IrGTU, 2007. – 90 s.
3. Musixina E.A. Metodologicheskij aspekt texnologii kompleksnoj ocenki e'kologicheskoy yomkosti territorij. – M.: Izdatel'stvo «Akademiya Estestvoznaniya», 2009.
4. Burman V.M., Kropotov Yu.A. Avtomatizirovannaya raspredelennaya sistemy' e'kologicheskogo monitoringa okruzhayushhej sredy' modul'nogo tipa // Informacionny'e sistemy' i texnologii, 2008. – № 1-2. – S. 53-57.
5. Ezhegodniki «Sostoyanie zagryazneniya atmosfery' v gorodax na territorii Rossii» za 2006-2011 gg.
6. Dmitrieva L.Yu., Mixajlova O.S., Musixina E.A. Vizualizaciya kompleksnogo antropogenogo vozdejstviya na vozdushnuyu sredu territorii Irkutskoj oblasti. Svidetel'stvo o gosudarstvennoj registracii programmy' dlya E'VM №2014611218, 28 yanvarya 2014 g.

УДК 334.78:621.311

Л.И. ЕФРЕМОВА

## ФОРМИРОВАНИЕ КОРПОРАТИВНОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ КОМПАНИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГЕОИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ

*В статье рассматривается процесс проектирования корпоративной информационной системы для энергетической компании. Отражена взаимосвязь ИТ-стратегии энергетической компании с компонентами корпоративной информационной системы. Проанализирован каждый этап процесса создания корпоративной информационной системы.*

**Ключевые слова:** корпоративная информационная система; энергетическая компания; геоинформационная система; система поддержки принятия решения; ИТ-стратегия; информационные технологии.

Независимо от того, в какой сфере деятельности работает организация, объемы информации, с которыми приходится ей сталкиваться, просто колоссальны. И от того, в какой степени организация способна извлечь максимум из имеющейся в ее распоряжении информации, зависит успех. Большую роль в этом играет эффективно сформированная корпоративная информационная система (КИС). Для энергетических компаний применение КИС позволит сократить время реагирования на изменения, происходящие в экономике, повысить надежность снабжения потребителей энергией и теплом, а также качество обслуживания клиентов.

Одним из неперемennых условий эффективного функционирования КИС выступает наличие рациональных связей между источниками и приемниками информации [1]. Архитектура определяет способ обеспечения согласованного взаимодействия пользователей и компонентов КИС. Важнейшим элементом архитектуры КИС является схема интеграции корпоративных данных и бизнес-приложений. Именно она определяет дальнейший облик КИС: возможности обеспечения операционной эффективности и адаптации к изменениям функциональных требований со стороны бизнеса.

Долгосрочное адекватное функционирование КИС способно обеспечить только систематическое поддержание баланса между всеми составляющими КИС и элементами ее окружения. Такое соответствие является основной задачей стратегического управления КИС в энергетической компании (рис. 1). В этом случае ИТ-стратегия становится планом такого управления.

При управлении балансом равновесие можно смещать в ту или другую сторону и переходить к стратегиям опережающего развития или адаптации КИС к изменениям бизнеса. Возможность отклонения управляемых изменений от зоны устойчивого равновесия будет формировать эволюционный или революционный сценарии корпоративной ИТ-стратегии.

Независимо от того, по какому направлению будет идти формирование ИТ-стратегии, стратегическое управление КИС должно охватывать такие тесно связанные между собой области, как бизнес, архитектура, требования, проекты.

При формировании КИС для энергетической компании требуется ответить на ряд вопросов. Как правильно подойти к созданию КИС? Разрабатывать ли все приложения самим или собрать вместе уже готовые программные решения? Что предлагает российский программный рынок?

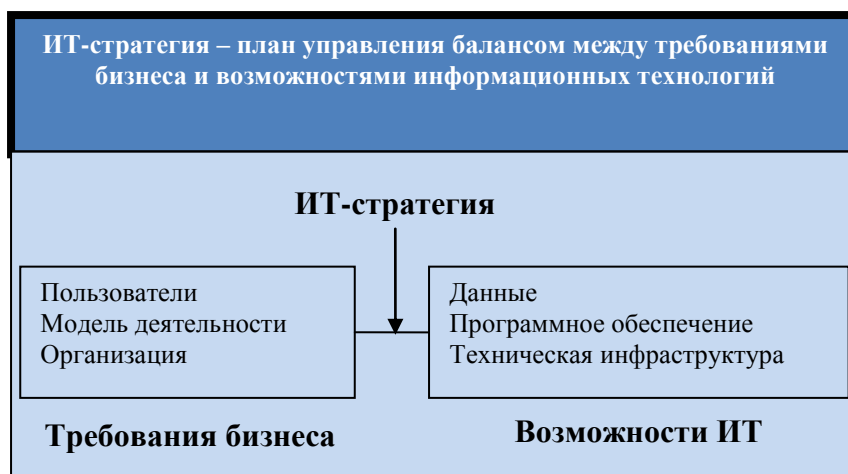


Рисунок 1 – Взаимосвязь ИТ-стратегии с компонентами КИС

Чтобы ответить на поставленные выше вопросы, необходимо выделить основные этапы процесса создания КИС:

- информационное обследование энергетической компании;
- выбор архитектуры системы и программно-аппаратных средств ее реализации;
- выбор системы управления корпоративной базой данных (СУБД);
- выбор системы документооборота;
- выбор системы управления электронными документами;
- выбор специальных программных средств;
- выбор системы поддержки принятия решений.

На этапе информационного обследования энергетической компании формируются функции каждого подразделения; описывается технология работы каждого структурного подразделения до автоматизации и, исходя из этого, предлагается, какие функции необходимо автоматизировать и в какой последовательности; описывается технология работы каждого из подразделений после автоматизации и правила движения информационных потоков; изучается влияние автоматизации на структуру энергетической компании; определяется ее функциональный состав и оптимальное количество рабочих мест в каждом структурном подразделении; формируются маршруты электронного документооборота; рассчитывается ожидаемая экономическая эффективность от внедрения новых информационных технологий.

В результате обследования формируются модели деятельности энергетической компании и ее информационной инфраструктуры, на базе которых разрабатываются проект КИС, требования к программно-аппаратным средствам и прикладному программному обеспечению.

На втором этапе на основе информационного обследования энергетической компании выбирается архитектура КИС. Основой современного подхода технических решений в построении КИС энергетической компании является архитектура «клиент – сервер», которая представлена тремя уровнями: клиентской частью, сервером приложений и сервером базы данных. В клиентской части организуется пользовательский интерфейс, т.е. осуществляется взаимодействие системы с пользователем. Сервер приложений реализует бизнес-процедуры для клиентской части. Сервер базы данных представляет данные для сервера приложений. Гибкость такой архитектуры заключается в независимом использовании и замене вычислительных и программных ресурсов на всех трех уровнях [2]. Для серверной части лучше всего подойдет операционная система UNIX. На рабочих местах целесообразнее использовать алфавитно-цифровые терминалы, X-терминалы, а также PC-терминалы в операционной среде MS Windows.



На третьем этапе, опираясь на результаты предварительного обследования и получение информационных моделей деятельности энергетической компании, выбирается система управления для корпоративной базы данных (СУБД). Лучше всего использовать универсальные СУБД, способные одновременно поддерживать несколько моделей данных.

На четвертом этапе выбирается автоматизированная система документооборота, которая позволяет автоматизировать рутинные операции, автоматически отслеживать прохождение документов по структурным подразделениям энергетической компании, контролировать обработку документов и т.д. Существует два класса таких систем: системы workflow и системы groupware.

Основное назначение систем обоих классов – автоматизация и поддержка коллективной работы в энергетической компании, однако имеются некоторые различия в их идеологической направленности и, следовательно, в наборе реализуемых функций. В таблице 1 сопоставляются основные характеристики систем обоих классов.

Таблица 1 – Сравнительные характеристики систем автоматизации документооборота

Системы класса GROUPWARE	Системы класса WORKFLOW
Множество работающих	Множество работающих
Системы обоих классов призваны автоматизировать коллективную работу	
Одна выполняемая задача, т.е. поддерживается коллективная работа с одной задачей в данный момент времени	Множество выполняемых задач, т.е. поддерживается многопользовательская работа с несколькими задачами одновременно как в синхронном, так и в асинхронном режимах
Отсутствие структуризации в организации работ, т.е. нет никаких правил и предписаний, кто и как должен работать в рамках системы	Строгая структуризация, т.е. выполнение работы четко расписано по ролям, документам, времени обработки документов и т.д.
Реализация на РС и ориентация на небольшие коллективы	Реализация в среде клиент/сервер и ориентация на масштаб энергетической компании

Выбор системы автоматизации документооборота будет зависеть от того, какие задачи будут на нее возлагаться. Для повышения результативности работы каждого сотрудника лучше подойдут системы класса groupware. Если же, наоборот, необходимо повысить эффективность работы всей энергетической компании в целом, то следует выбирать систему класса workflow.

На пятом этапе осуществляется выбор программ для управления электронными документами, чтобы свести до минимума количество бумажных документов и уменьшить сложности, связанные с их хранением, поиском и обработкой. Системы управления электронными документами реализуют ввод, накопление, хранение и поиск всех типов электронных документов, входящих в энергетическую компанию и циркулирующих в ней. Благодаря автоматической индексации всего содержания документа системы управления электронными документами осуществляют нечеткий поиск любого слова в документе.

Комбинация систем автоматизации документооборота и систем управления электронными документами обеспечивает полную автоматизацию работы с документами в энергетической компании.

На шестом этапе осуществляется выбор специализированных прикладных программных средств. Для энергетических компаний, связанных с отслеживанием энергопотребления, в состав информационной системы целесообразно включать геоинформационные системы, т.к. пользователя интересуют комплексные оценки по различным видам источников энергии. В системе должна присутствовать детальность отображения информации, что позволяет оценить возможность использования электроэнергии или геотермальной энергии для каждого объекта. Заложенные в систему

инструменты анализа данных позволяют пользователю получать производные массивы информации, например, оценку количества потребляемой электроэнергии в любой географической точке, сэкономленные средства по текущим тарифам на электроэнергию при установке современных сетевых фотоэлектрических систем и т.д.

Метаданные должны содержать информацию, поддерживающую описание методик получения данных и проведения расчетов, что позволяет определить точность оценки потенциала выбранного энергоресурса или выработки энергии задаваемым типом установки.

Геоинформационная система характеризуется наличием постоянно обновляемой базы данных, а также возможностью пополнения ее собственными данными пользователя; инструментами анализа данных для получения на их основе новой «производной» информации, представлением результатов в виде диаграмм, графиков, карт и других визуальных объектов. В геоинформационной системе должны отображаться различные виды ресурсов, создаваться инструменты для моделирования работы систем энергообеспечения и отображения его результатов, предоставляться информация об инфраструктурных элементах энергообеспечения для удовлетворения информационных потребностей пользователей.

Необходимо иметь в составе КИС и стандартный набор приложений, таких, как текстовые редакторы, электронные таблицы, коммуникационные программы и т.д., которые должны несложно интегрироваться в ней.

На седьмом этапе осуществляется выбор систем поддержки принятия решений, позволяющих моделировать правила и стратегии бизнеса и иметь интеллектуальный доступ к неструктурированной информации. Это системы искусственного интеллекта, работа которых основывается на правилах или прецедентах.

Работа систем искусственного интеллекта, основанных на правилах, заключается в том, что в систему закладывается совокупность правил «если..., то...», согласно которой на основе сформированной базы знаний генерируется то или иное заключение по интересующей проблеме.

Подход, основанный на прецедентах, требует получения подробной информации о выбранной проблеме; сравнения этой информации с деталями прецедентов; выбора прецедента, наиболее близкого к выбранной проблеме, из базы прецедентов; адаптации выбранного решения к этой проблеме; проверки корректности каждого нового полученного решения; занесения детальной информации о новом прецеденте в базу прецедентов.

Но следует сказать, что неважно, на каком подходе основана работа системы искусственного интеллекта, принимать решения будет не она, а человек. Система лишь предлагает свои варианты и указывает на самый верный с ее точки зрения.

В заключении следует сказать, что современная корпоративная информационная система в энергетической компании – это сложная комбинация различных информационных технологий, которая заключается в их сбалансированной интеграции.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ефремова Л.И., Зинина Л.И. Организация информационного обеспечения для системы управления предприятием // Проблемы теории и практики управления, 2012. – № 7-8. – С. 88-94.
2. Ефремова Л.И. Формирование информационно-аналитической системы в области энергосбережения // Информационное общество, 2013. – № 3. – С. 49-57.

### **Ефремова Лидия Ивановна**

Мордовский государственный университет имени Н.П. Огарева, г. Саранск

Кандидат экономических наук, доцент, доцент кафедры статистики, эконометрики и информационных технологий в управлении

Тел.: 8 (8342) 29-06-80, 8 903 051 32 70

E-mail: efremovali@mail.ru

L.I. EFREMOVA (*Candidate of Economic Science, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Statistics, Econometrics and Information Technology Management*)  
*Mordovia State University named of N.P. Ogaryova, Saransk*

**FORMATION OF CORPORATE INFORMATION SYSTEM OF THE POWER COMPANY WITH USE OF GEOINFORMATION SYSTEM**

*In this article process of designing of corporate information system for the power company is considered. The interrelation of IT-Strategy of the power company with components of corporate information system is reflected. Each stage of process of creation of corporate information system is analyzed.*

**Keywords:** *corporate information system; the power company; geoinformation system; decision support system; IT-strategy; information technology.*

**BIBLIOGRAPHY (TRANSLITERATED)**

1. Efremova L.I., Zinina L.I. Organizaciya informacionnogo obespecheniya dlya sistemy' upravleniya predpriyatiem // Problemy' teorii i praktiki upravleniya, 2012. – № 7-8. – S. 88-94.
2. Efremova L.I. Formirovanie informacionno-analiticheskoy sistemy' v oblasti e'nergosberezheniya // Informacionnoe obshchestvo, 2013. – № 3. – S. 49-57.

УДК 004.051 (004.657)

А.А. ПОПКОВА

## ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

*В статье излагаются методические основы проектирования хранилищ данных (ХД), реализующих эффективное функционирование систем поддержки принятия решений (СППР). Основное внимание сосредоточено на оценке степени агрегации данных в ХД и на определении оптимального режима хранения данных в секциях многомерного куба.*

**Ключевые слова:** система поддержки принятия решений; бизнес-аналитика; эффективность OLAP-систем; хранилище данных; AS-куб; проектирование хранилища данных; агрегация данных; режим хранения данных.

### ВВЕДЕНИЕ

Фундаментом любой OLAP-системы является единое корпоративное хранилище данных, разработка которого является долгим и дорогостоящим процессом. При проектировании структуры хранилища или витрин данных (ВД) часто возникает желание использовать как можно больше агрегатов и за счет этого повысить производительность системы, но из-за этого возрастает потребность в дисковом пространстве. Другая крайность состоит в использовании слишком малого числа агрегатов, а это может привести к необходимости выполнять агрегирование динамически, что заметно снижает эффективность запросов. Для разрешения дилеммы между производительностью и объемом, занимаемым агрегатными значениями, предлагается оценить степень агрегации данных на уровне гиперкуба и затем определить режим хранения данных в секциях многомерного куба с использованием авторских методов [1]. При данном подходе к проектированию ХД предварительно сформированные агрегированные значения позволяют минимизировать вычислительные затраты и время на оперативное формирование агрегатов, обеспечивают максимальную скорость выполнения запросов при фиксированном объеме дискового пространства, занимаемого агрегатами, и при ограничении времени выполнения аналитических операций.

На примере решения проблемы интеграции российских ВУЗов и науки в Единое образовательное пространство в рамках реализации задач академической мобильности рассмотрим методы расчета степени агрегации данных ХД и определения режима хранения данных в секциях AS-куба для обеспечения качественного определения объемов сопоставимости совместных образовательных программ и трансфертных единиц (кредитов).

### ПРОЕКТИРОВАНИЕ СППР ОЦЕНКИ СТЕПЕНИ СОПОСТАВИМОСТИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ПРОГРАММ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОБЪЕМОВ ЗАЧЕТНЫХ ТРАНСФЕРТНЫХ ЕДИНИЦ

С развитием системы образования и изменением социально-экономических условий изменяется и совершенствуется как организационно-функциональная система образования, так и перечень измеряемых кредитных показателей ВУЗа.

В результате формализации поставленной задачи и выявленных иерархических зависимостей между критериями целевой функции [2] потребовалось применение OLAP-технологии обработки данных (СУБД – MS SQL Server 2008), которая позволяет учитывать не только степень сопоставимости контента рабочих программ дисциплин, но и вертикальные междисциплинарные связи (рис. 1).

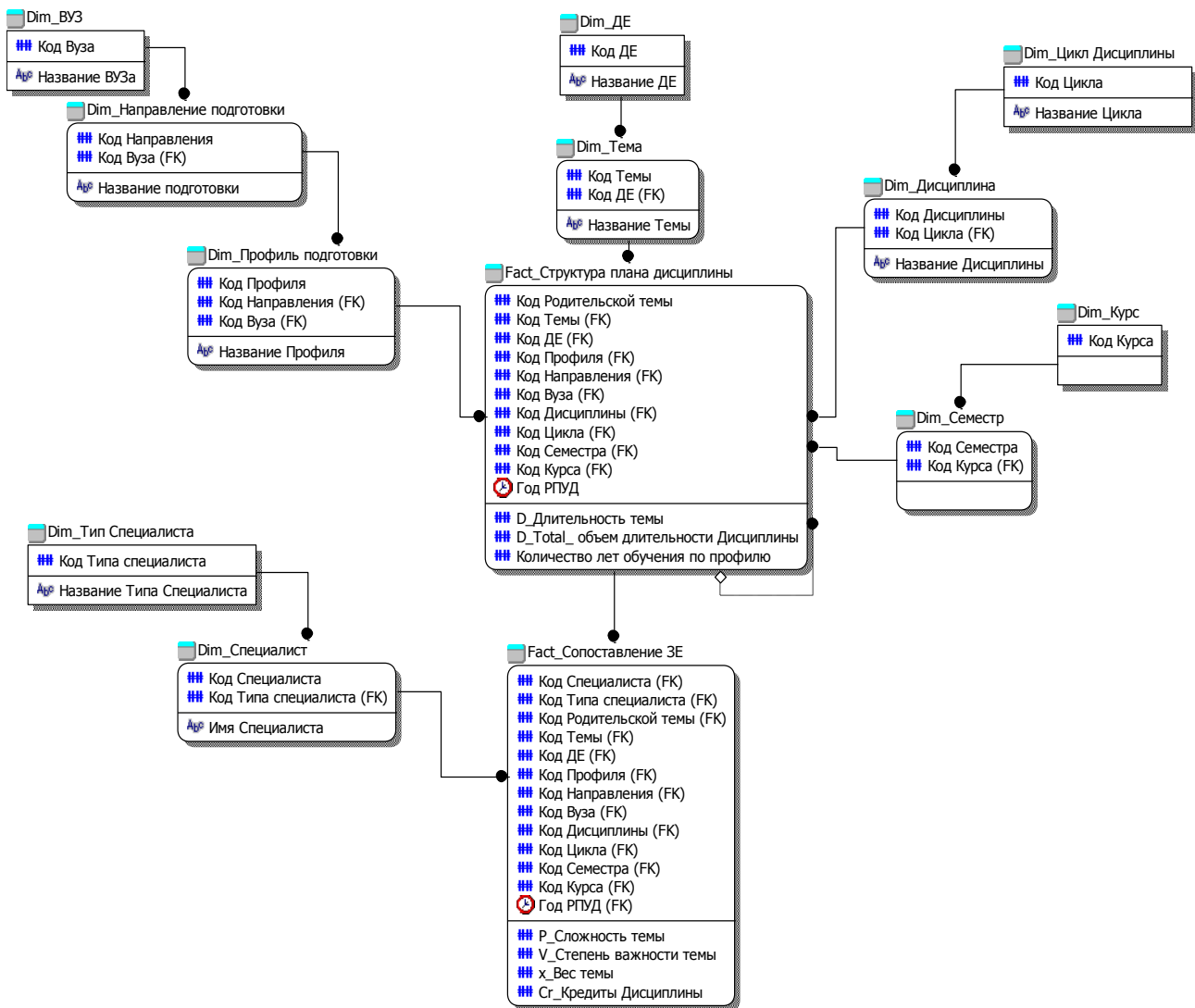


Рисунок 1 – Логический уровень схемы многомерной модели данных типа «снежинка»

### СТЕПЕНЬ АГРЕГАЦИИ ДАННЫХ AS-КУБА «РАБОЧИЙ ПЛАН УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ» («РПУД»)

Заблаговременное формирование и сохранение агрегатов обеспечивает уменьшение времени отклика на пользовательский запрос и является основным свойством систем поддержки оперативного анализа. Выполним расчет степени агрегации данных для случая сравнения образовательных программ двух ВУЗов. Обозначим выражением (1) оптимальную степень агрегации данных многомерного куба «Рабочие программы учебных дисциплин» («РПУД») [1]:

$$\alpha_1 = \frac{a_1}{a_1^*} \tag{1}$$

где  $a_1$  – реальное количество агрегированных значений показателей (мер),  $a_1^*$  – максимально возможное количество агрегатных значений исходных данных AS-куба «РПУД».

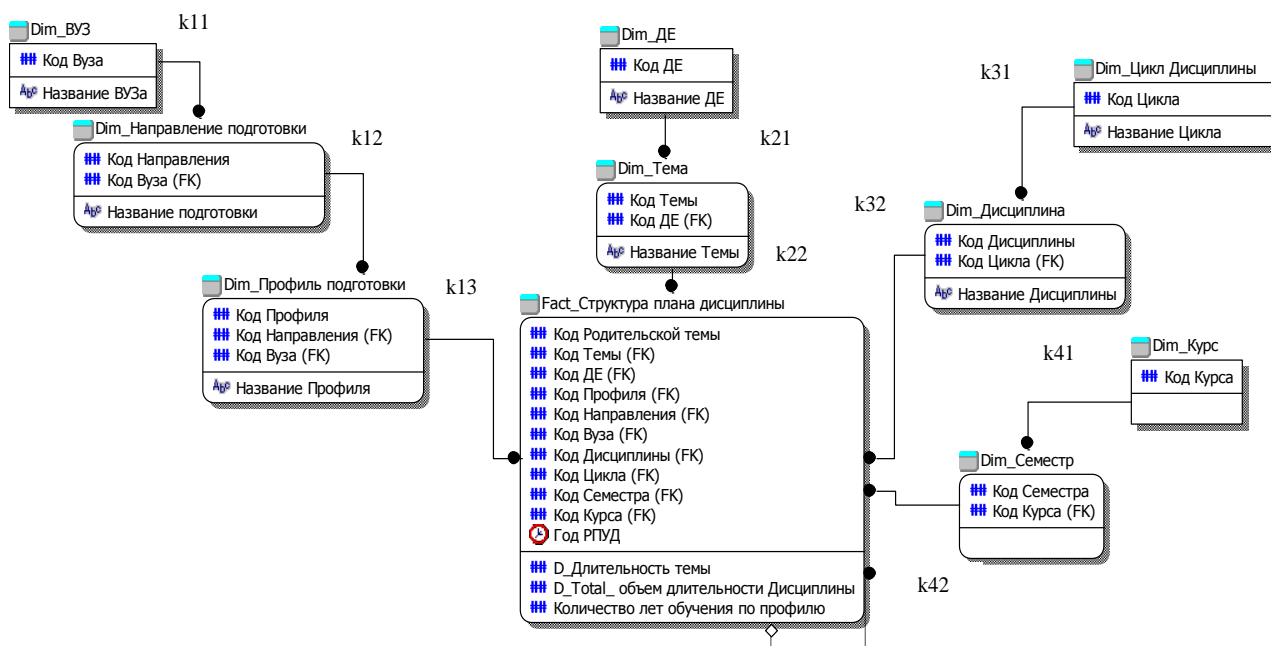


Рисунок 2 – Логическая структура AS-куба «РПУД»

На рисунке 2 показана логическая структура AS-куба «РПУД», в котором выделены ключевые атрибуты по четырем иерархическим измерениям, два описательных атрибута («D\_Total\_объем длительности Дисциплины» и «Количество лет обучения по профилю»), определяемые образовательным стандартом, и одна мера в таблице фактов. Вычисляемая мера «D\_Длительность темы» позволяет фиксировать длительность изложения темы в часах от общего объема часов дисциплины по всем срезам AS-куба и используется для создания других вычисляемых мер, но только на уровне гиперкуба «Совместная образовательная программа» («СОП»).

Обозначим подмножество измерений:

$$K^1 = \{k_1, k_2, \dots, k_{n^1}\} \text{ AS-куба «РПУД»},$$

где  $n^1 = 4$  – количество измерений AS-куба «РПУД».

Для многомерного куба «РПУД» (рис. 2) отметим следующие размерности множеств меток измерений (табл. 1):

$$\begin{aligned} |M_{k_1}| &= k_1 = k_{11} + k_{12} + k_{13} = 46, \\ |M_{k_2}| &= k_2 = k_{21} + k_{22} = 4950, \\ |M_{k_3}| &= k_3 = k_{31} + k_{32} = 114, \\ |M_{k_4}| &= k_4 = k_{41} + k_{42} = 18, \end{aligned}$$

Для AS-куба «РПУД» формула расчета полного числа агрегатов может быть представлена как разность всех агрегатных значений куба и количества значений, соответствующих области первичных данных:

$$a_1^* = \prod_{i=1}^4 (k_i + 1) - \prod_{i=1}^4 k_i = 41202545. \quad (2)$$

Затем рассчитаем реальное количество агрегированных значений показателей (мер) куба «РПУД» (3), (рис. 2):

$$a_1 = k_2 * k_4 = 89100. \quad (3)$$

В этом случае степень агрегация AS-куба «РПУД» будет равна:

$$\alpha_1 = \frac{89100}{41202545} = 0.002. \quad (4)$$

Таблица 1 – Размерности множеств меток измерений гиперкуба «Совместные образовательные программы» («СОП»)

Название измерения	Количество строк в измерении (к)	Название измерения	Количество строк в измерении (к)
k11	2	k51	2
k12	20	k52	480
k13	24	k1	46
k21	1650	k2	4950
k22	3300	k3	114
k31	4	k4	18
k32	110	k5	482
k41	6	k6	467240400
k42	12		

**СТЕПЕНЬ АГРЕГАЦИИ ДАННЫХ AS-КУБА «СОПОСТАВЛЕНИЕ ЗЕ» («СЗЕ»)**

Обозначим выражением (5) оптимальную степень агрегации данных многомерного куба «СЗЕ»:

$$\alpha_2 = \frac{a_2}{a_2^*}, \tag{5}$$

где  $a_2$  – реальное количество агрегированных значений показателей (мер),  $a_2^*$  – максимально возможное количество агрегатных значений исходных данных AS-куба «СЗЕ».



Рисунок 3 – Логическая структура AS-куба «Сопоставление ЗЕ»

На рисунке 3 показана логическая структура AS-куба «СЗЕ», в котором выделены ключевые атрибуты по двум иерархическим измерениям, два описательных атрибута («Р\_Сложность темы» и «V\_Степень важности темы»), определяемые такими категориями квалифицированных специалистов, как преподаватель и работодатель соответственно, и две меры в таблице фактов: «x\_Вес темы», и «Cr\_Кредиты Дисциплины».

Обозначим подмножество измерений AS-куба «СЗЕ» как

$$K^2 = \{k_5, \dots, k_{n^2}\},$$

где  $n^2 = 2, n^2 \in \{5,6\}$  – количество измерений AS-куба «СЗЕ».

Для многомерного куба «СЗЕ» (рис. 3) отметим следующие размерности множеств меток измерений (табл. 1):

$$\begin{aligned} |M_{k_5}| &= k_5 = k_{51} + k_{52} = 482, \\ |M_{k_6}| &= k_6 = 467\,240\,400. \end{aligned}$$

Для AS-куба «СЗЕ» формула расчета полного числа агрегатов может быть представлена как разность всех агрегатных значений куба и количества значений, соответствующих области первичных данных:

$$a_2^* = \prod_{i=5}^6 (k_i + 1) - \prod_{i=5}^6 k_i = 467240883. \quad (6)$$

Также рассчитаем реальное количество агрегированных значений показателей (мер) куба «СЗЕ» (7), (рис. 3).

$$a_2 = k_5 + k_6 = 467240882. \quad (7)$$

В этом случае степень агрегация AS-куба «СЗЕ» будет равна

$$\alpha_2 = \frac{467240882}{467240883} = 1. \quad (8)$$

### СТЕПЕНЬ АГРЕГАЦИИ ДАННЫХ ГИПЕРКУБА «СОВМЕСТНАЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ ПРОГРАММА» («СОП»)

Обозначенные многомерные кубы (рис. 2, 3) объединяются в гиперкуб «СОП» (рис. 1), который в итоге будет включать пять измерений, то есть  $n=5$ , а таблицы фактов будут выступать как группы мер над исходными данными, которые определены как  $a_1 = 0,002$ ,  $a_2 = 1$ . Рассчитаем максимально возможное количество агрегатных значений исходных данных гиперкуба по формуле (9):

$$a^* = \prod_{i=1}^5 (k_i + 1) - \prod_{i=1}^5 k_i = 9,51679E + 18. \quad (9)$$

В этом случае можем вычислить реальное количество агрегированных значений показателей (мер) по формуле (10):

$$a = \sum_{t=1}^2 a_t = 467329982. \quad (10)$$

Степень агрегации гиперкуба будет равна (11):

$$\alpha = \frac{467329982}{9,51769E + 18} = 4,91059E - 11. \quad (11)$$

### РЕЖИМ ХРАНЕНИЯ ДАННЫХ В СЕКЦИЯХ ГИПЕРКУБА

Для поддержки механизма адресации к элементам многомерного массива типа MOLAP в нем должны храниться все ячейки куба, в том числе и пустые. Это приводит к тому, что полностью заполненные данными и сколь угодно разреженные кубы занимают одинаковое дисковое пространство. ROLAP-хранилища не содержат «пустых» значений, так как записи в таблице фактов существуют только для заполненных ячеек куба. Но следует учитывать, что на каждое значение меры приходится несколько значений координат измерений, образующих внешний ключ в таблице фактов. Иначе говоря, каждая ячейка куба при использовании ROLAP-хранилища требует больше пространства памяти по сравнению с MOLAP [1]. Исходя из сказанного, можно предположить, что при высоких значениях степени агрегации данных куба многомерные хранилища требуют меньше внешней памяти, чем реляционные, а при низких – наоборот. Следовательно, существует некоторое пороговое значение степени агрегации  $\alpha_{kr}$ , при превышении которого объем данных, занимаемый гиперкубом в случае его MOLAP-реализации, становится меньше по сравнению с ROLAP-реализацией. Выражение для расчета  $\alpha_{kr}$  приведено в [1]. Найдем зависимость объема данных хранилища от плотности его заполнения. Для этого введем в рассмотрение следующие обозначения. Пусть  $s$  – размер одной ячейки куба в байтах,  $s_k$  – размер ключевого атрибута в таблице фактов в байтах. Тогда объем данных  $S_m$  для MOLAP-хранилища может быть вычислен по формуле:

$$S_m = V * s. \quad (12)$$



Аналогичная формула для объема ROLAP-хранилища  $S_r$  с учетом хранения ключевых атрибутов в таблице факта имеет вид:

$$S_r = v * (s + s_k * n) = \alpha * V * (s + s_k * n). \quad (13)$$

Для нахождения пороговой степени агрегации приравняем правые части выражений (12) и (13). В результате получим:

$$\alpha_{kr} = \frac{s}{s + s_k * n}. \quad (14)$$

Экспериментальным путем показано, что при  $\alpha > \alpha_{kr}$  MOLAP-реализация данного куба будет более эффективной с точки зрения занимаемого пространства внешней памяти, чем ROLAP.

В таблице 2 показаны рассчитанные реальные значения степени агрегации и пороговой степени агрегации данных в кубах ( $\Phi_1, \Phi_2$ ) и в гиперкубе ( $\Phi$ ) рассматриваемого примера, что позволяет обосновать выбор типа OLAP-режима с учетом того, что детальные данные хранятся в OLTP-базах данных.

Таблица 2 – Значения степени агрегации данных гиперкуба

Название куба	Количество измерений куба ( $n$ )	Размер одной ячейки куба ( $s$ ), байт	Размер ключевого атрибута в таблице факта ( $S_k$ ), байт	Степень агрегации куба ( $\alpha$ )	Общее количество ячеек куба ( $V$ )	Объем данных для режима MOLAP ( $S_m$ )	Объем данных для режима ROLAP ( $S_r$ )	Пороговая степень агрегации куба ( $\alpha_{kr}$ )	Рекомендуемый тип OLAP
Куб ( $\Phi_1$ )	4	4	4	0,002162	4,67E+08	1,87E+09	20208033,09	0,20	HOLAP
Куб ( $\Phi_2$ )	2	4	4	1	2,2521E+11	9,01E+11	2,70252E+12	0,33	MOLAP
Гиперкуб ( $\Phi$ )	5	4	4	4,91E-11	1,05227E+20	4,21E+20	1,24014E+11	0,27	HOLAP

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предлагаемая структура многомерной базы данных (рис. 1) повышает качество экспертной оценки, а рассчитанная степень агрегации данных AS-кубов и гиперкуба (табл. 2), во-первых, минимизирует вычислительные затраты и время, необходимое для оценки степени сопоставимости совместных образовательных программ и определения объемов зачетных единиц, во-вторых, задает оптимальный режим хранения данных в секциях гиперкуба, повышая эффективность системы поддержки принятия решений.

При этом параллельно необходимо отслеживать увеличение степени агрегации данных многомерного куба, анализирующего совокупные данные информационной системы. В том случае, если она будет превышать  $\alpha_{kr}$ , необходимо решать задачу выделения дополнительного дискового пространства и переопределения различных режимов хранения данных в секциях многомерного куба в зависимости от частоты их использования.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Попкова А.А., Фомичева С.Г. Методы априорной оценки степени агрегации и производительности запросов в хранилищах данных // Научно-технические ведомости СПбГПУ. – СПб.: Изд-во Политехнического университета, 2010. – № 3(101). – С. 182-192.
2. Куровский В.Л. Мягкий многомерный анализ информационных ресурсов ВУЗа. Моделирование развития информационно-телекоммуникационных систем /

В.Л. Куровский, С.Г. Фомичёва, А.А. Попкова; под ред. к.т.н., д.э.н., проф. А.В. Бабкина. – СПб.: Изд-во «Синтез Бук», 2009. – С. 327-358.

**Попкова Алла Алексеевна**

Норильский индустриальный институт (НИИ), г. Норильск

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Информационные системы и технологии»

Тел.: 8 (3919) 42-17-41, 8 905 999 04 48

E-mail: infalla@yandex.ru

---

A.A. POPKOVA (*Candidate of Engineering Science, Associate Professor of the Department «Information Systems and Technologies»*)  
Norilsk Industrial Institute, Norilsk

**INCREASING OF THE DECISION SUPPORT SYSTEMS EFFICIENCY**

*In the article the methodical bases of design of the Data Warehouse (DW) are described, realizing effective functioning of the Decision Support Systems. The main attention is concentrated on an assessment of aggregation data degree in DW and on definition of data storage optimum mode in multidimensional cube sections.*

**Keywords:** *decision support systems (DSS); business intelligence; efficiency of the OLAP-systems; data warehouse; AS-cube; data warehouse design; aggregation of data; data storage mode.*

**BIBLIOGRAPHY (TRANSLITERATED)**

1. Popkova A.A., Fomicheva S.G. Metody' apriornoj ocenki stepeni agregacii i proizvoditel'nosti zaprosov v xranilishhax dannyx // Nauchno-texnicheskie vedomosti SPbGPU. – SPb.: Izd-vo Politehnicheskogo universiteta, 2010. – № 3(101). – S. 182-192.
2. Kurovskij V.L. Myagkij mnogomernyj analiz informacionny'x resursov VUZa. Modelirovanie razvitiya informacionno-telekommunikacionny'x sistem / V.L. Kurovskij, S.G. Fomichyova, A.A. Popkova; pod red. k.t.n., d.e'n., prof. A.V. Babkina. – SPb.: Izd-vo «Sintez Buk», 2009. – S. 327-358.

УДК 004.75:025.4.036

В.Т. ЕРЁМЕНКО, Д.С. МИШИН, Т.М. ПАРАМОХИНА,  
А.В. ЕРЁМЕНКО, С.В. ЕРЁМЕНКО

**НАПРАВЛЕНИЯ И ПРОБЛЕМЫ  
ИНТЕГРАЦИИ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ  
ДЛЯ ПРЕДПРИЯТИЙ С НЕПРЕРЫВНЫМ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ЦИКЛОМ**

*В последние годы происходит постоянный рост использования в повседневной деятельности предприятий средств вычислительной техники и вычислительных сетей. Это приводит к распределенной обработке данных в обеспечении функционирования комплексов средств автоматизации.*

*Ключевые слова:* автоматизированная система; распределенная обработка данных; направления интеграции.

**ВВЕДЕНИЕ**

Определение автоматизированных систем (АС) дается в ГОСТ 34.003-90 и звучит следующим образом: автоматизированная система (АС) – система, состоящая из персонала и комплекса средств автоматизации его деятельности, реализующая информационную технологию выполнения установленных функций [1].

Несмотря на широкое внедрение средств автоматизации, следует отметить и некоторые негативные особенности этого процесса. В первую очередь на рынке имеется значительное число предложений АС, разработанных различными производителями и использующих разнородные средства реализации. Во вторую очередь происходит фрагментарное внедрение АС, решающих конкретные задачи систем управления предприятием и технологическими процессами. Наблюдается стремление производителя к быстрой окупаемости внедряемых проектов.

Результатом объединения различных автоматизированных систем в интегрированную АСУ должно стать создание единого информационного пространства предприятия. В качестве побудительных мотивов этой интеграции указывают [2, 3]:

- устранение информационных барьеров внутри предприятий посредством создания единого информационного пространства, работающего в режиме online;
- повышение эффективности АСУ посредством оперативности управления, согласованности принимаемых решений и, как следствие, обеспечение гибкости производственной системы.

Следует отметить, что при обращении к ГОСТ 34.003-90, в котором дается понятийный аппарат, видно более широкое определение понятия «интегрированная автоматизированная система».

**НАПРАВЛЕНИЯ ИНТЕГРАЦИИ**

Интегрированная автоматизированная система (ИАС) – совокупность двух или более взаимосвязанных АС, в которой функционирование одной из них зависит от результатов функционирования другой (других). При этом такую совокупность можно рассматривать как единую АС [1]. Интеграция может быть как горизонтальной (АС одного уровня), так и вертикальной.

Интеграция может рассматриваться в нескольких направлениях, указанных в таблице 1 [4].

Таблица 1 – Направления интеграции автоматизированных систем.

Вид интеграции	Характеристика интеграции
Организационная	Рациональное сочетание управленческой деятельности персонала по всем уровням интегрированной АСУ.
Функциональная	Обеспечивает единство локальных целей функционирования, согласованность функций и критериев эффективности всех компонентов. Требуется разработки общей функциональной структуры всей системы, декомпозиции системы на компоненты. Устанавливает для каждого компонента: критерий эффективности, модели функционирования, процедуры обработки данных, функциональные и информационные связи между компонентами.
Информационная	Требуется единого подхода к сбору, представлению, хранению и использованию информации об объекте управления на всех уровнях иерархической системы управления. Обеспечивает взаимосвязанную циркуляцию информации между компонентами системы.
Программная	Обеспечивает совместное функционирование программных средств, используемых для решения задач.
Техническая	Обеспечивает объединение средств вычислительной техники, средств низовой автоматизации и локальных сетей ЭВМ, позволяющее проводить автоматическую реализацию всех направлений интеграции при распределенной обработке информации.

В результате целесообразно говорить о том, что основным требованием к интегрированной автоматизированной системе управления является именно интеграция АСУП и АСУТП. При этом необходимо выделить некоторые подходы к интеграции, играющие ключевую роль для выбора эффективного объединения.

Во-первых, необходимо учитывать, что в процессе функционирования происходят постоянные изменения, преобразования и совершенствования организационного, технологического и технического характера, затрагивающие как саму систему, так и объект управления. Отсюда вытекает целесообразность требования к динамичности состава и среды функционирования автоматизированных систем предприятия.

Во-вторых, следует указать на управление ТП, которые функционируют в масштабе реального времени, а к управлению самого предприятия такие требования не предъявляются. В результате значительное различие частоты наступления отслеживаемых событий для интеграции АСУП и АСУТП требуют создания накопителей и преобразователей циркулирующей информации.

В-третьих, необходимо учитывать быстрое моральное устаревание программно-аппаратных средств и, как следствие, совместную работу различных поколений средств вычислительной техники. Подобная особенность связана с тем, что промышленное предприятие не может позволить себе частую замену средств вычислительной техники на вновь появляющиеся новинки.

### ПРИНЦИПЫ ИНТЕГРАЦИИ

Практика показывает все возрастающую роль интеграции автоматизированных систем, но при этом целесообразно соблюдение некоторых основных принципов, играющих существенную роль в повышении эффективности процессов управления. К подобным принципам целесообразно отнести принципы системности, иерархичности и единства технологической информации [5, 6].

Принцип системности подразумевает тот факт, что объекты управления промышленного автоматизированного комплекса образуют открытую динамическую

систему, активно взаимодействующую с эволюционирующей производственной средой. При этом необходимо учитывать, что в целом АСУ должно обеспечивать целостность, структурированность и целенаправленность. Реализация принципа системности требует решения таких задач, как:

- определение глобальной цели АСУТП;
- идентификация и нейтрализация (по возможности) внутренних и внешних угроз и рисков;
- декомпозиция структурных и функциональных подсистем;
- управление на основе иерархии математических моделей объектов управления.

Решение поставленных задач создает необходимость построения интегрированных АСУ на базе взаимосвязанных моделей отдельных подсистем.

Принцип иерархичности указывает на основное требование к построению системы автоматизации процессов управления, необходимость разделения которых выделяет уровни иерархии АСУ.

Принцип единства технологической информации подразумевает создание единой базы результатов мониторинга состояния технологических установок. Эти данные используются как для решения технико-экономических задач управления производственным циклом, так и для решения задач технологического управления.

Начинать процесс интегрирования АСУ целесообразно после тщательного структурного анализа на основе комплексного моделирования уровней управления предприятием. Необходимость анализа кроется в достаточно сложной организационно-функциональной структуре современного предприятия, следовательно, отражается на характере взаимодействия элементов многоуровневой структуры управления производственным циклом [7].

Существует достаточно много вариантов построения многоуровневой структуры управления предприятием, которые определяются выбором конкретной схемы. При этом, учитывая специфику предприятия, модель уровней управления должна определять:

- распределение по уровням управления подразделений предприятия;
- место соприкосновения между АСУП и АСУТП;
- распределение зон ответственности;
- множество автоматизированных систем, участвующих в горизонтальной и вертикальной интеграции;
- степень принадлежности видов автоматизированных систем по «пирамидальной» модели.

В то же самое время возникает объективная сложность построения детальной модели уровней управления, так как структура информационных потоков и уровней управления предприятий зачастую не совпадают. Следствием этого является практическая невозможность построения формальной модели управления производством, так как она должна повторять динамику объекта моделирования. В результате отсутствия готовых решений создания ИАСУ конкретных предприятий системные интеграторы предлагают набор собственных решений, подготовленный на основе накопленного опыта и с использованием существующих инструментариев.

Следовательно, можно говорить о том, что обеспечение интеграции подсистем уровня АСУП и АСУТП технически может быть реализовано посредством сопряжения вновь создаваемых и уже используемых автоматизированных систем. В результате достаточно точно определяются подходы [8, 9]:

- во-первых, необходима стандартизация используемых интерфейсов, протоколов обмена данными и т.д.;
- во-вторых, требуется создание и использование хранилища информации, являющегося буфером между АСУП и АСУТП;

– в-третьих, необходимо обеспечить внедрение всего комплекса продуктов одной фирмы-производителя, которые направлены на максимальное удовлетворение потребностей современного предприятия. В качестве примера можно привести R/3 (SAP AG), PI System (OSI Software), Total Plant Solution (Honeywell), Enterprise Technology Solution (Yoko-gawa), Plant Information Management System (JGC Corporation).

### ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОБЛЕМ ИНТЕГРАЦИИ АСУ

В целом, для создания практически любой ИАСУ необходимо решение целого ряда проблем, характеристика которых приведена в таблице 2 [4].

Таблица 2 – Основные проблемы, подлежащие решению при создании ИАСУ

Проблема	Характеристика проблемы
Комплексное совершенствование системы управления	Обеспечение условий для взаимосвязанного и согласованного управления организационно-экономическими технологическими процессами. Оптимизация принятия решений по системе в целом.
Декомпозиция объекта	Разделение объекта автоматизации на части, позволяющие осуществить эффективную автоматизацию каждой из них и автоматизируемой системы в целом.
Декомпозиция целей	Построение дерева целей и установление для группы взаимосвязанных целей критериев интеграции, определяющих степень согласованности функционирования отдельных частей ИСАУ.
Межуровневая и внутриуровневая интеграция	Установление рациональных способов организации взаимосвязи и взаимодействия частей одного иерархического уровня и различных уровней.
Совместимость	Обеспечение совместимости средств технического, программного, информационного обеспечения ИСАУ.
Повышение эффективности системы	Увеличение эффективности ИСАУ по сравнению с суммарной эффективностью автономно функционирующих АС.
Полная реализация задач автоматизированного управления	Расширение границ постановки задач управления по сравнению с задачами обработки данных. Задачи в ИСАУ должны охватывать все фазы управления: измерение, учет, контроль, анализ, выработка управляющего воздействия.
Адаптивность	Возможность перехода к эффективному функционированию в условиях меняющихся целей и ресурсов.
Выбор средств реализации	Анализ и выбор средств реализации, обеспечивающих создание в приемлемые сроки компонентов ИСАУ и их совместимость.
Согласование компонентов ИСАУ	Выбор согласованных параметров точности, достоверности информации производительности и надежности взаимодействующих компонентов ИСАУ, обеспечивающих достижение цели.
Координация и управление частями ИСАУ	Организация управления обменом и распределением ресурсов. Согласование целей и критериев функционирования локальных компонентов.
Методическое обеспечение ИСАУ	Формирование общих требований к ИСАУ, к разработке норм и правил классификации, технологии разработки, внедрения и эксплуатации систем, к составу и содержанию документации.

### ТРЕБОВАНИЯ К ИНТЕГРИРОВАННЫМ АСУ

Создаваемая интегрированная АСУ, высшей степенью которой является автоматизированное предприятие, должна охватывать весь производственный цикл и отвечать следующим основным требованиям [4]:

- полный охват системами АСУ ТП (класса DCS и SCADA) всего технологического оборудования основного и вспомогательного производства, всех его наблюдаемых (контролируемых) и управляемых параметров;
- всеобъемлющий контроль качества сырья, полуфабрикатов и конечной продукции;
- полное обеспечение автоматизированного информационного взаимодействия функций внутриуровневых и межуровневых контуров управления.

Следует отметить, что в настоящее время наиболее близко к идеалу создания АП приблизились зарубежные фирмы (OSI, Yokogawa и др.), которые, по оценкам ряда специалистов, обогнали результаты отечественной практики создания и применения ИАСУ более, чем на 10 лет.

Анализ рекомендаций и продуктов, предлагаемых ведущими фирмами, системными интеграторами для промышленных предприятий, показывает, что преобразование ИАСУ в автоматизированное предприятие сопровождается, как правило, следующими тенденциями [4]:

- смена поколения Distributed Control System (DCS);
- рост значимости диспетчерской службы предприятия;
- преобразование функций операторов;
- централизация размещения органов управления производством;
- переосмысление роли данных, информации и знаний в управлении предприятием;
- широкое применение развитого (advanced) управления, оперативной оптимизации и моделирования в управлении технологическими процессами и оборудованием.

По данным Japan Energy Corporation и Mizushima Oil Refinery, совершенствование DCS предполагает увеличение производительности и надежности этих АС, расширение возможностей мониторинга и управления, уменьшение габаритов, упрощение эксплуатации и обслуживания с целью расширения области и целей применения, сокращения количества операторов и эксплуатационных расходов. В результате производители объявили о формировании нового поколения DCS, характерными чертами которого являются [4]:

- ориентация на поддержку современных технологий выполнения процессов переработки сырья технологическим оборудованием;
- высокие функциональные возможности по управлению процессами;
- высокая надежность;
- архитектура на основе комбинирования высокофункциональных PLC и ПЭВМ и дублирования полевых шин серийного производства с унифицированными и стандартизованными протоколами.

Следовательно, можно говорить о централизованном размещении органов управления производством на базе единого производственного центра предприятия. Таким образом, благодаря использованию средств телекоммуникации стало возможным создание не только системы дистанционного контроля состояния объекта, но и обеспечение оперативной оптимизации производства.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Следует отметить, что автоматизированные системы, используемые в настоящее время на производстве, подразделяются на информационные системы (ИС) и распределенные системы управления (РСУ), которые позволяют выдавать управляющие воздействия на исполнительные механизмы. В связи с тем, что используемые системы недостаточно эффективны в управлении производством, на современном этапе происходит их интенсивная модернизация к АСУП, позволяющая решать широкий спектр задач мониторинга и управления в целом. Немаловажную роль этот процесс играет для таких предприятий с непрерывным циклом производства, как газотранспортные или нефтедобывающие.

В процессе модернизации осуществляется целый комплекс работ по информационной, технической и программной интеграции используемых автоматизированных систем. Практическая реализация данной интеграции позволяет не только обеспечить АСУТП результатами мониторинга, но и осуществить тесное программно-информационное взаимодействие АСУП и АСУТП. Суть решения данного вопроса заключается в односторонней передаче требуемых сведений в АСУП без предоставления возможностей непосредственного обращения ее пользователей к ресурсам АС, входящим в состав АСУТП.

#### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. ГОСТ 34.003-90. Информационная технология. Автоматизированные системы. Термины и определения // Информационная технология. Комплекс стандартов и руководящих документов на автоматизированные системы. – М.: Комитет стандартизации и метрологии СССР, 1991. – 144 с.
2. Информационные системы: уч. пособие для студентов ВУЗов по специальности 071900 «Информационные системы в экономике» / под ред. В.Н. Волковой, Б.И. Кузина. – СПб.: СПбГТУ, 1998. – 213 с.
3. Славин Р. Единственный путь повышения эффективности производства – интеграция «снизу вверх» // Мир компьютерной автоматизации, 2000. – № 1. – С. 17-22.
4. Мусаев А.А., Шерстюк Ю.М. Интеграция автоматизированных систем управления крупных промышленных предприятий: принципы, проблемы, решения [Электронный ресурс]. – URL: <http://otherreferats.allbest.ru/manufacture/d00090756.html> (дата обращения: 07.02.2014).
5. Ерёменко В.Т., Афонин С.И. Создание теоретических основ автоматизации и построения технологической составляющей АСУ территориально распределенных предприятий // Информационные системы и технологии, 2012. – № 2. – С. 99-105.
6. Ерёменко В.Т., Тютякин А.В. Методологические аспекты выбора профилей сбора и обработки данных в системах неразрушающего контроля и диагностики технических объектов // Контроль. Диагностика, 2013. – № 1. – С. 24-31.
7. Ерёменко В.Т. Методологические аспекты синтеза оптимальной древовидной структуры в системах сбора и обработки информации / В.Т. Еременко, И.С. Полянский, И.И. Беседин // Вестник компьютерных и информационных технологий, 2013. – № 11. – С. 15-21.
8. Концептуальные основы информационной интеграции АСУ ТП нефтеперерабатывающего предприятия / А.Ф. Гершберг, А.А. Мусаев, А.А. Нозик, Шерстюк Ю.М. – СПб: Альянс-строй, 2003. – 128 с.
9. Любашин А.Н. Системная интеграция и системный консалтинг // Мир компьютерной автоматизации, 2000. – № 1. – С. 55-59.
10. Куцевич И.В. Инструментарий для интеграции разнородных подсистем // Мир компьютерной автоматизации, 2000. – № 1. – С. 33-37.
11. Ленин В., Синенко О. Интеграция на пути повышения эффективности предприятия // Мир компьютерной автоматизации, 2000. – № 1. – С. 12-16.

**Ерёменко Владимир Тарасович**

ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК», г. Орел

Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Электроника, вычислительная техника и информационная безопасность»

Тел.: 8 920 812 65 64

E-mail: [wladimir@orel.ru](mailto:wladimir@orel.ru)

**Мишин Дмитрий Станиславович**

ФГКОУ ВПО «Орловский юридический институт МВД России им. В.В. Лукьянова», г. Орел

Кандидат юридических наук, старший преподаватель кафедры «Информационные технологии в деятельности органов внутренних дел»

Тел.: 8 903 880 23 45

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



**Парамохина Татьяна Михайловна**

Академия ФСО РФ, г. Орел  
Кандидат технических наук, доцент  
Тел.: 8 910 208 37 71

**Ерёменко Алексей Владимирович**

ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК», г. Орел  
Аспирант кафедры «Электроника, вычислительная техника и информационная безопасность»  
Тел.: 8 920 812 89 90  
E-mail: alex\_er@bk.ru

**Ерёменко Сергей Владимирович**

ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК», г. Орел  
Аспирант кафедры «Электроника, вычислительная техника и информационная безопасность»  
Тел.: 8 920 812 89 90  
E-mail: sv-5771@mail.ru

---

V.T. ERYOMENKO (*Doctor of Engineering Sciences, Professor, Head of the Department «Electronics, Computer Facilities and Information Security»*)  
*State University – ESPC, Orel*

D.S. MISHIN (*Candidate of Juridical Sciences, Senior Teacher of the Department «Information Technologies in Working of Internal Affairs»*)  
*Law Institute of the Russian Interior Ministry named V.V. Luk'yanov, Orel*

T.M. PARAMOXINA (*Candidate of Engineering Sciences, Assistant Professor*)  
*Academy of Federal Agency of Protection of the Russian Federation, Orel*

A.V. ERYOMENKO (*Post-graduate student of the Department « Electronics, Computer Sciences and Information Security»*)

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

**TRENDS AND PROBLEMS OF AUTOMATED CONTROL SYSTEMS INTEGRATION FOR COMPANIES WITH A CONTINUOUS PRODUCTION CYCLE**

*In recent years, there is a constant increase in use in the daily activities of enterprises of computer hardware and computer networks. This leads to a distributed data processing in the operation of automation means.*

**Keywords:** *automated system; distributed data processing; direction of integration.*

**BIBLIOGRAPHY (TRANSLITERATED)**

1. GOST 34.003-90. Informacionnaya texnologiya. Avtomatizirovanny'e sistemy'. Terminy' i opredeleniya // Informacionnaya texnologiya. Kompleks standartov i rukovodyashhix dokumentov na avtomatizirovanny'e sistemy'. – M.: Komitet standartizacii i metrologii SSSR, 1991. – 144 s.
2. Informacionny'e sistemy': uch. posobie dlya studentov VUZov po special'nosti 071900 «Informacionny'e sistemy' v e'konomike» / pod red. V.N. Volkovoj, B.I. Kuzina. – SPb.: CPbGTU, 1998. – 213 s.
3. Slavin R. Edinstvenny'j put' povы'sheniya e'ffektivnosti proizvodstva – integraciya «snizu vverx» // Mir komp'yuternoj avtomatizacii, 2000. – № 1. – S. 17-22.
4. Musaev A.A., Sherstyuk Yu.M. Integraciya avtomatizirovanny'x sistem upravleniya krupny'x promы'shlenny'x predpriyatij: principy', problemy', resheniya [E'lektronny'j resurs]. – URL: <http://otherreferats.allbest.ru/manufacture/d00090756.html> (data obrashheniya: 07.02.2014).
5. Eryomenko V.T., Afonin S.I. Sozdanie teoreticheskix osnov avtomatizacii i postroeniya texnologicheskoy sostavlyayushhej ASU territorial'no raspredelyonny'x predpriyatij // Informacionny'e sistemy' i texnologii, 2012. – № 2. – S. 99-105.

6. Eryomenko V.T., Tyutyakin A.V. Metodologicheskie aspekty' vy'bora profilej sbora i obrabotki dannyx v sistemax nerazrushayushhego kontrolya i diagnostiki texnicheskix ob'ektov // Kontrol'. Diagnostika, 2013. – № 1. – S. 24-31.
7. Eryomenko V.T. Metodologicheskie aspekty' sinteza optimal'noj drevovidnoj struktury' v sistemax sbora i obrabotki informacii / V.T. Eryomenko, I.S. Polyanskij, I.I. Besedin // Vestnik komp'yuternyx i informacionny'x texnologij, 2013. – № 11. – S. 15-21.
8. Konceptual'ny'e osnovy' informacionnoj integracii ASU TP neftepererabaty'vayushhego predpriyatiya / A.F. Gershberg, A.A. Musaev, A.A. Nozik, Sherstyuk Yu.M. – SPb: Al'yans-stroj, 2003. – 128 s.
9. Lyubashin A.N. Sistemnaya integraciya i sistemny'j konsalting // Mir komp'yuternoj avtomatizacii, 2000. – № 1. – S. 55-59.
10. Kucevich I.V. Instrumentarij dlya integracii raznorodny'x podsistem // Mir komp'yuternoj avtomatizacii, 2000. – № 1. – S. 33-37.
11. Leny'nin V., Sinenko O. Integraciya na puti povy'sheniya e'ffektivnosti predpriyatiya // Mir komp'yuternoj avtomatizacii, 2000. – № 1. – S. 12-16.

УДК 681.3:665.6

В.А. ЛОБАНОВА, Н.Г. ЛОБАНОВА

**ЗАДАЧА ПРОЕКТИРОВАНИЯ АДАПТИВНЫХ МЕХАНИЗМОВ  
ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ РАЗВИВАЮЩЕЙСЯ ОРГАНИЗАЦИИ**

*В данной статье авторы поднимают проблему выживания и развития предприятия в изменяющихся условиях. Разработка и внедрение методов проектирования и адаптивных механизмов функционирования позволит предприятию адаптироваться к требованиям постоянно изменяющейся рыночной среды.*

**Ключевые слова:** *методы проектирования; адаптивный оценочный механизм; дальновидный элемент.*

Эффективность функционирования малого предприятия зависит от того, насколько хорошо оно способно адаптироваться к требованиям постоянно изменяющейся рыночной среды, учитывать факторы внешнего окружения и рационально использовать свои потенциальные возможности.

Механизм адаптации организации (адаптивный механизм) формирует ее управляющий орган (Центр). В теоретических исследованиях обычно рассматривается двухуровневая модель организации, на верхнем уровне которой находится Центр, а на нижнем – дальновидный элемент.

Малое предприятие вынуждено функционировать в тесном взаимодействии с внешней средой, которая характеризуется высокой степенью неопределенности. Внешние факторы, оказывающие непосредственное влияние на эффективность деятельности предприятия (изменение спроса на реализуемые товары в количественном отношении и в отношении ассортимента, изменение уровня рыночных цен на приобретаемые фирмой товары, отклонения по срокам, объему и качеству выполнения договорных обязательств по поставкам, дебиторская задолженность, уровень инфляции, изменение валютного курса, налоговая политика государства и т.д.), связаны с конкретными объектами внешней среды: с клиентами, поставщиками, партнерами, конкурентами, банком, государственными организациями.

Адаптивность заложена в самой природе малого бизнеса.

Основой выживания и развития предприятия в изменяющихся условиях является приспособление, адаптация механизма функционирования, осуществляемого в его рамках процесса выполнения заказов по схеме «разработка-снабжение-производство-сбыт» к потребностям рынка. Процесс приспособления ведет за собой такую адаптацию предприятия в целом, что становится возможным выполнение самых разнообразных требований заказчиков и потребителей наукоемкой продукции, повышение рентабельности и ликвидности предприятия. Для этого разрабатываются методы проектирования и внедрения типовых адаптивных механизмов функционирования предприятия в условиях рынка.

Задача синтеза адаптивных механизмов функционирования иерархической активной системы, на верхнем уровне которой находится Центр, а на нижнем – дальновидный элемент (ДЭ), в условиях неопределенности может быть сформулирована следующим образом (рис. 1).

Обозначим выход ДЭ в периоде  $t$  через  $y_t$ , причем  $y_t < p_t$ ,  $1=1, T$ , где  $T$  – число периодов, учитываемых ДЭ (дальновидность). Предполагается, что предельные возможности ДЭ в периоде  $t$  определяет случайный параметр  $p$  (рыночный потенциал ДЭ).  $t=1, T$ , где  $T$  – число рассматриваемых периодов (дальновидность). Величина рыночного потенциала  $p_t$  известна ДЭ, но не известна Центру:  $p_t \in P$ ,  $j=1, T$ .

Адаптивные оценочные механизмы (АОМ) функционирования двухуровневой активной системы включают Центр и ДЭ. В АОМ Центр, действующий в условиях неопределенности, использует процедуры получения адаптивных оценок желательных (нормативных или плановых) значений выходов ДЭ и стимулирования за их выполнение. Именно Центр использует АОМ с настраиваемыми (адаптивными) нормативами (планами), зависящими от выборов ДЭ. В АОМ  $\Sigma_a = (X, E)$  адаптивный план (норматив)  $x_{t+1}$  на период  $t+1$  определяется как  $x_{t+1} = X(x_t, y_t)$ , где  $X(x_t, y_t)$  – процедура адаптивного планирования (формирования нормативов),  $t=1, T, x_t = x^t$ .

Стимул ДЭ в периоде  $t$  равен  $e_t = E(x_t, y_t)$ , где  $E$  – процедура оценивания (стимулирования). Стратегия ДЭ как совокупность выходов имеет вид  $\bar{y} = (y_1, \dots, y_T), y_t \in P_t, t=1, T$ . Целевая функция ДЭ зависит от этой стратегии и имеет вид:

$$V(\bar{y}) = \sum_{t=1}^T k^{t-1} E(x_t, y_t), \tag{1}$$

где  $k$  – коэффициент дисконтирования, используемый для приведения будущих стимулов к текущему моменту времени.

После того, как Центр задает АОМ, ДЭ выбирает оптимальную стратегию  $\bar{y}^* = (y_1^* \dots y_T^*)$  так, чтобы максимизировать свою целевую функцию:  $V(\bar{y}^*) = \max V(\bar{y})$ .

Тем самым реализуется игра ДЭ с Центром. Множество решений этой игры  $G(\Sigma_0, P) = \text{Arg} = \max_y V(\bar{y})$  – это совокупность оптимальных стратегий ДЭ.

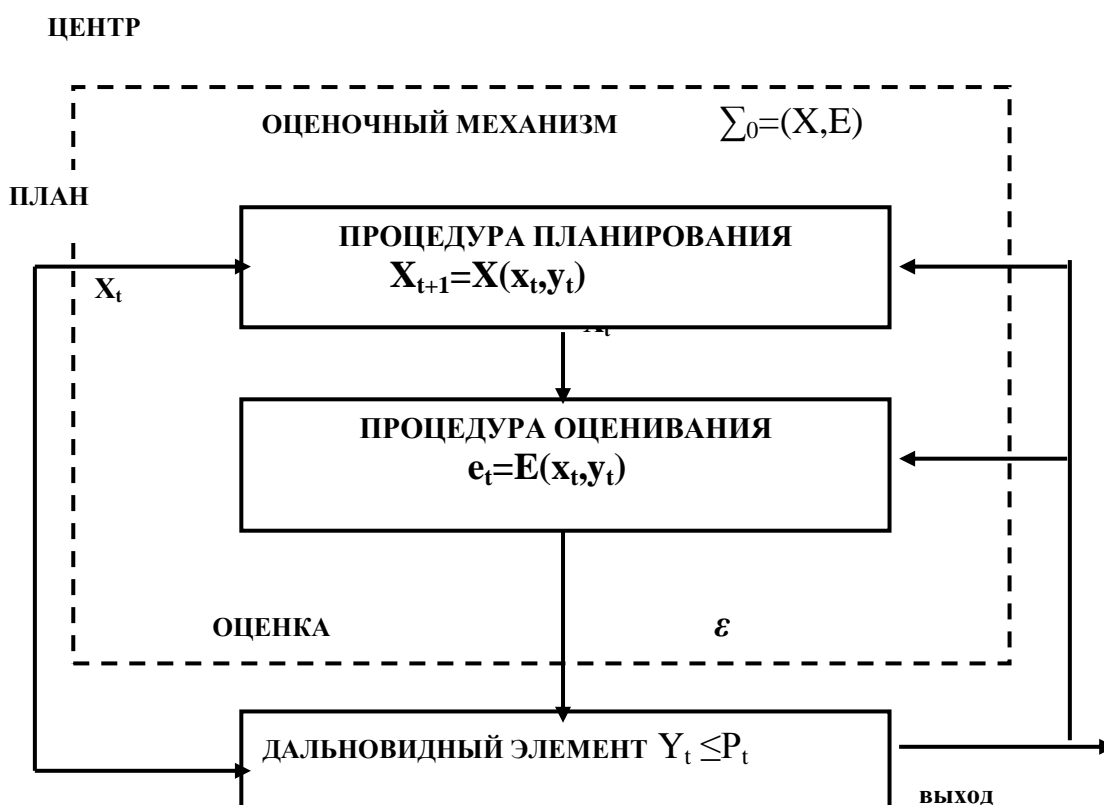


Рисунок 1 – Адаптивный оценочный механизм

Математическая модель ДЭ, увязывающая рыночные потенциалы, выходы, планы, стимулы и целевую функцию ДЭ, позволяет проводить анализ того или иного АОМ. На ее основе можно также ставить и решать задачи оптимального синтеза АОМ, как совокупности процедур, обеспечивающих выходы ДЭ, предпочтительные для Центра.

Обозначим совокупность адаптивных планов (нормативов) на весь срок дальновидности через  $x = (x_j \ X_j)$ . Задача оптимального синтеза адаптивного оценочного

механизма функционирования рассматриваемой активной системы в условиях неопределенности относительно потенциала ДЭ имеет вид:

$$\min_{p_t \in P, t = \overline{1, T}} \min_{\bar{y} \in G(\Sigma_0)} \Phi(\bar{x}, \bar{y}) \xrightarrow{\Sigma_0} \max. \quad (2)$$

Предполагается, что целевая функция Центра монотонно возрастает с увеличением выхода ДЭ  $y_t$ :

$$\Phi(\dots, y_{1t}, \dots) \leq \Phi(\dots, y_{2t}, \dots), y_{1t} \leq y_{2t}, t = \overline{1, T}. \quad (3)$$

Прогрессивным называется АОМ  $\Sigma_0 = (X, E)$  такой, что  $y_t^* = p_t, t = \overline{1, T}$ .

Для моделирования процесса адаптации Центра использовано понятие потенциала ДЭ. Например, потенциал промышленного предприятия как экономического объекта может характеризоваться максимальными производственными возможностями, основными производственными фондами и т.д. Задача адаптации Центра – это задача роста целевой функции Центра за счет использования потенциала предприятия.

Огромное значение для выживания и развития предприятия в рыночных условиях имеет его способность приспосабливаться к задачам потребителей, гибкость. Изучению проблем гибкости и адаптивности производственных систем и влиянию на них производственного и финансового менеджмента посвящено значительное число монографий, исследований и разработок как отечественных, так и зарубежных ученых: Р. Акоффа, И. Ансоффа, П.Н. Беянина, В.Н. Буркова, В.Н. Васильева, Е.П. Голубкова и др.

Основная особенность адаптивного управления в активных системах связана с одним из проявлений активности – дальновидностью элементов системы (заказчика и исполнителей заказа). Информированность дальновидного элемента (ДЭ) о процедурах адаптивного управления, применяемых дирекцией, позволяет ему предсказывать в той или иной степени будущие управляющие решения дирекции (планы, ресурсы, стимулы) в зависимости от состояния, которое элемент выбирает «сегодня». Поэтому дальновидному элементу может оказаться выгодным ограничивать возможные показатели.

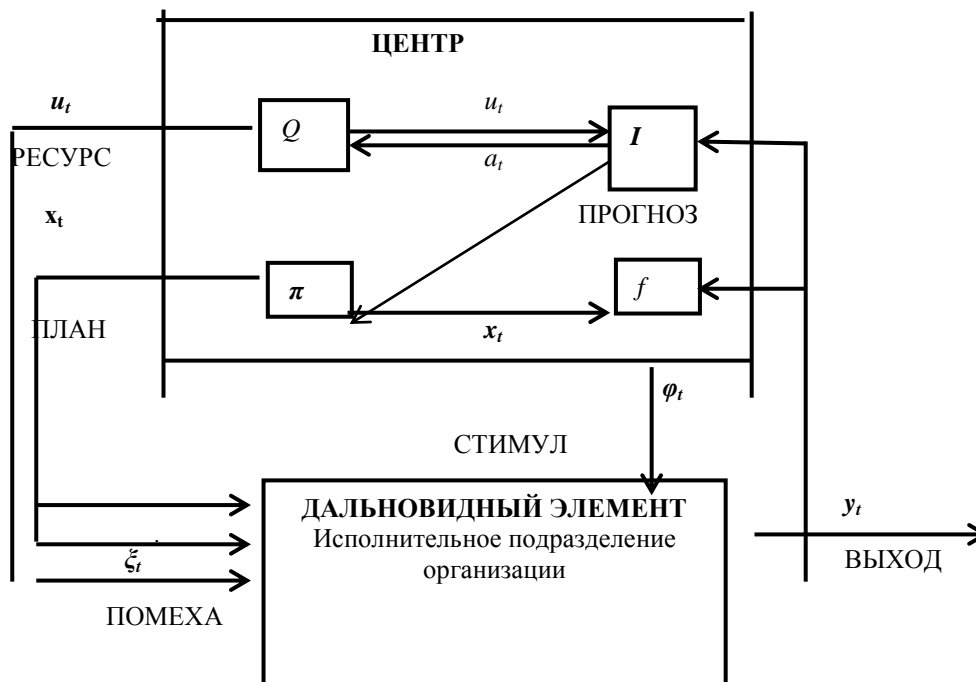


Рисунок 2 – Базовая модель адаптивных механизмов мониторинга предприятия (архетип)

Принципиальными особенностями процесса «разработка-производство» является динамика и неопределенность затрат, сроков, результатов и других параметров. Отсюда вытекает необходимость обеспечения гибкости и адаптивности предприятия. С другой стороны, основным принципом построения эффективной системы управления является адекватность последней объекту управления.

Отсюда следует, что никакая другая система, кроме адаптивной, не может обеспечить выживание и развитие предприятия в условиях рыночной экономики. Опыт освоения новой техники, адаптации к требованиям заказчиков, технической и технологической переориентации наиболее востребованы в условиях рынка.

Базовая модель адаптивных механизмов мониторинга предприятия представлена на рисунке 2.

#### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Цыганов В.В. Адаптивные механизмы в отраслевом управлении. – М.: Наука, 1991.
2. Цыганов В.В. Адаптивные механизмы функционирования промышленных объединений. – М.: ИПУ, 2000.

**Лобанова Валентина Андреевна**

ФГБОУ ВПО «Госунiversитет – УНПК», г. Орел

Кандидат технических наук, профессор кафедры «Электроника, вычислительная техника и информационная безопасность»

Тел.: 8 (4862) 45-57-57

E-mail: lvanata@yandex.ru

**Лобанова Наталья Геннадьевна**

ФГБОУ ВПО «Госунiversитет – УНПК», г. Орел

Аспирант

Тел.: 8 (4862) 45-57-57

E-mail: lvanata@yandex.ru

---

V.A. LOBANOVA (*Candidate of Engineering Science, Professor of the Department «Electronics, Computer Science and Information Security»*)

N.G. LOBANOVA (*Post-graduate Student*)  
*State University – ESPC, Orel*

#### **THE PROBLEM OF DESIGN OF ADAPTIVE MECHANISMS OF DEVELOPING ORGANIZATION**

*In the article the authors raise the problem of survival and development of the enterprise in a changing environment. Development and introduction of techniques of design and adaptive mechanisms of functioning will allow the company to adapt to the demands of a constantly changing market environment.*

**Keywords:** *methods of design; adaptive mechanism of assessment; visionary element.*

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

1. Cy'ganov V.V. Adaptivny'e mexanizmy' v otraslevom upravlenii. – M.: Nauka, 1991.
2. Cy'ganov V.V. Adaptivny'e mexanizmy' funkcionirovaniya promyshlenny'x ob''edinenij. – M.: IPU, 2000.

УДК 004.5

М.В. НОСОВ

## МЕТОДИКА РАЗДЕЛЕНИЯ ДЖИТТЕРА СИГНАЛОВ РАЗЛИЧНЫХ КАНАЛОВ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ И ОПЕРАТОРА АРМ

*Предложена методика разделения джиттера периода основного тона речевого сигнала, длительности и периода нажатия кнопок на клавиатуре, а также джиттера сигнала перемещения «мыши». Показана возможность использования характеристик случайного и периодического джиттера для оценки психофизиологического состояния оператора АРМ.*

**Ключевые слова:** джиттер; канал взаимодействия; автоматизированное рабочее место.

### ВВЕДЕНИЕ

Общий джиттер (Total Jitter –  $TJ$ ) сигналов различных каналов взаимодействия [1] технических средств и оператора автоматизированного рабочего места (АРМ) можно разделить на две основные категории: случайный (Random Jitter –  $RJ$ ) и детерминированный джиттер (Deterministic Jitter –  $DJ$ ) [2, 3]. Компонентами последнего являются:

– джиттер, зависящий от данных (Data-Dependent Jitter –  $DDJ$ ), подразделяемый, в свою очередь, на межсимвольную интерференцию (Inter-Symbol Interference –  $ISI$ ) и искажение коэффициента заполнения импульсной последовательности (Duty-Cycle Distortion –  $DCD$ );

– периодический джиттер (Periodic Jitter –  $PJ$ ), описывающий периодические изменения положений фронтов импульсов анализируемого сигнала во времени. Главными причинами периодического джиттера  $PJ$  являются паразитная модуляция гармониками питающего напряжения, высокочастотные помехи, а также процессы, лежащие в основе образования анализируемого сигнала.

При решении задачи определения психофизиологического состояния (ПФС) оператора АРМ по изменениям характеристик джиттера сигналов основных каналов взаимодействия с техническими средствами возникает необходимость разложить  $TJ$  на составляющие его компоненты и определить их параметры.

Существующие методы [2] анализа данных (фазового дрожания) не позволяют выделить все значимые компоненты джиттера, в связи с чем была предложена методика разделения джиттера сигналов различных каналов взаимодействия технических средств и оператора АРМ (рис. 1).

Согласно данной методике, вначале формируется общий джиттер сигналов доступных (текстовых или речевого) каналов взаимодействия, например, джиттер  $TJ^{OT}$  периода основного тона (ОТ) речевого сигнала, джиттер длительности  $TJ^{t_{наж}}$  и периода  $TJ^{T_{наж}}$  нажатия кнопок на клавиатуре, а также джиттера  $TJ^{мышь}$  сигнала перемещения манипулятора типа «мышь». Далее из джиттера длительности  $TJ^{t_{наж}}$  и периода  $TJ^{T_{наж}}$  нажатия клавиш клавиатуры необходимо устранить компоненты  $DDJ$ , зависящие от данных, а для выполнения разделения периодического  $PJ$  и случайного  $RJ$  – заполнить неизвестные значения общего джиттера, после чего их характеристики можно использовать для оценки ПФС. Подробно рассмотрим данные этапы разработанной методики.

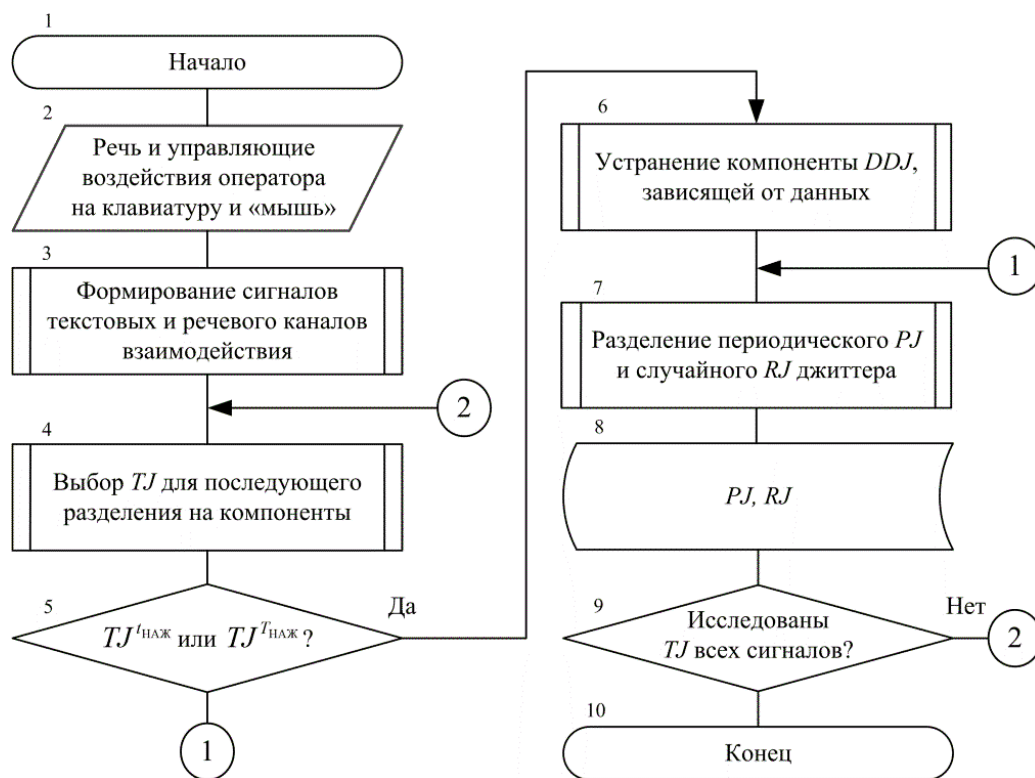


Рисунок 1 – Методика разделения общего джиттера

### СУЩЕСТВУЮЩИЕ СПОСОБЫ ВЫДЕЛЕНИЯ ДЖИТТЕРА, ЗАВИСЯЩЕГО ОТ ДАННЫХ

Межсимвольная интерференция *ISI* с точки зрения джиттера определяется как отклонение момента пересечения порога принятия решения (считывания кода нажатой клавиши) для каждого импульса (нажатия) от «идеального» момента из-за остаточных влияний предшествующих нажатий. Нажатие клавиши может «размываться» на соседние интервалы, что приводит к смещению напряжения в момент передачи фронта, следовательно, и к изменению времени пересечения сигналом порога принятия решения.

Джиттер *DCD*, вызванный искажением коэффициента заполнения импульсной последовательности, определяется как отклонение коэффициента заполнения от своего номинального значения. Для последовательности нажатия клавиш коэффициент заполнения определяется как отношение ширины импульса к его периоду.

В [4] показано, что джиттер, вызванный искажением коэффициента заполнения импульсной последовательности, и джиттер, обусловленный межсимвольной интерференцией, являются некоррелированными и могут быть разделены статистическими методами. В предлагаемой методике для устранения *DDJ* из последовательности *TJ* предлагается использовать метод (рис. 2), описанный в [5].

Данный метод основан на предположении, что каждый символ внутри маленького временного окна, расположенного вокруг анализируемого фронта сигнала, оказывает на него определенное влияние. Считая, что *DDJ* (*DCD+ISI*) вызывается влиянием только *l* соседних символов, ограничим число различных последовательностей, которые необходимо рассматривать, числом  $2^l$ . Тогда размер временного окна будет равен  $l+2$ , где два дополнительных символа определяют анализируемый фронт сигнала. Учитывая, что импульсные характеристики системы для переднего и заднего фронтов сигнала могут отличаться друг от друга, необходимо рассматривать джиттер на переднем (переход от нуля к единице) и заднем (переход от единицы к нулю) фронтах отдельно.



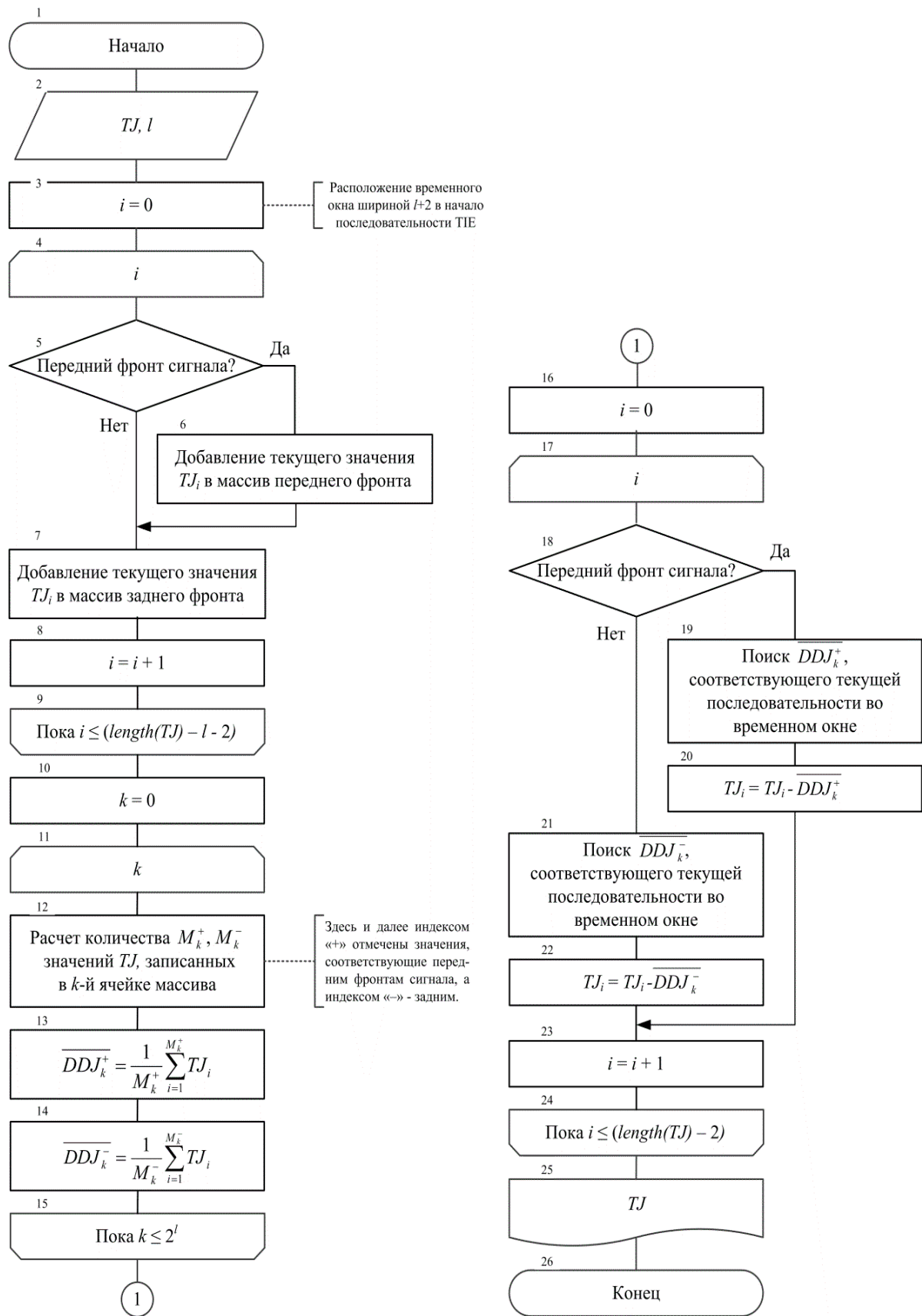


Рисунок 2 – Алгоритм устранения DDJ (DCD+ISI) из TJ

На первом выполняется оценка значений (ISI+DCD) для каждой из  $2^l$  последовательностей отдельно для передних и задних фронтов. Эта оценка вычисляется

№3(83)2014 65

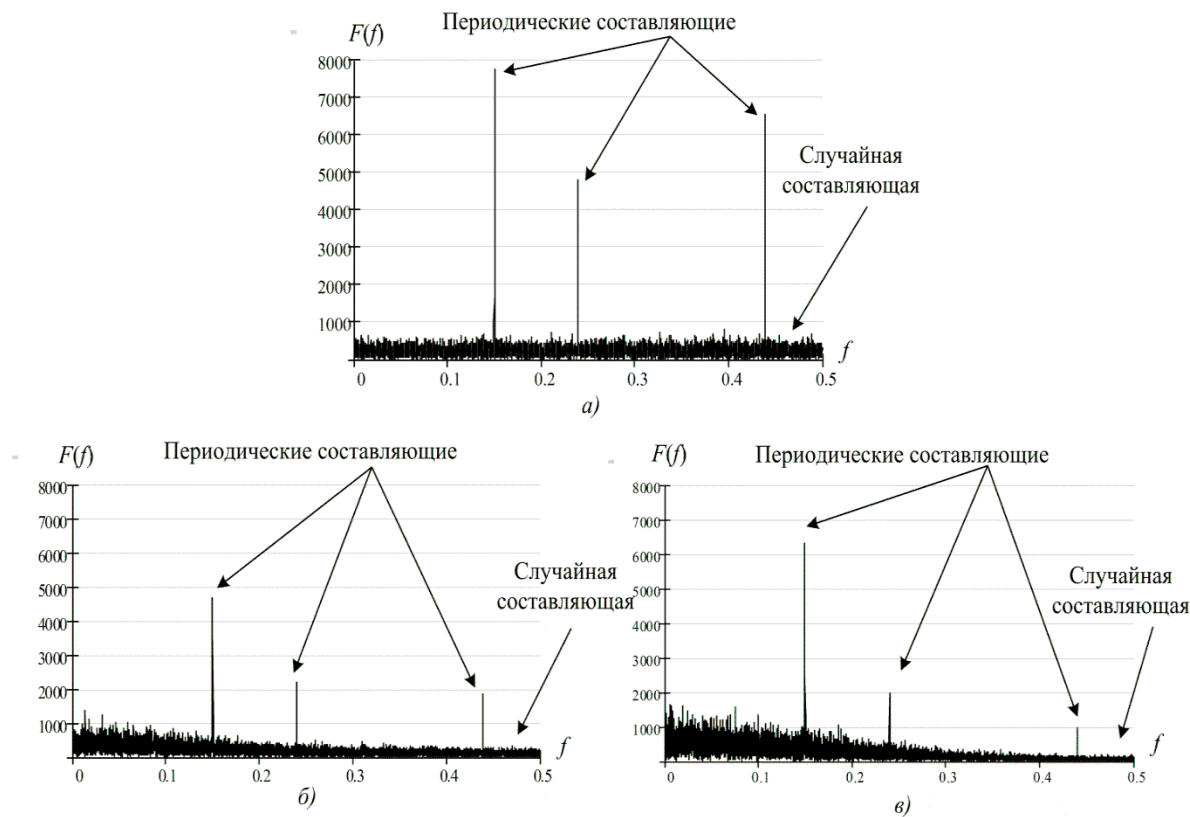
путем определения статистики при «продвижении» временного окна через всю последовательность  $TJ$ . На втором этапе на основе полученных статистик производится компенсация  $DDJ$  в последовательности  $TJ$ .

Применение алгоритма устранения  $DDJ$  из последовательности  $TJ$  (рис. 2) позволяет выполнить необходимый для сигналов текстового канала взаимодействия (традиционный ввод с клавиатуры) этап предложенной методики.

### АЛГОРИТМ РАЗДЕЛЕНИЯ ПЕРИОДИЧЕСКОГО И СЛУЧАЙНОГО ДЖИТТЕРА

Для отделения периодического джиттера  $PJ$  от случайного  $RJ$  широко используются спектральные методы [6-9], основанные на дискретном преобразовании Фурье (ДПФ).

Однако анализируемый сигнал может содержать неизвестные значения общего джиттера  $TJ$ , например, в случае отсутствия периода ОТ речевого на невокализованных кадрах речи. Их наличие не позволяет напрямую использовать спектральный метод отделения периодического джиттера  $PJ$  от случайного  $RJ$ , так как для последовательности с неизвестными значениями нельзя выполнить ДПФ. В [6-9] для заполнения неизвестных значений предлагается использовать интерполяцию по ближайшим известным значениям: линейную, полиномиальную или сплайновую интерполяции (рис. 3).



**Рисунок 3 – Амплитудный спектр:**

- а – известной последовательности значений джиттера;*
- б – линейно интерполированной последовательности;*
- в – последовательности, интерполированной кубическими сплайнами*

Использование интерполяции неизвестных значений по ближайшим известным искажает спектр сигнала общего джиттера в сторону нижних частот с подавлением амплитуд высокочастотных составляющих. Такое искажение спектра ведет к ухудшению точности оценки периодического  $PJ$  и случайного  $RJ$  джиттера при использовании спектрального метода разделения.

Из известной последовательности (рис. 3 (а)) значений джиттера (случайная составляющая – случайный гауссовский процесс с нулевым математическим ожиданием и среднеквадратическим отклонением  $\sigma = 2$ ; периодическая составляющая – три гармонических сигнала с относительными частотами  $f_1 = 0,15$ ,  $f_2 = 0,24$ ,  $f_3 = 0,44$ , амплитудами  $A_1 = 1,38$ ,  $A_2 = 0,563$ ,  $A_3 = 0,876$  и случайными фазами  $\varphi_1$ ,  $\varphi_2$  и  $\varphi_3$ ; объем выборки  $N = 2^{14}$ ) удалены (с вероятностью 0,5) некоторые значения, которые затем линейно интерполированы по ближайшим известным значениям (рис. 3 (б)).

Из сравнения спектров (рис. 3 (а) и 3 (б)) видно, что применение интерполяции неизвестных значений по ближайшим известным искажает спектр последовательности значений джиттера в сторону нижних частот с подавлением амплитуд высокочастотных составляющих. Такой же эффект наблюдается при использовании полиномиальной интерполяции и интерполяции сплайнами (рис. 3 (в)). Такое искажение спектра ведет к ухудшению точности оценивания периодического  $PJ$  и случайного  $RJ$  джиттера при использовании спектрального метода разделения.

Для устранения недостатков существующих способов предлагается алгоритм разделения периодического и случайного джиттера, состоящий из следующих этапов (рис. 4).

1. Выполняется переход из временной в частотную область анализа. При этом последовательность значений джиттера, в которой неизвестные значения заменены на нули (шаг 3) [10], взвешивается на окно данных  $PJ(i)$ , например, окно Блэкмана (шаг 4)

$$w(i) = 0,42 - 0,50 \cos\left(\frac{2\pi \cdot i}{N}\right) + 0,08 \cos\left(\frac{4\pi \cdot i}{N}\right), \quad i = 0..N-1$$

для устранения эффекта растекания спектра при выполнении операции БПФ (шаг 5).

2. Определяются пиковые значения амплитудного спектра последовательности значений джиттера, соответствующие периодическому джиттеру  $PJ$ .

Периодический джиттер  $PJ$  представляет собой узкополосную помеху на одной или нескольких частотах. Для его отделения от случайного джиттера используются методы, основанные на фильтрации в частотной области. Для определения частотной характеристики (ЧХ) соответствующего фильтра необходимо определить частоты, на которых сосредоточен периодический джиттер. Для поиска пиковых значений спектра, соответствующих частотам  $PJ$ , осуществляются следующие шаги.

Шаг 6. Вычисляется спектральная плотность мощности (СПМ) входной последовательности, сглаженной оконной функцией  $w(n)$ :

$$S_0(f_k) = \frac{1}{U} \left| \sum_{n=0}^{N-1} x(n)w(n)e^{-j\frac{2\pi}{N}kn} \right|^2, \quad U = \sum_{n=0}^{N-1} w^2(n),$$

где  $U$  – энергия используемого окна.

Шаг 7. Вычисляется сглаженная оценка СПМ по методу Уэлча:

$$\hat{S}(f_k) = \frac{1}{P} \sum_{p=1}^P I_p(f_k) = \frac{1}{PU} \sum_{p=1}^P |\dot{X}_p(k)|^2.$$

Как показано в [11], данная оценка СПМ является смещенной и состоятельной. Чем больше сегментов  $P$ , тем меньше дисперсия, но больше смещение оценок. Количество сегментов выбирается с учетом требуемой гладкости оценки СПМ и требуемой разрешающей способности по частоте. При этом имеется компромисс между смещением или спектральной разрешающей способностью и дисперсией оценки при постоянной длине выборки входной последовательности.

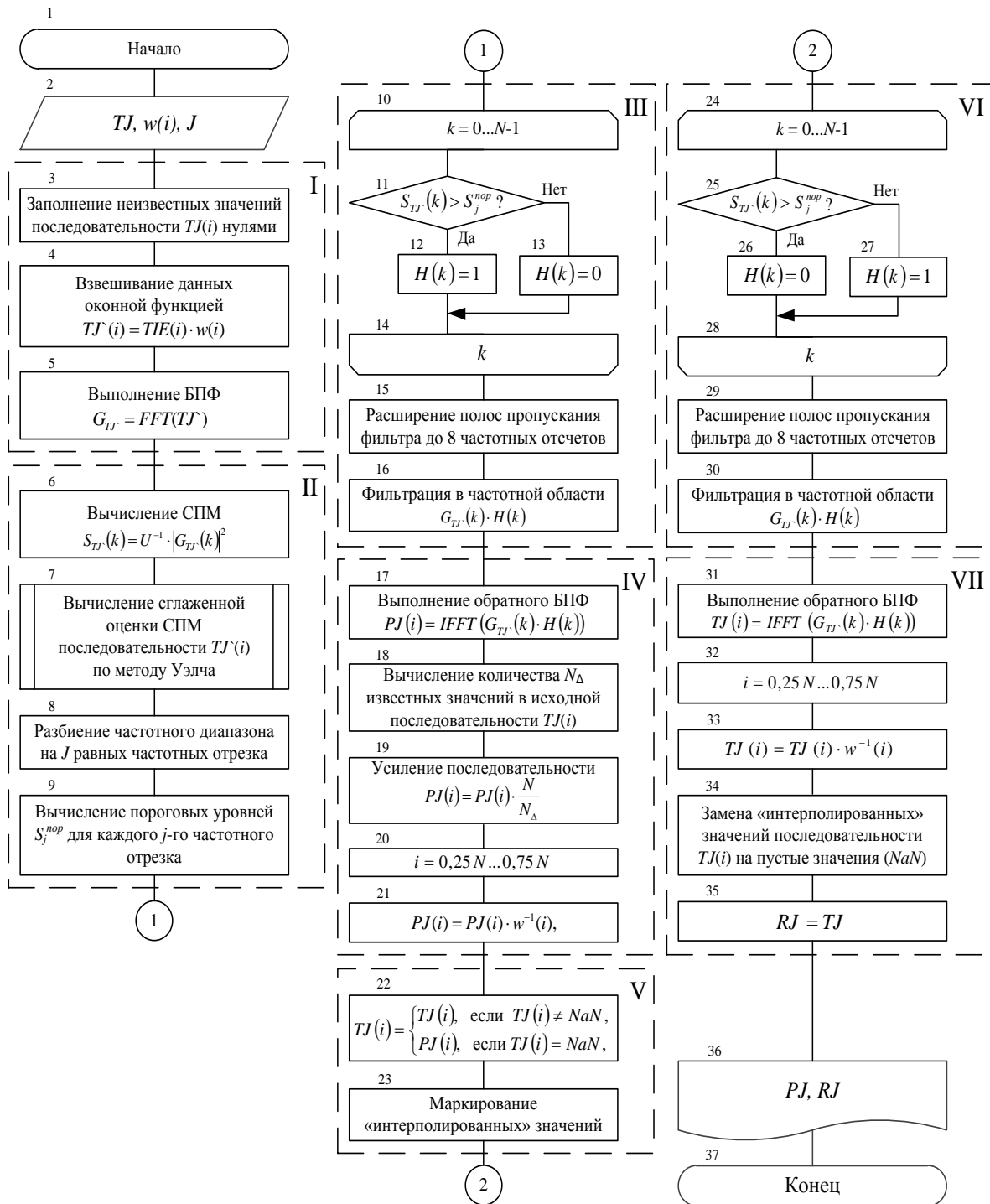


Рисунок 4 – Алгоритм разделения периодического и случайного джиттера

Шаг 8. Весь частотный диапазон разбивается на  $J$  одинаковых отрезков. Количество частотных отрезков  $J$  выбирается таким образом, чтобы более точно описать спектральную плотность мощности случайной составляющей общего джиттера.

Шаг 9. Вычисляются пороговые уровни  $S_j^{nop}$  с заданной доверительной вероятностью  $\alpha$  для каждого  $j$ -го отрезка как верхние границы доверительного интервала СПМ, полученные по реализации входной последовательности длиной  $N$  :

$$S_j^{nop} = 2\hat{S}_j / \chi_{\alpha/2}^2(2),$$

где  $\chi_{1-\alpha/2}^2(2)$  –  $\chi^2$ -распределение при заданной доверительной вероятности  $\alpha$  и числе степеней свободы  $\mu = 2$ .

Если СПМ  $S_0(f_k)$  входной последовательности на данной частоте превышает пороговый уровень  $S_j^{nop}$  в соответствующем частотном диапазоне, то считается, что на данной частоте сосредоточена узкополосная помеха, соответствующая периодической составляющей  $PJ$  общего джиттера. Так, значения СПМ  $S_0(f)$  на относительных частотах  $f_1 = 0,016$  и  $f_2 = 0,418$  (рис. 5), превышающие пороговые значения  $S_j^{nop}$  при  $J = 16$ , соответствуют периодическому джиттеру.

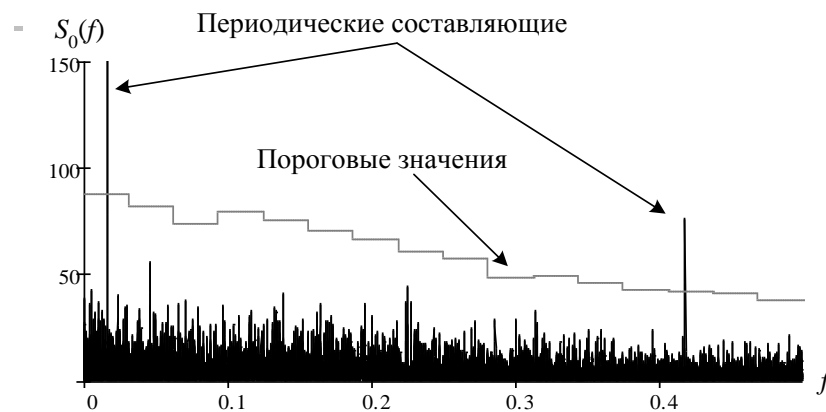


Рисунок 5 – Определение частот периодического джиттера

3. Формируется частотная характеристика (ЧХ) фильтра и используется фильтрация с помощью БПФ для выделения постоянной составляющей общего джиттера. После определения частот, на которых сосредоточены узкополосные помехи, соответствующие  $PJ$ , необходимо отфильтровать их от случайного джиттера. Так как заранее количество и частоты узкополосных помех неизвестны, то необходимо использовать фильтрацию на основе ДПФ. Особенностью данной фильтрации является наличие «неверных» отсчетов на концах полученной после фильтрации последовательности.

ЧХ фильтра формируется следующим образом (шаги 10-14). Если СПМ  $S_0(f_k)$  входной последовательности на данной частоте превышает пороговый уровень  $S_j^{nop}$  в соответствующем частотном диапазоне, то частотная характеристика на данной частоте приравнивается к единице  $H(k)=1$ , в противном случае – к нулю  $H(k)=0$ . Таким образом, фильтром пропускаются те частоты, на которых присутствуют периодические составляющие, а остальные частоты пропускаются. Далее вычисляются размеры полос задерживания частотной характеристики. Если ширина полосы задерживания меньше  $B = 8$ , то она расширяется до данного значения (шаг 15).

Сформированная таким образом ЧХ позволит использовать фильтрацию с помощью БПФ (шаг 16) при исключении «хвостов» по  $N/4$  отсчета с каждой стороны отфильтрованной последовательности (шаг 20).

4. Выполняется обратное ДПФ от спектра, в котором остались только пиковые значения (шаг 17). Полученная последовательность, содержащая только периодические составляющие, усиливается (шаги 18-19) и взвешивается на обратную оконную функцию (шаг 21), чем устраняется эффект взвешивания окном.

5. В исходной последовательности значений общего джиттера неизвестные значения заменяются на соответствующие значения из полученной последовательности, описывающей  $PJ$ , и помечаются как «интерполированные» (шаги 22-23).

После заполнения неизвестных значений в последовательности значений джиттера выполняется удаление периодической составляющей  $PJ$  из смеси  $PJ+RJ$  спектральным методом за счет фильтрации в частотной области.

6. Формируется ЧХ фильтра, который задерживает периодические компоненты джиттера и пропускает случайный джиттер  $RJ$  (шаги 24-29). На шаге 30 выполняется фильтрация в частотной области путем перемножения спектра взвешенной входной последовательности и сформированной частотной характеристики фильтра.

7. Выполняется обратное ДПФ (шаг 31) от спектра, содержащего только случайный джиттер. На шаге 32 исключаются крайние  $N/4$  отсчета согласно методу фильтрации с помощью ДПФ, а получившаяся последовательность умножается на соответствующую обратную оконную функцию (шаг 33). Значения последовательности ошибок значений джиттера, которые на шаге 23 были помечены как «интерполируемые», заменяются обратно (шаг 34) на неизвестные значения ( $NaN$ ).

Полученные последовательности (шаг 36) значений случайного  $RJ$  и периодического  $PJ$  джиттера используются для дальнейшего анализа. Так, в результате экспериментальных исследований (записи речевого сигнала 6 дикторов общей продолжительностью 27 мин.) установлено, что случайный джиттер  $RJ$  периода  $OT$ , определенный согласно выражениям (2) и (3), при критическом уровне значимости  $\alpha = 0,01$  (по критерию А.Н. Колмогорова [13]) имеет нормальное распределение, что опровергает имеющиеся данные [14] о его равномерности. Параметры периодических составляющих (амплитуда и частота)  $PJ$  джиттера  $TJ^{OT}$  (рис. 6) могут быть использованы для идентификации ПФС человека.

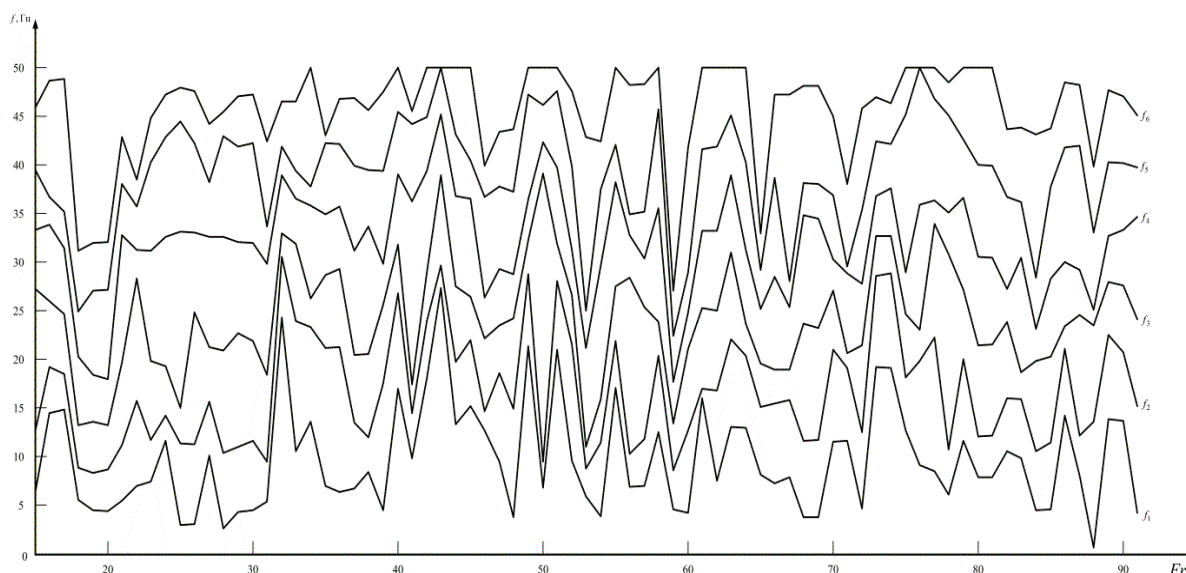


Рисунок 6 – Изменения частоты первых 6 максимумов спектра джиттера периода  $OT$

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе представлена методика разделения джиттера сигналов различных каналов взаимодействия технических средств и оператора АРМ. Результаты ее применения подтверждают возможность отделения периодического джиттера от случайной составляющей общего джиттера и исследования их характеристик. Последние могут быть использованы для оценки ПФС оператора и повышения эффективности его деятельности.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ронжин А.Л., Карпов А.А., Ли И.В. Речевой и многомодальный интерфейс. – М.: Наука, 2006. – 173 с.
2. Fiber Channel – Methodologies for Jitter and Signal Quality Specification. National Committee for Information Technology Standardization (NCITS), working draft for Rev. 10. Washington, DC, 2003.
3. Корольков А.В., Дамм В.А., Шалагинов В.А. Разделение компонентов общего фазового дрожания цифрового сигнала данных // Рязань: Вестник РГРТУ, 2009. – № 3 (вып. 29). – С. 36-40.
4. Buckwalter J. Deterministic jitter in broadband communication / Ph.D. Dissertation, California inst. Technol., Pasadena, 2006.
5. Method for decomposing timing jitter on arbitrary serial data sequences / US Patent № US 7254168 B2. Aug. 7, 2007.
6. Draving S.D. Method and apparatus for decomposing signal jitter using multiple acquisitions / US Patent № US 6898535 B2. May 24, 2005.
7. Guenther M.L. Method for decomposing timing jitter on arbitrary serial data sequences / US Patent № US 7254168 B2. Aug. 7, 2007.
8. Tabatabaei S. Jitter spectrum analysis using random sampling / US Patent Application Publication № US 2007/0110146 A1. May 17, 2007.
9. Ward B.A., Tan K., Guenther M.L. Apparatus and method for spectrum analysis-based serial data jitter measurement / US Patent № US 6832172 B2. Dec. 14, 2004.
10. Дамм В.А. Восстановление пропущенных значений ошибок временных интервалов при разделении компонентов общего фазового дрожания цифрового сигнала / В.А. Дамм, В.А. Шалагинов, В.В. Елиферевский, А.В. Кутузов // Рязань: Вестник РГРТУ, 2008. – № 4 (вып. 26). – С. 10-18.
11. Оппенгейм А.В., Шафер Р.В. Цифровая обработка сигналов. – М.: «Связь», 1979. – 621 с.
12. Кобзарь А.И. Прикладная математическая статистика. Для инженеров и научных работников. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006. – 816 с.
13. Chu Wai C. Speech coding algorithms: Foundation and evolution of standardized coders. John Wiley & Sons, Inc. Hoboken, New Jersey, USA, 2003. – 558 p.

**Носов Максим Васильевич**  
 Академии ФСО России, г. Орел  
 Сотрудник  
 Тел.: 8 960 648 16 38  
 E-mail: nosovm@mail.ru

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

**JITTER SEPARATION TECHNIQUE FOR SIGNALS OF DIFFERENT CHANNELS OF TECHNICAL EQUIPMENT INTERACTION AND AUTOMATED WORKSTATION'S OPERATOR**

*Pitch-jitter separation technique from the speech signal, duration and pressing buttons on the keyboard period, as well as jitter signal moving the "mouse" is proposed. Possibility of using random and periodic jitter characteristics to evaluate psychophysiological automated workstation operator's state is showed.*

**Keywords:** jitter; interaction channel; automated workstation.

**BIBLIOGRAPHY (TRANSLITERATED)**

1. Ronzhin A.L., Karpov A.A., Li I.V. Rechevoj i mnogomodal'ny'j interfejsy'. – М.: Nauka, 2006. – 173 s.
2. Fiber Channel – Methodologies for Jitter and Signal Quality Specification. National Committee for Information Technology Standardization (NCITS), working draft for Rev. 10. Washington, DC, 2003.
3. Korol'kov A.V., Damm V.A., Shalaginov V.A. Razdelenie komponentov obshhego fazovogo drozhaniya cifrovogo signala danny'x // Ryazan': Vestnik RGRTU, 2009. – № 3 (vy'p. 29). – S. 36-40.

4. Buckwalter J. Deterministic jitter in broadband communication / Ph.D. Dissertation, California inst. Technol., Pasadena, 2006.
5. Method for decomposing timing jitter on arbitrary serial data sequences / US Patent № US 7254168 B2. Aug. 7, 2007.
6. Draving S.D. Method and apparatus for decomposing signal jitter using multiple acquisitions / US Patent № US 6898535 B2. May 24, 2005.
7. Guenther M.L. Method for decomposing timing jitter on arbitrary serial data sequences / US Patent № US 7254168 B2. Aug. 7, 2007.
8. Tabatabaei S. Jitter spectrum analysis using random sampling / US Patent Application Publication № US 2007/0110146 A1. May 17, 2007.
9. Ward B.A., Tan K., Guenther M.L. Apparatus and method for spectrum analysis-based serial data jitter measurement / US Patent № US 6832172 B2. Dec. 14, 2004.
10. Damm V.A. Vosstanovlenie propushhenny'x znachenij oshibok vremenny'x intervalov pri razdelenii komponentov obshhego fazovogo drozhaniya cifrovogo signala / V.A. Damm, V.A. Shalaginov, V.V. Eliferevskij, A.V. Kutuzov // Ryazan': Vestnik RGRU, 2008. – № 4 (vy'p. 26). – S. 10-18.
11. Oppengejm A.V., Shafer R.V. Cifrovaya obrabotka signalov. – M.: «Svyaz'», 1979. – 621 s.
12. Kobzar' A.I. Prikladnaya matematicheskaya statistika. Dlya inzhenerov i nauchny'x rabotnikov. – M.: FIZMATLIT, 2006. – 816 s.
13. Chu Wai C. Speech coding algorithms: Foundation and evolution of standardized coders. John Wiley & Sons, Inc. Hoboken, New Jersey, USA, 2003. – 558 p.



УДК 004.22, 519.725, 621.391, 623.61

К.Ю. РЮМШИН

**МАТЕМАТИЧЕСКИЙ БАЗИС ПЕРЕХОДА  
ОТ НЕЛИНЕЙНЫХ К КВАЗИЛИНЕЙНЫМ СИСТЕМАМ  
В АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ**

*В статье проведен анализ линейных и квазилинейных пространств и показана их взаимосвязь. Анализ морфизма линейных и квазилинейных пространств является актуальным с точки зрения решения прикладных задач.*

**Ключевые слова:** модель; линеаризация; пространство; линейное пространство; квазилинейное пространство.

При решении различного рода прикладных задач – технических, геофизических, гидрометеорологических и других – возникает потребность в решении различного рода нелинейных задач. Например, при переходе от анализа в дискретном канале в полунепрерывный осуществляется переход от анализа линейных пространств, порожденных СЛАУ к квазилинейным [1]. В теории автоматического управления технологическими процессами и производствами выполнение неких процессов с ограниченным участием человека уже давно и довольно часто, иногда даже без должного основания, используются переходы от нелинейных систем к линейным. Вольное обращение с процедурами линеаризации может привести к недоразумениям и прямым ошибкам. Для того, чтобы избежать данных коллизий, необходимо правильное понимание природы и смысла проведения тех или иных операций.

Анализ моделей объектов, описанных с помощью дифференциальных уравнений, затруднителен ввиду сложности самой задачи математической физики, сложности и в не достаточной мере разработанности математического аппарата. В силу чего для решения как теоретических, так и прикладных задач используют, исходя из физических соображений, различные методы линеаризации. Таким образом, осуществляется переход к квазилинейным системам.

Широкое применение различного рода методов перехода от нелинейных систем к квазилинейным обусловлен, к тому же, наличием хорошо разработанного как математического, так и алгоритмического аппарата решения линейных задач. Цель данной статьи состоит в раскрытии сущности морфизма линейных и квазилинейных пространств.

Исходя из того, что модель объекта описывается некой математической абстракцией, то, говоря о линейности и нелинейности системы с физической точки зрения, подразумевается характер взаимосвязей элементов, определяющих структуру объекта. В математике введено понятие пространства, охватывающее набор сложных терминов, по своей сути представляющее множество с дополнительной структурой.

Для квазилинейных пространств выделяют линейные пространства и симметрические пространства. Определение квазилинейного пространства введено в работе [2]. Там же рассмотрены все квазилинейные пространства размерности один и два. Также доказано совпадение линейного и квазилинейного пространств.

Проведенные исследования показали, что квазилинейное пространство представляет собой прямую сумму линейного пространства и квазилинейного симметрического пространства. При этом линейное пространство является ядром симметрического отображения квазилинейного пространства в себя и совпадает со множеством симметрических элементов, а симметрическое квазилинейное пространство совпадает с образом этого симметрического отображения. Введем операцию вычитания для

квазилинейных конечнопорожденных пространств с базисом, обобщая операцию вычитания в квазилинейном пространстве [3].

Введем обозначения  $O$  – нейтральный элемент пространства  $M$  такой, что

$$\alpha = O \vee \alpha A = O \Leftrightarrow \alpha A = O,$$

при  $A \neq O, \alpha A = \beta A \Leftrightarrow \dots |\alpha| = |\beta|$ .

Действуя по аналогии с линейным пространством, введем следующее определение:  $K$  называется квазилинейным подпространством пространства  $M$ , если  $K \subseteq M$  и  $\langle K, +, \cdot \rangle$  является квазилинейным пространством [4].

Приведем примеры квазилинейных пространств при помощи построения линейных отображений квазилинейного пространства. Обозначим через  $G(M)$  множество всех гомоморфных отображений, т.е.  $F(\cdot) \in M$ . В таком случае выполняется:

$$F(A + B) = F(A) + F(B) \quad \forall A, B \in M, \tag{1}$$

$$F(\lambda \cdot A) = \lambda \cdot F(A) \quad \forall \lambda \in \mathbb{R}, A \in M. \tag{2}$$

Необходимо отметить, что

$$F(O) = O \quad \forall F \in G(M).$$

Во множестве  $G(M)$  введем операции  $\oplus$  и  $\odot$ :

$$(F \oplus G)(A) = F(A) \oplus G(A), \quad \forall A \in M,$$

$$(\lambda \odot F)(A) = \lambda \odot F(A), \quad \forall \lambda \in \mathbb{R}, \forall A \in M.$$

Таким образом, можно утверждать, что гомоморфное отображение  $G(M)$  с определенными операциями  $\oplus$  и  $\odot$  ( $\langle G(M), \oplus, \odot \rangle$ ) является квазилинейным пространством [4].

Рассмотрим следующее множество  $L(M)$  – множество гомоморфных отображений  $F(A)$  вида

$$F(A) = \alpha A + \beta(-1)A, \quad \text{по всем } \alpha, \beta \in \mathbb{R}_L = \{\lambda \in \mathbb{R} | \lambda \geq 0\}.$$

Таким образом, можно однозначно утверждать, что гомоморфное отображение  $L(M)$  с определенными операциями  $\oplus$  и  $\odot$  ( $\langle L(M), \oplus, \odot \rangle$ ) – квазилинейное подпространство в  $L(M)$ .

Введем линейное симметрическое отображение  $M$  в  $M$ :

$$H(A) = \lambda(A + (-1)A), \quad \lambda \in \mathbb{R}_L.$$

Очевидно, что множество всех симметрических отображений  $S(M)$  с операциями  $\oplus$  и  $\odot$  является квазилинейным подпространством в  $L(M)$  и для любого  $H(A) \in S(M)$  верно

$$H(A) = H((-1)A) = (-1)H(A).$$

Определим стандартным образом ядро и образ оператора  $H(A)$ :

$$\ker H(M) = \{A | H(A) = O, A \in M\},$$

$$\text{im } H(M) = \{B | B = H(A), A \in M\}.$$

Необходимо отметить, что при  $\lambda = 0$  имеем:  $\ker H(M) = M, \text{im } H(M) = O$ . При  $\lambda \neq 0$  получим следующие соотношения:

$$\ker H(M) = \{A | A + (-1)A = 0, A \in M\},$$

$$\text{im } H(M) = \{D | D = (A + (-1)A)/2, A \in M\}.$$

Обозначим через  $M_S$  [4] множество симметрических элементов:

$$M_S = \{C | C = (-1)C, C \in M\}.$$

Множества  $M_S, \ker H(M), \text{im } H(M)$  не пустые, т.к.  $O$  принадлежит любому из них для любого  $M$ .

Из вышеописанного следует, что  $(-1)A$  может равняться только  $A$ , поэтому для операции сложения определим:

$$(-1)A \in A + M = \{B | B = A + D, D \in M\} \quad \forall A \in M.$$

Таким образом, становится очевидным тот факт, что для любого  $A$  существует  $B \in M$ , такое, что

$$A = (-1)A + B. \tag{3}$$

Обозначим через  $M_L$  множество всех  $B$ , удовлетворяющих условию (3):

$$M_L = \{B \in M \mid \exists A, \quad A = (-1)A + B\}.$$

При этом необходимо отметить, что если в квазилинейном пространстве не выполнено (3), можно осуществить погружение исходного множества  $M$  в некоторое квазилинейное пространство, в котором (3) верно, т.е. исходное  $M$  будет квазилинейным подпространством этого пространства.

Элемент  $A \in M$  называется тонким, если существует противоположный элемент  $A' \in M: A + A' = O$  [4].

Противоположный элемент  $A'$  – единственный для любого тонкого  $A$ .

$M$  называется квазилинейным тонким пространством, если любой элемент  $M$  – тонкий [4].

### ТЕОРЕМА 1

Пусть  $M = \{A \in \mathbb{R} \mid A = \alpha[0,1] + \beta[-1,0], \alpha, \beta \geq 0\}$ , тогда  $\langle M, +, \cdot \rangle$  со стандартными операциями из  $\mathbb{R}$  является квазилинейным пространством и для любого  $A \in M_S$  условие (3) не выполнено, но при погружении  $M$  в  $\mathbb{R}$  – (3) верно. Тогда любое линейное пространство является квазилинейным тонким пространством. При этом обратное утверждение неверно.

### ДОКАЗАТЕЛЬСТВО

Действительно, пусть  $M$  состоит из элементов  $\mathbb{R}^n$ , операция сложения – стандартная, умножение на число определяется следующим образом:

$$\lambda \odot x = \{|\lambda|x_1, |\lambda|x_2, \dots, |\lambda|x_n\}.$$

Тогда  $\langle M, +, \odot \rangle$  является квазилинейным тонким пространством.

В квазилинейном тонком пространстве выражение (3) всегда верно, т.к. для любого  $A \in M$  существует  $B \in M$ :

$$B = (-1)A' + A.$$

Таким образом, можно утверждать следующие положения:

- $M_S = \text{im } H(M)$  при  $\lambda \neq 0$ ;
- $\ker H(M)$  – линейное пространство ( $\lambda \neq 0$ );
- $M_L = \ker H(M)$  при  $\lambda \neq 0$ .

Необходимо отметить, что  $M_L, \ker H(M)$  совпадает со множеством дистрибутивных элементов  $M_D$  [4]:

$$M_D = \{A \mid (\alpha + \beta)A = \alpha A + \beta A, \forall \alpha, \beta \in \mathbb{R}\}.$$

В силу этого можно утверждать, что  $\text{im } H(M)$  является квазилинейным подпространством пространства  $M$  [4].

Необходимо отметить, что  $\text{im } F(M), \ker F(M)$  являются квазилинейными подпространствами для любого гомоморфного отображения пространства  $M$ .

Исходя из изложенного, сформулируем теорему.

### ТЕОРЕМА 2

Пусть  $F(M)$  – гомоморфизм квазилинейного пространства  $M$  такой, что  $\ker F(M)$  – квазилинейное тонкое пространство, тогда:

$$M / \ker F(M) \cong \text{im } F(M).$$

Теорема 3 верна и в более частном случае, когда

$$M = \ker H(M) \oplus \text{im } H(M), \text{ т. е.}$$

$$A = C + D, \quad C \in \ker H(M), \quad D \in \text{im } H(M), \quad (4)$$

где  $\oplus$  – знак прямой суммы.

Элементы  $C$  и  $D$  в выражении (4) – середина и ширина  $A$  [4] соответственно.

Введем следующие обозначения:

$$C = \text{mid}(A), \quad D = \text{wid}(A).$$

Очевидно, что  $\text{mid}(A)$ ,  $\text{wid}(A)$  принадлежат квазилинейному пространству  $G(M)$ , т.о. для них справедливы выражения (1), (2). Кроме того, для середины и ширины  $A$  выполняются следующие свойства:

$$\begin{aligned} \ker \text{wid}(M) = O; \ker \text{mid}(M) = \text{mid}(M); \text{mid} \text{wid}(M) = \text{wid} \text{mid}(M) = O; \\ \text{mid}(A) = O \Leftrightarrow A \in M_S; \text{mid}(A) = A \Leftrightarrow A \in M_L; \\ \text{wid}(A) = O \Leftrightarrow A \in M_L; \text{wid}(A) = A \Leftrightarrow A \in M_S. \end{aligned}$$

Пусть  $M$  – конечно-порожденное квазилинейное пространство, т.е.

$$\begin{aligned} M = L(A_1, A_2, \dots, A_k) \vee \forall A \in M, \\ A = \sum_{i=1}^k (\alpha_i A_i + \beta_i (-1) A_i), \quad \alpha_i, \beta_i \geq 0. \end{aligned}$$

Тогда из теоремы 2 вытекает следующее следствие.

### СЛЕДСТВИЕ

Конечно-порожденное пространство  $M$  представляется прямой суммой конечномерных линейного и симметрического квазилинейных пространств:

$$M = L(E_1, E_2, \dots, E_l) \oplus L(B_1, B_2, \dots, B_m), \quad E_i \in M_L, \quad B_i \in M_S.$$

Построим отображение  $\theta$  симметрического пространства  $M_S$  в линейное пространство  $L$ .

### ТЕОРЕМА 3

Если векторы  $\theta(B_1), \theta(B_2), \dots, \theta(B_m)$  линейно независимы в  $L$ , тогда для любого  $A \in M$  будем иметь:

$$A = \sum_{i=1}^n \alpha_i E_i + \sum_{i=1}^m \beta_i B_i, \quad \alpha_i \in \mathbb{R}, \quad \beta_i \geq 0, \quad (5)$$

причем  $\alpha_i, \beta_i$  определяются единственным образом.

### ДОКАЗАТЕЛЬСТВО

Доказательство теоремы 3 вытекает из следствия теоремы 2 и аксиом квазилинейного пространства. Определим:

- $\{\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n, 0, 0, \dots, 0\}$  – координаты середины  $A$ ;
- $\{0, 0, \dots, 0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_m\}$  – координаты ширины  $A$ .

Из аксиом квазилинейного пространства следует, что:

$$A + C = \{\alpha_1 + c_1, \alpha_2 + c_2, \dots, \alpha_n + c_n, \beta_1 + d_1, \beta_2 + d_2, \dots, \beta_m + d_m\},$$

где  $C = \{c_1, c_2, \dots, c_n, d_1, d_2, \dots, d_m\}$ ,  $lA = \{l\alpha_1, l\alpha_2, \dots, l\alpha_n, l|\beta_1|, l|\beta_2|, \dots, l|\beta_m|\}$ .

Рассмотрим применение разложения (5) для определения операции вычитания в квазилинейном пространстве  $M$ . В работе [3] введена операция вычитания в квазилинейном пространстве  $\mathbb{R}$ . По аналогии введем операцию вычитания в квазилинейном пространстве, удовлетворяющем условиям теоремы 3.

Разностью элементов  $A$  и  $C$  в конечно-порожденном пространстве с базисом называется [3]  $E = \{e_1, e_2, \dots, e_n, f_1, f_2, \dots, f_m\}$ ,  $e_i = \alpha_i - \beta_i, i = 1(1)n, f_j = \beta_j - d_j, j = 1(1)m$ .

Для любых  $A, B \in M$  и  $\alpha \in \mathbb{R}$  очевидно верны свойства:

$$\begin{aligned} A - O = A, \quad O - A = (-1)A; \\ A - A = O, \quad (A + B) - B = A; \\ A - B = (-1)(B - A); \\ \alpha(A - B) = \alpha A - \alpha B. \end{aligned}$$

Необходимо отметить, что в квазилинейном пространстве  $\mathbb{R}$  верно

$$A \subseteq (A - B) + B \quad \forall A, B \in \mathbb{R}. \quad (6)$$

Выражение (6) верно в любом квазилинейном пространстве, для доказательства данного факта достаточно квазилинейное пространство превратить в алгебраическую систему. Таким образом, аксиомы квазилинейного пространства дополняются аксиомами включения.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рюмшин К.Ю. Анализ сигналов с корректирующим кодированием при погружении дискретной задачи в непрерывную – поиск экстремума функции непрерывного аргумента при наличии шумов / К.Ю. Рюмшин, И.Е. Зайцев, А.Ф. Крячко // Труды по материалам IX Международного симпозиума по ЭМС. – СПб.: ЛЭТИ (ЭТУ). – Спецвыпуск IEE Electronics Letters, 2011. – С. 231-237.
2. Mayer O. Algebraische und metrische structure in der Intervallrechnung und einige Anwendungen // Computing, 1970. – Vol. 5. – P. 144-162.
3. Markov S. M. A non-standard subtraction of intervals // Serdica, 1977. – Vol. 3. – P. 359-370.
4. Schroeder G. Charakterisierung des quasilinear Raumes I(R) und klassifizierung der quasilinearen Raume der Dimension 1 und 2 // Computing, 1972. – Vol. 10. – P. 111-120.

#### **Рюмшин Константин Юрьевич**

Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского, г. Санкт-Петербург

Кандидат технических наук, докторант кафедры космического радиотехнического контроля

Тел.: 8 910 261 28 96

E-mail: e8@mail.ru

---

K. Yu. RYUMSHIN (*Candidate of Engineering Science, Doctoral Candidate of the Department of Space radio control*)

*Military Space Academy named A.F. Mozhajskogo, St. Petersburg*

#### **MATHEMATICAL BASIS TRANSITION FROM NONLINEAR A QUASILINEAR SYSTEM IN AUTOMATIC CONTROL SYSTEMS PROCESSES**

*In the article the analysis of linear and quasilinear spaces is carried out and their relationship is showed. Analysis morphism of linear and quasilinear spaces is actual from the point of view of the solution of applied problems.*

**Keywords:** *model; linearization; space; linear space; quasilinear space.*

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

1. Ryumshin K.Yu. Analiz signalov s korrektyruyushhim kodirovaniem pri pogruzhennii diskretnoj zadachi v nepreryvnyuyu – poisk e'kstremuma funkicii nepreryv'nogo argumenta pri nalichii шумов / K.Yu. Ryumshin, I.E. Zajcev, A.F. Kryachko // Trudy' po materialam IX Mezhdunarodnogo simpoziuma po E'MS. – SPb.: LE'TI (E'TU). – Specvy'pusk IEE Electronics Letters, 2011. – С. 231-237.
2. Mayer O. Algebraische und metrische structure in der Intervallrechnung und einige Anwendungen // Computing, 1970. – Vol. 5. – P. 144-162.
3. Markov S. M. A non-standard subtraction of intervals // Serdica, 1977. – Vol. 3. – P. 359-370.
4. Schroeder G. Charakterisierung des quasilinear Raumes I(R) und klassifizierung der quasilinearen Raume der Dimension 1 und 2 // Computing, 1972. – Vol. 10. – P. 111-120.

## АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ FUZZY-РЕГУЛЯТОРОВ В УПРАВЛЕНИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ РЕКТИФИКАЦИИ НЕФТИ

*В данной статье авторы рассматривают эффективность применения Fuzzy-регуляторов по отношению к классическим ПИД-регуляторам в системе регулирования расхода топлива в ректификационной колонне. Применение Fuzzy-регулятора позволяет значительно упростить процесс настройки регулятора.*

**Ключевые слова:** ПИД-регулятор; нечеткий регулятор; мини-НПЗ.

### АКТУАЛЬНОСТЬ ПРОБЛЕМЫ

В настоящее время большинство технологических процессов производства автоматизируется. Не являются исключением и процессы нефтепереработки. Большое внимание в этой отрасли заслуживают вопросы автоматического управления установками ректификации нефти на мини-НПЗ.

Как правило, в современных системах автоматизации аналоговые системы управления вытесняются цифровыми. Это объясняется большими возможностями выбора оптимальных алгоритмов регулирования, что ведет к существенному увеличению быстродействия и к более высокой точности регулирования в системе.

Задача оптимальной организации процесса регулирования сложной ректификационной колонны может быть решена путем выбора оптимального регулятора в системе управления РК.

Выбор регулятора напрямую зависит от требований к технологическому процессу. При этом необходимо знать статические и динамические характеристики объекта управления, требования к точности и быстродействию процесса регулирования, а также характер возмущений, оказывающих влияние на процесс регулирования. Однако для каждой системы управления необходимо выбирать оптимальные алгоритмы и законы регулирования.

Оптимальными настройками регулятора принято считать настройки, соответствующие максимуму или минимуму какого-либо показателя качества. Эти показатели следуют непосредственно из технологического процесса. В системах управления для РК наиболее важными являются требования к динамической ошибке регулирования и степень затухания. Эти требования обусловлены большим влиянием транспортных задержек в системе управления РК при процессе ректификации.

В настоящее время на НПЗ для решения задачи регулирования широко используются классические ПИД-регуляторы. Главный недостаток – это сложность процедуры его настройки в процессе эксплуатации и, как следствие, ухудшение качества получаемого топлива.

Конечно, существуют программные продукты, позволяющие автоматизировать процесс настройки параметров классических ПИД-регуляторов. Однако в них есть существенные недостатки.

1. Объекты, с которыми может работать данное ПО, обычно не могут быть выше второго порядка инерционности с транспортным запаздыванием.

2. Для качественной работы алгоритма автоподстройки параметров ПИД-регулятора требуется достаточно четкий и продолжительный переходный процесс, что не всегда возможно в условиях непрерывного технологического процесса ректификации.

3. Необходимо обеспечить встраивание системы автоподстройки в АСУ ТП предприятия, что не всегда возможно.

С учетом этих недостатков для решения задач регулирования процесса ректификации нефти наиболее подходит регулятор на основе нечеткой логики, обладающий простым механизмом настройки и требуемым качеством регулирования.

В предыдущей статье [1] был приведен пример использования нечеткого регулятора в контуре управления расходом топлива для печи для поддержания оптимального фазового состава нагретой нефти при изменении состава «сырой» нефти, поступающей в печь.

Исследования ректификации с включенным в СУ РК нечеткого регулятора показали приемлемые результаты по степени затухания и времени регулирования, но необходимо исследовать и сравнить возможности других регуляторов для данной системы.

### СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕГУЛЯТОРОВ

Проведем сравнение контура автоматического регулирования фазового состава сырой нефти с ПИД-регулятором и Fuzzy-регулятором в цепи обратной связи. С целью упрощения сравнение будем производить при единичном ступенчатом воздействии на систему [2].

В качестве задания для данного регулятора будет величина, характеризующая перепад давления на прямом вертикальном участке трубопровода подачи нефти из печи в колонну, что фактически отражает соотношение газовой и жидкой фаз в нагретой нефти [3]. В качестве исполнительного механизма в данной системе используется клапан, расположенный на линии подачи топлива в печь, способный изменять расход топлива, тем самым оказывая влияние на температуру и, как следствие, на количество испарившихся нефтепродуктов. Также в систему введено звено чистого запаздывания, моделирующее транспортные задержки в реальной системе.

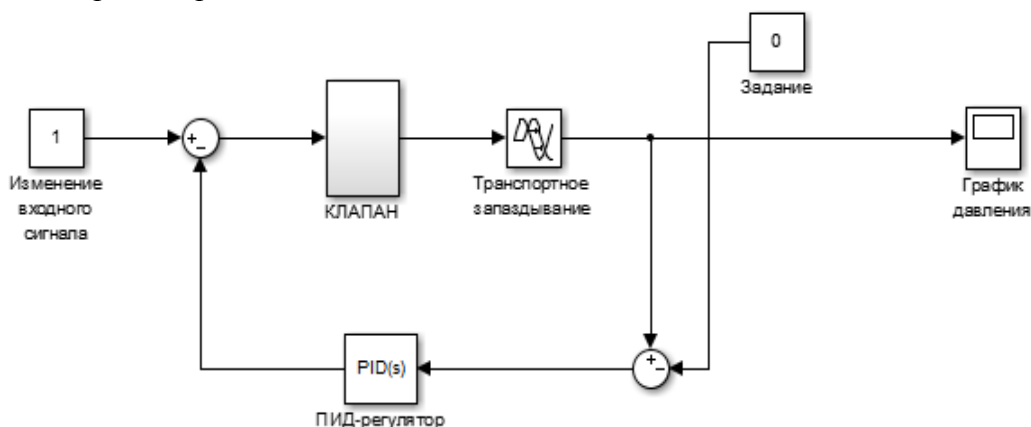


Рисунок 1 – Модель системы с ПИД-регулятором

Исследуем систему с ПИД-регулятором (рис. 1). Методом расширенных частотных характеристик получим значения пропорциональной, интегральной и дифференциальной составляющих регулятора:  $P=0.484$ ;  $I=0.632$ ;  $D=0.3$ . В данном случае график изменения перепада давления в системе имеет вид (рис. 2):

На графике показана выходная характеристика системы с ПИД-регулятором. В результате мы видим достаточно большое перерегулирование (более 10%).

Далее рассмотрим модель этой же системы, только при использовании регулятора на основе нечеткой логики (рис. 3).

Нечеткое управление удобно использовать при недостаточном знании самого объекта управления, но при наличии большого опыта управления им, а также в нелинейных системах, идентификация которых очень трудоемка. Математическая модель ректификационной колонны содержит большое количество эмпирических коэффициентов, изменяющихся в широком диапазоне и вызывающих большие затруднения при

идентификации. А квалифицированный оператор достаточно хорошо управляет такими объектами, пользуясь показаниями приборов и накопленным опытом.

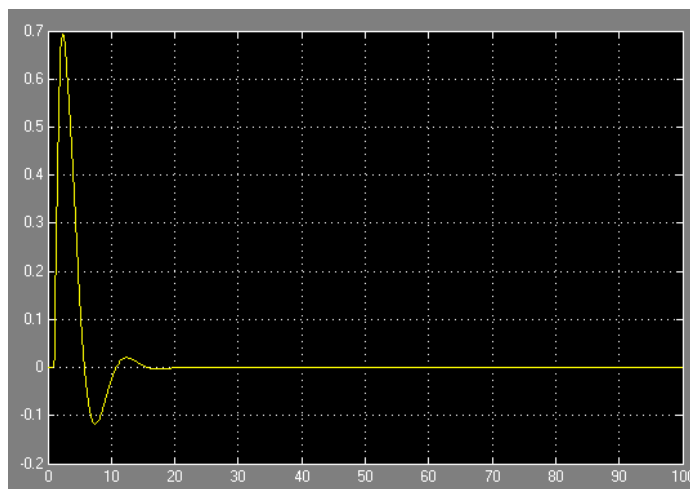


Рисунок 2 – График давления для системы с ПИД-регулятором

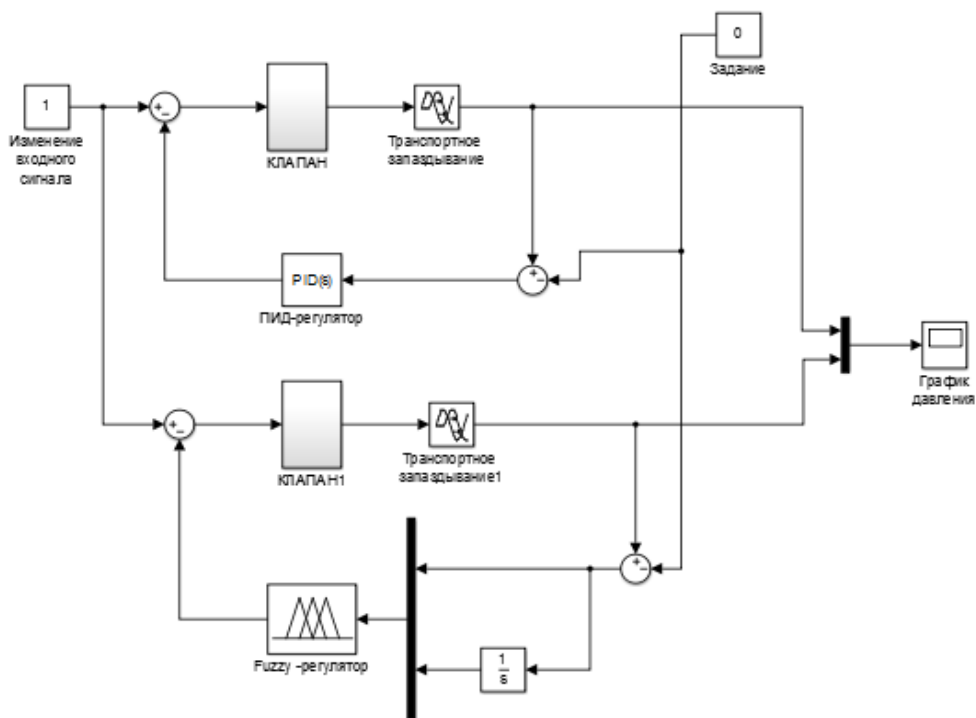


Рисунок 3 – Модель системы для сравнения регуляторов

Поскольку информация, полученная от эксперта, выражена словесно, то для ее использования в регуляторах применяют лингвистические переменные и теорию нечетких множеств.

Принцип работы Fuzzy-регулятора следующий:

1. На вход регулятора поступает ошибка и вычисляется ее производная по времени.
2. Обе величины подвергаются фаззификации – преобразуются в нечеткие переменные.
3. Полученные нечеткие переменные используются для получения управляющего воздействия на объект.
4. Данное управляющее воздействие подвергается дефаззификации – преобразуется из нечетких переменных в четкие и поступает на выход регулятора в виде управляющих сигналов.



Реализуем ПИ-закон регулирования по типу Мамдани. Входными переменными будут являться пропорциональная и интегральная составляющие (рис. 4). Диапазон входных переменных выберем симметричными, причем  $X1=[-1/P;1/P]$  и  $X2=[-1/I;1/I]$ . Диапазон выходной переменной выберем  $Y=[0;2]$ , чтобы получить оптимальное соотношение между величиной динамической ошибки, времени регулирования и количеством колебаний.

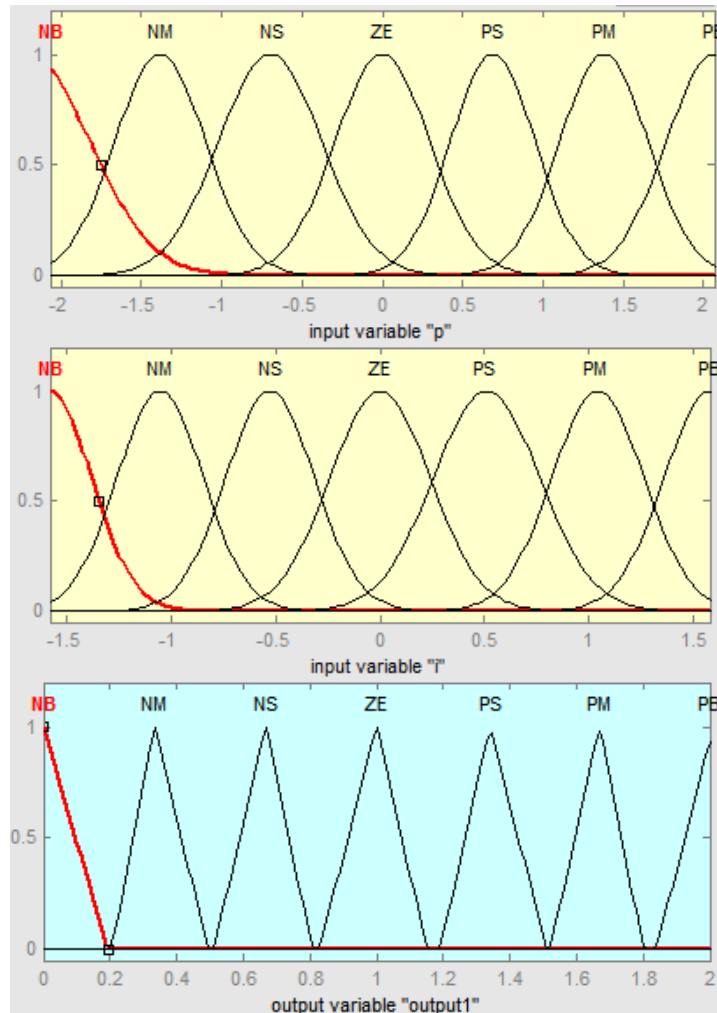


Рисунок 4 – Переменные ПИ-подобного Fuzzy-регулятора

Лингвистические правила для данного регулятора выберем таким образом, чтобы регулятор по поведению был эквивалентен ПИ-регулятору.

Для выполнения функции регулирования над нечеткими переменными должны быть выполнены операции, построенные на основании высказываний оператора, сформулированные в виде нечетких правил. На основании имеющихся экспертных данных составлена таблица лингвистических правил работы регулятора, реализующего алгоритм работы, эквивалентный ПИ-регулятору.

Совокупность нечетких правил и нечетких переменных используется для осуществления нечеткого логического вывода, результатом которого является управляющее воздействие на объект управления.

Графики для системы с ПИД-регулятором и Fuzzy-регулятором представлены на рисунке 5.

Таблица 1 – Лингвистические правила ПИ-подобного Fuzzy-регулятора

	NB	NM	NS	ZE	PS	PM	PB
NB	NB	NB	NB	NB	NM	NS	ZE
NM	NB	NB	NB	NM	NS	ZE	PS
NS	NB	NB	NM	NS	ZE	PS	PM
ZE	NB	NM	NS	ZE	PS	PM	PB
PS	NM	NS	ZE	PS	PM	PB	PB
PM	NS	ZE	PS	PM	PB	PB	PB
PB	ZE	PS	PM	PB	PB	PB	PB

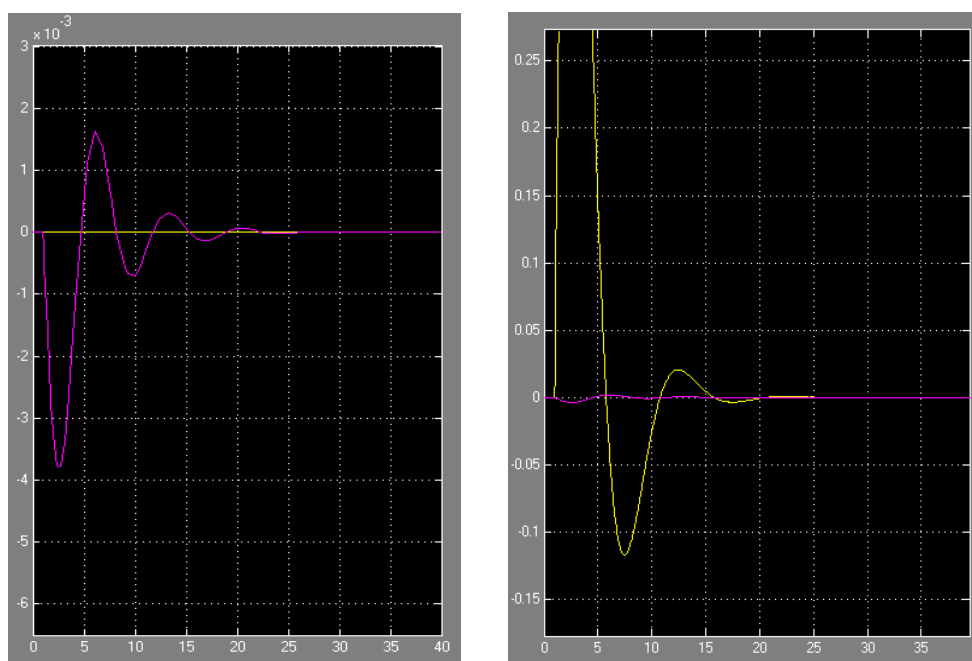


Рисунок 5 – Графики перепада давления для систем с ПИД-регулятором и ПИ-подобным Fuzzy-регулятором

На графиках наглядно показано, что у системы с Fuzzy-регулятором число колебаний несколько больше, но динамическая ошибка существенно уменьшилась.

Рассмотрим Fuzzy-регулятор с дифференциальной составляющей для реализации ПИД-закона регулирования (рис. 6). Однако стоит отметить, что на практике реализация нечеткого ПИД-регулятора вызывает достаточно большие трудности. Они связаны с тем, что экспертных данных, как правило, недостаточно для того, чтобы заполнить трехмерную таблицу лингвистических правил регулятора. В рамках данного эксперимента дополним регулятор еще одной входной лингвистической переменной (дифференциальной составляющей) с тремя термами, а также добавим два терма к выходной переменной (рис. 7):

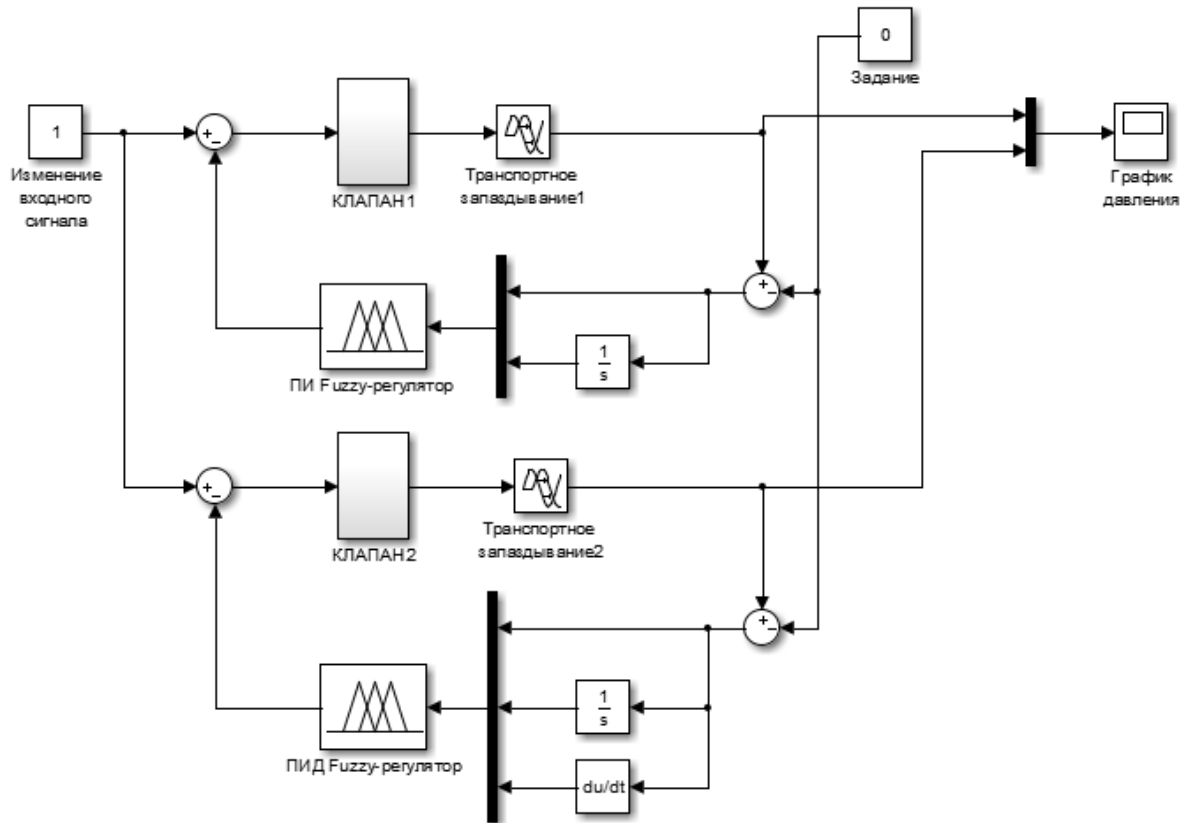


Рисунок 6 – Модель сравнения Fuzzy-регуляторов

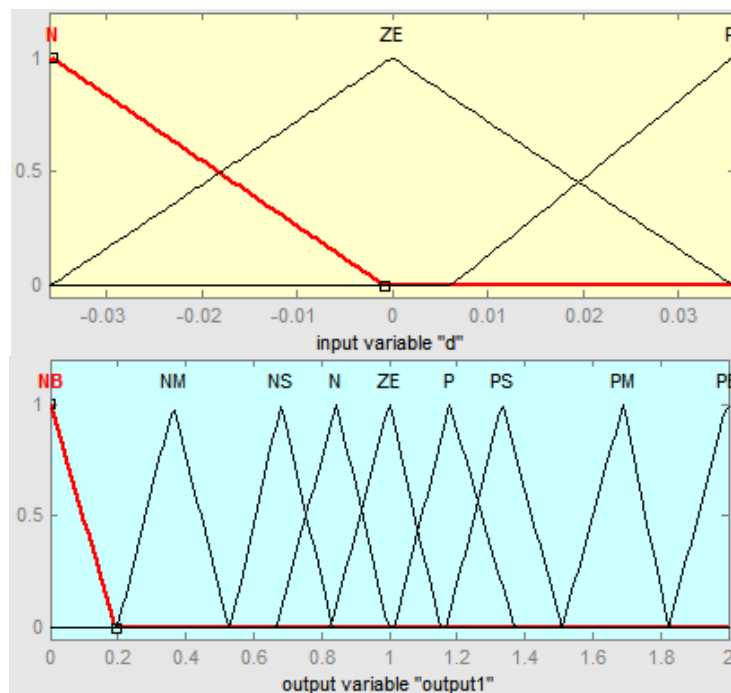


Рисунок 7 – Дифференциальная и выходная переменные ПИД-подобного Fuzzy-регулятора

Список лингвистических правил дополним следующими правилами:

IF ( $x_3=N$ ) THEN ( $y=N$ )

IF ( $x_3=ZE$ ) THEN ( $y=ZE$ )

IF ( $x_3=P$ ) THEN ( $y=P$ )

Методом подбора произведем более точную настройку Д-составляющей.

Наличие Д-составляющей уменьшило динамическую ошибку системы, однако число колебаний увеличилось для ПИД-регулятора (рис. 8).

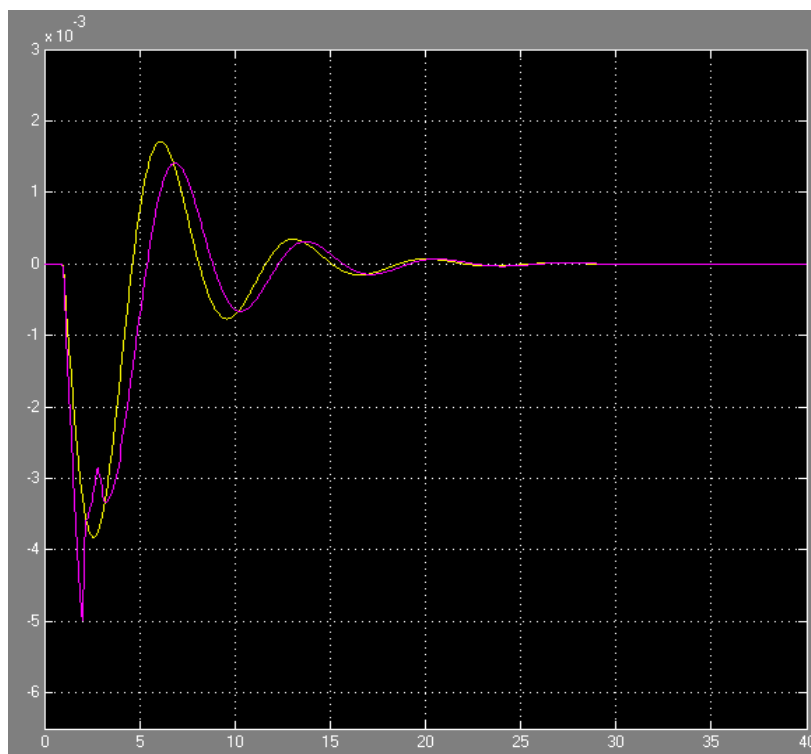


Рисунок 8 – Графики давления для ПИ- и ПИД-подобного Fuzzy-регулятора

При технологическом процессе ректификации существует такой вид запаздывания, который называется транспортным. Наличие транспортного запаздывания в технологическом процессе приводит к тому, что сигнал на выходе объекта в течение некоторого времени после применения входного сигнала остается неизменным.

Транспортное запаздывание в рассматриваемом контуре регулирования связано с тем, что в ректификационной колонне сырая нефть перемещается с определенной скоростью через печь. По конструктивным соображениям, датчик перепада давления не может находиться непосредственно в печи, нагревающей нефть, а только на выходе из печи, на прямом вертикальном участке трубопровода в РК колонну. Вследствие этого выходная величина объекта – перепад давлений – имеет транспортное или «чистое» запаздывание относительно регулирующего воздействия – степени открытия регулирующего клапана подачи топлива в печь [4].

На основании проведенного эксперимента можно сделать вывод, что для систем с большим транспортным запаздыванием более эффективно использовать ПИД-регулятор, однако следует иметь в виду, что необходимо точно подбирать диапазон дифференциальной составляющей, что в противном случае может привести к худшим показателям, чем у ПИ-регулятора. Также необходимо учесть, что наличие шумов в канале измерения в случае ПИД-регулятора приводит к возникновению случайных колебаний управляющего сигнала, что увеличивает ошибку регулирования и, как следствие, износ исполнительных механизмов.

В настоящее время нечеткая логика может применяться не только в качестве замены ПИД-регулятора, но и для подстройки его коэффициентов. Настройка регуляторов методами Зиглера-Никольса, CHR не является оптимальной и может быть улучшена с помощью автоматической подстройки с помощью блока нечеткой логики. Fuzzy-подстройка позволяет уменьшить перерегулирование и снизить время установления значения.

Большой интерес также представляет использование в качестве регулятора в данном технологическом процессе искусственных нейронных сетей. Они так же, как и нечеткая логика, могут использоваться как для замены, так и для построения блока подстройки коэффициентов ПИД-регулятора. В отличие от нечеткого регулятора, где необходимо формулировать правила настройки в лингвистических переменных на основе экспертных данных, при использовании нейронной сети эксперту достаточно самому несколько раз настроить регулятор, а система сама произведет настройку таблиц нейронной сети.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лобанова В.А., Фокин М.А., Борисов О.М. Модель нечеткого регулятора расхода топлива в ректификационной колонне // Информационные системы и технологии, 2013. – № 5. – С. 45-53.
2. Котляров Р.В. Исследование систем автоматического управления, классическую-одноконтурную, а также интеллектуальную с fuzzy-регулятором [Электронный ресурс]. – URL: <http://matlab.exponenta.ru/simulink/book3/6.php>.
3. Патент 2096064 РФ, МПК6 B01D3/42. Способ автоматического регулирования процесса ректификации нефти в сложной колонне / С.И. Глинчак, Ю.А. Егоров, Л.М. Шиб, В.А. Борисов, В.П. Соколов, С.А. Сидоров // Производственное объединение «Горькнефтеоргсинтез». – № 93006597/25; заяв. 30.02.1993; опубл. 20.11.1997.
4. Громов Ю.Ю. Системы автоматического управления с запаздыванием: учеб. пособие / Громов Ю.Ю., Земской Н.А., Лагутин А.В., Иванова О.Г., Тютюнник В.М.. – Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2007. – 76 с.

#### Фокин Михаил Александрович

ФГБОУ ВПО «Госунiversитет-УНПК», г. Орел

Аспирант, ассистент кафедры «Электроника, вычислительная техника и информационная безопасность»

Тел.: 8 (4862) 45-57-57

E-mail: Litaliano13@yandex.ru

M.A. FOKIN (*Post-graduate Student, Assistant Professor of the Department  
«Electronics, Computer Science and Information Security»  
State University – ESPC, Orel*)

### ANALYSIS OF THE FUZZY CONTROLLERS EFFECTIVENESS IN THE MANAGEMENT OF THE TECHNOLOGICAL PROCESS OF OIL RECTIFICATION

*In the article authors consider an efficiency of use of Fuzzy-regulators in relation to classical PID-controllers in a control system of fuel consumption in a distillation column. Application of the Fuzzy-logic controller allows to simplify process of setup of the controller considerably.*

**Keywords:** *PID-controller; fuzzy-logic controller; mini oil refinery.*

### BIBLIOGRAPHY (TRANSLITERATED)

1. Lobanova V.A., Fokin M.A., Borisov O.M. Model' nechyotkogo regul'yatora rasxoda topliva v rektifikacionnoj kolonne // Informacionny'e sistemy' i tehnologii, 2013. – № 5. – S. 45-53.
2. Kotlyarov R.V. Issledovanie sistem avtomaticheskogo upravleniya, klassicheskuyu-odnokonturnuyu, a takzhe intellektual'nyuyu s fuzzy-regulyatorom [E'lektronny'j resurs]. – URL: <http://matlab.exponenta.ru/simulink/book3/6.php>.
3. Patent 2096064 RF, MPK6 B01D3/42. Sposob avtomaticheskogo regulirovaniya processa rektifikacii nefi v slozhnoj kolonne / S.I. Glinchak, Yu.A. Egorov, L.M. Shib, V.A. Borisov, V.P. Sokolov, S.A. Sidorov // Proizvodstvennoe ob''edinenie «Gor'knefteorgsintez». – № 93006597/25; zayav. 30.02.1993; opubl. 20.11.1997.
4. Gromov Yu.Yu. Sistemy' avtomaticheskogo upravleniya s zapazdy'vaniem: ucheb. posobie / Gromov Yu.Yu., Zemskoj N.A., Lagutin A.V., Ivanova O.G., Tyutyunnik V.M.. – Tambov: Izd-vo Tamb. gos. texn. un-ta, 2007. – 76 s.

УДК 004.454, 621.3.078.4

А.С. СИОРА

## ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННО-ДИАГНОСТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА «СПЕКТР-ИДК»

*Рассмотрен вопрос проектирования и разработки программного обеспечения информационно-диагностического комплекса для определения концентрации фоновых примесей в полупроводниковом кремнии. Представлена структурная схема аппаратной составляющей измерительного комплекса, определены ее функциональные части и управляющие узлы. Разработана двухуровневая архитектура программного обеспечения и соответствующая компьютерная программа верхнего уровня для управления комплексом «Спектр-ИДК».*

**Ключевые слова:** программное обеспечение; полупроводниковый кремний; фоновые примеси; архитектура; алгоритм; интерфейс; LabView.

### ВВЕДЕНИЕ

На сегодня полупроводниковый кремний остается основным материалом микроэлектроники, силовой преобразовательной техники и производства фотоэлектрических преобразователей. Больше 80% монокристаллов кремния получают при выращивании по методу Чохральского (Cz-Si), во время которого кремний загрязняется фоновыми примесями (атомами кислорода и углерода), значительно ухудшающими его структурные и электрофизические параметры. Для измерения концентрации фоновых примесей в полупроводниковом кремнии используют один образец, вырезанный из нижней части слитка. В тех случаях, когда необходимо оценить радиальное распределение примеси, измеряют концентрацию в трех положениях: в центре пластины и на ее краях. Данные модели (с одним измерением или с тремя) в большинстве случаев удовлетворяют требованиям серийного производства. Для исследовательских задач, которые возникают при отработке новых технологических процессов, например, выращивании слитков «солнечного поликремния» из раствора-расплава легкоплавкого металла, эти модели не позволяют получить достаточную информацию о распределении фоновой примеси по поперечному сечению слитка.

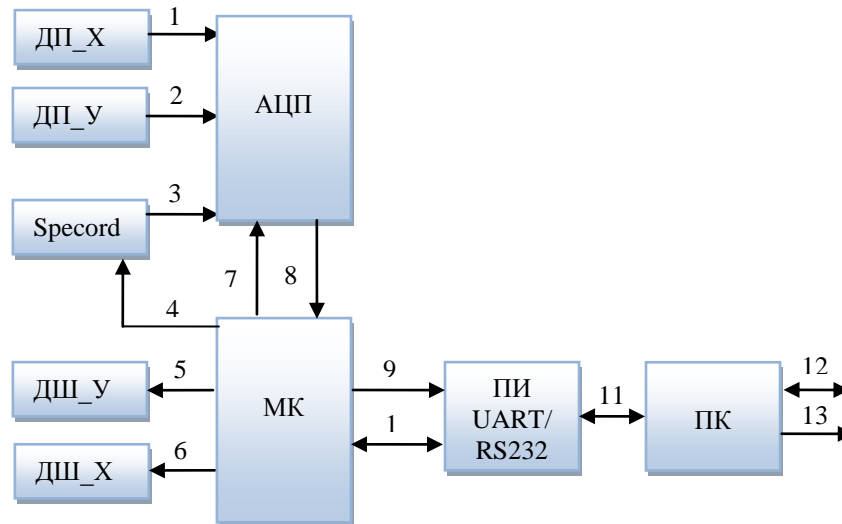
В работах [1, 2] был разработан информационно-диагностический комплекс «Спектр-ИДК», который позволяет исследовать концентрацию примесей углерода и кислорода, а также ее радиальное распределение в полупроводниковой пластине. Данный комплекс основан на двулучевом спектрофотометре Specord 75IR, а для определения концентрации примеси использует дифференциальный оптический метод.

В научных исследованиях нередко возникает проблема определения распределения концентрации фоновых примесей по поверхности полупроводниковой пластины. Для решения этой задачи отдельной единицей в составе комплекса «Спектр-ИДК» был разработан специальный сканатор, который обеспечивает перемещение исследуемого образца в плоскости XOY с шагом 1 мм. Данное устройство обеспечивает большое число возможных моделей сканирования, в том числе однопроходную, многопроходную и полную.

Целью данной статьи является повышение точности определения и картины распределения примесей в кремнии путем разработки специализированного программного обеспечения и информационно-диагностического комплекса «Спектр-ИДК». Программное обеспечение должно обеспечить взаимодействие всех составных аппаратных частей комплекса, удобный пользовательский интерфейс, визуализацию и сохранение полученных данных во внешнюю базу данных для дальнейшей обработки.

## ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ

Для проектирования программного обеспечения необходимо рассмотреть структурную схему комплекса «Спектр-ИДК» (рис. 1), определить его функциональные части и управляющие узлы, на которые может быть возложено выполнение программы. На обобщенной структурной схеме мы видим два управляющих узла: микроконтроллер (МК) и персональный компьютер (ЭВМ). Соответственно, необходимо разработать двухуровневое программное обеспечение с интерфейсом между этими уровнями.



**Рисунок 1 – Обобщенная структурная схема информационно-диагностического комплекса «Спектр-ИДК»,**

где ДП\_Х – датчик положения на оси 0X; ДП\_У – датчик положения на оси 0У; Specord – спектрофотометр; ДШ\_У – шаговый двигатель на оси 0У; ДШ\_Х – шаговый двигатель на оси 0X; АЦП – аналогово-цифровой преобразователь; МК – микроконтроллер; ПИ – преобразователь интерфейсов; ПК – персональный компьютер

Нижний уровень управления обеспечивает микроконтроллер (МК), основные функции которого состоят в считывании информации с аналогово-цифрового преобразователя (АЦП), а также в формировании управляющих воздействий на АЦП (начало/окончание преобразования, выбор канала), спектрофотометр и шаговые двигатели. Верхний уровень представлен ПК, функции которого состоят в отображении интерфейса оператора и ведении базы данных. Для обмена информацией между верхним и нижним уровнем используется преобразователь интерфейсов (ПИ, микросхема MAX232), которым управляет МК. Под управлением здесь понимается установка состояния прием/передача на преобразователе интерфейсов. Микроконтроллер принимает и обрабатывает команды, а также формирует и передает данные на соответствующие запросы ЭВМ. Полный перечень использованных сигналов нижнего и верхнего уровня программного обеспечения представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Используемые сигналы программного обеспечения комплекса «Спектр-ИДК»

Обозн.	Назначение
<b>НИЖНИЙ УРОВЕНЬ</b>	
1	Аналоговый сигнал с датчика перемещения по оси 0X
2	Аналоговый сигнал с датчика перемещения по оси 0У
3	Аналоговый сигнал со спектрофотометра
4	Управляющие сигналы на спектрофотометр (диапазон, запуск и т.д.)

5	Управляющий сигнал на шаговый двигатель оси OY (кол-во шагов)
6	Управляющий сигнал на шаговый двигатель оси OX (кол-во шагов)
7	Управляющий сигнал на АЦП (выбор канала, начало преобразования)
8	Оцифрованные данные с датчиков перемещения и массив со Specord
9	Цифровой сигнал управления режимом приема/передачи
10	Передающиеся данные (интерфейс UART)
<b>ВЕРХНИЙ УРОВЕНЬ</b>	
11	Передающиеся данные (интерфейс RS232)
12	Программный интерфейс оператора
13	Программный интерфейс базы данных

Архитектура разработанного программного обеспечения «Спектр-ИДК» представлена на рисунке 2. Нижний уровень реализован программным кодом на языке C (Spectr.c) и его машинной трансляцией (Spectr.hex). Верхний уровень – это компьютерная программа, созданная на языке LabView [3] с использованием внешних dll-библиотек. Данная программа состоит из трех подчиненных форм, предназначенных для авторизации (StartVI), ввода параметров (ParametersVI) и непосредственно измерения концентрации примеси в образце (MeasurementsVI).

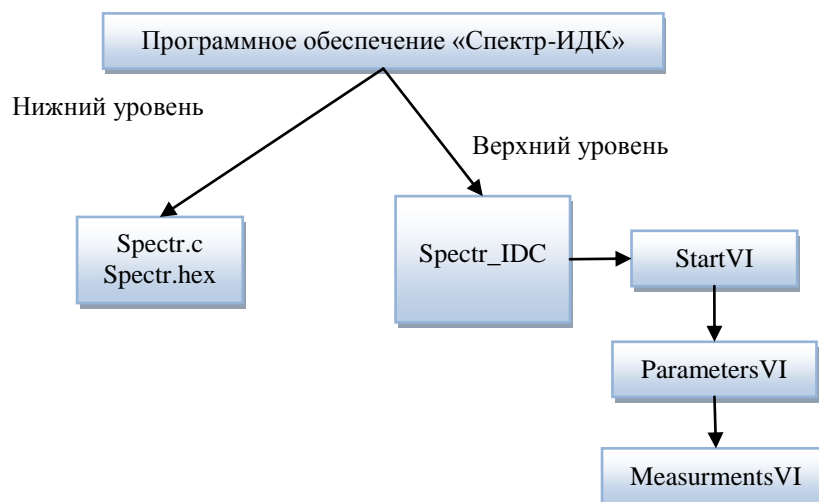


Рисунок 2 – Архитектура программного обеспечения «Спектр-ИДК»

Форма StartVI состоит из трех текстовых полей для ввода ФИО оператора, идентификационного номера исследуемой полупроводниковой пластины и пароля доступа к программе соответственно. При помощи открывающегося списка оператор может выбрать режим работы комплекса: измерение концентрации примеси углерода (Nc) или измерение концентрации примеси кислорода (No).

Если указанные элементы интерфейса были заполнены корректно, при нажатии кнопки «ОК» происходит вызов следующей формы «ParametersVI», которая является промежуточной и предназначена для настройки параметров процесса сканирования. После установки всех необходимых параметров и нажатия кнопки «Next» происходит загрузка основного интерфейса программы (рис. 3).

При помощи панели управления размещенной в верхней части формы происходит управление работой информационно-диагностическим комплексом «Спектр-ИДК», начинается, приостанавливается и полностью прекращается процесс измерения, перемещается пластина в спектрофотометре на предыдущую или следующую точку измерения. При этом в поле «2D picture» отображается размещение текущей точки измерения. Вычисление концентрации примеси в пластине кремния осуществляется при помощи цифровой обработки спектра пропускания методом сканирования [4]. Результаты



измерения представлены в табличном и графическом виде. При выборе в начале работы многопроходной модели сканирования графический индикатор для отображения результатов автоматически заменяется на 3D индикатор, на котором видно распределение концентрации примеси по всей поверхности пластины.

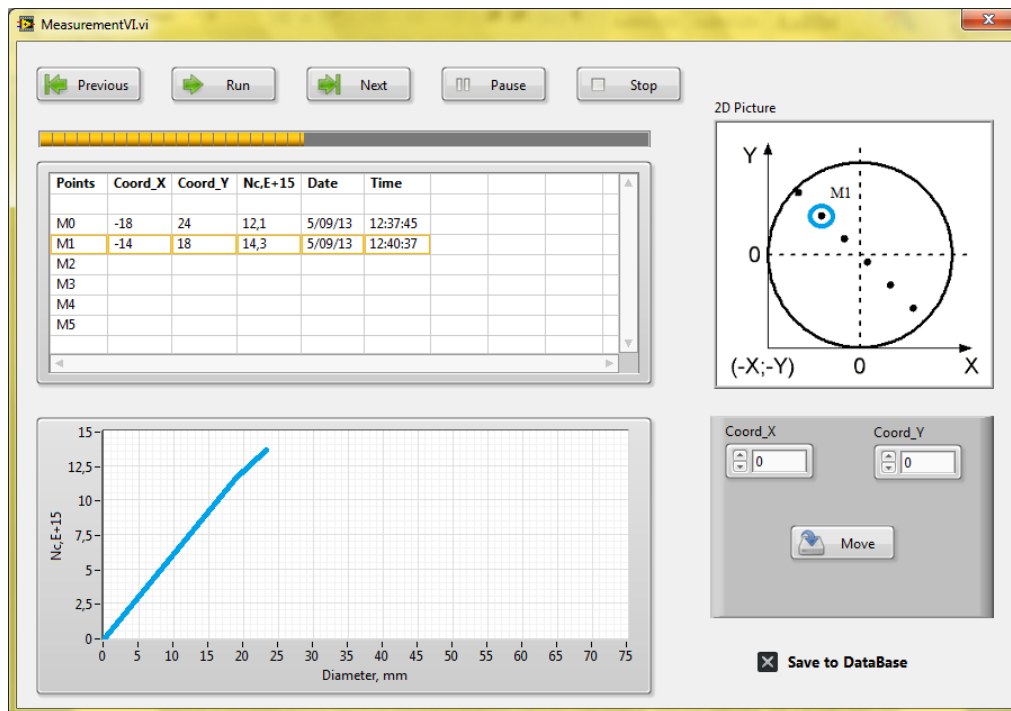


Рисунок 3 – Основной интерфейс программы

В правом нижнем углу расположен модуль ручного перемещения сканатора на указанные координаты, который в автоматическом режиме неактивен. Результаты работы программы могут быть сохранены во внешней базе данных (\*.mdb), структура которой представляет собой одну таблицу, аналогичную соответствующему индикатору на форме MeasurementVI.

Алгоритм функционирования программного обеспечения приведен в приложении.

При помощи разработанного информационно-диагностического комплекса и соответствующего программного обеспечения было проведено экспериментальное исследование радиального распределения примеси углерода в кремниевой пластине диаметром 75 мм, выращенной по методу Чохральского, с шагом сканирования 1мм. Результаты сканирования представлены на рисунке 4.

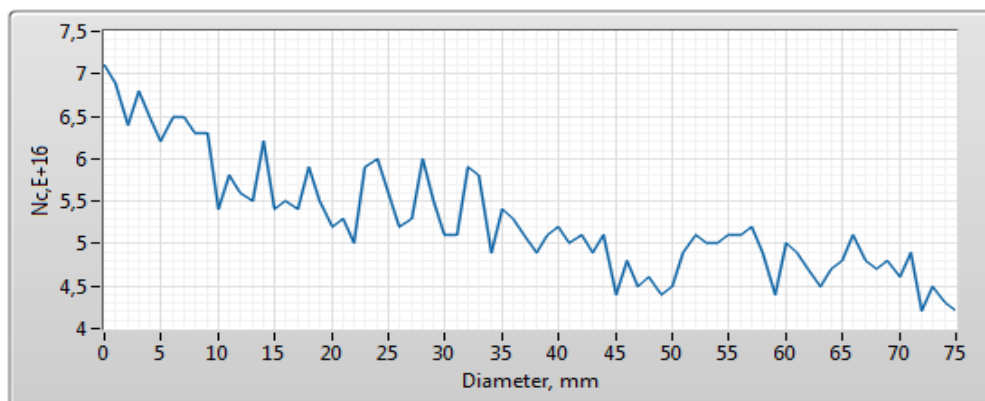


Рисунок 4 – Экспериментальные данные радиального распределения концентрации углерода в пластине кремния

## ВЫВОДЫ

Определены функциональные и управляющие узлы информационно-диагностического комплекса «Спектр-ИДК». Выбрана архитектура и разработано программное обеспечение комплекса, которое обеспечивает взаимодействие всех аппаратных составляющих, интерактивный интерфейс пользователя, визуализацию результатов в виде 2D-изображения и их сохранение во внешнюю базу данных. Доступные режимы управления позволяют реализовать большое количество моделей сканирования с минимальным шагом по каждой оси, равным 1 мм. Было проведено экспериментальное исследование распределения примеси углерода в пластине кремния по однопроходной диаметральной модели с шагом 1 мм. Полученные результаты свидетельствуют о случайном характере распределения примеси углерода, что связано с колебаниями скорости роста кристалла в процессе выращивания.

Разработанное программное обеспечение позволяет удовлетворить большинство требований научного экспериментального исследования концентрации фоновых примесей и получить полную картину распределения примесей по поверхности пластины.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сиора О.С. Розробка апаратного і програмного забезпечення інформаційно-діагностичного комплексу «Спектр-ІДК» / О.С. Сиора, Є.В. Мирошниченко, Є.В. Богданов // Нові технології. Науковий вісник КУЕІТУ, 2011. – № 3(33). – С. 49-55.
2. Сиора О.С., Богданов Є.І. Удосконалення апаратних засобів контролю концентрації фонових домішок в пластинках Cz-Si // X Міжнародна науково-технічна конференція «Фізичні процеси та поля технічних та біологічних об'єктів». КДПУ ім. М.Остроградського, Кременчук, 2011. – Тези доповідей. – 156 с.
3. Блюм П. LabView стиль программирования: пер. с англ.; под ред. Михеева П. – М.: ДМК Пресс, 2008. – 400 с.
4. Оксанич А.П. Цифровая обработка спектра пропускания как средство повышения точности измерения концентрации углерода в пластинках кремния / А.П. Оксанич, В.Р. Петренко, С.Э. Притчин, А.С. Сиора // Складні системи і процеси, 2008. – № 2(14). – С. 96 -102.

**Сиора Александр Сергеевич**

ГП «Украинский научно-исследовательский институт вагоностроения», г. Кременчук

Инженер

E-mail: alexandrsiora@gmail.com

---

A.S. SIORA (*Engineer*)

*State Enterprise «Ukrainian Research Van-building Institute», Kremenchug*

## SOFTWARE FOR INFORMATION DIAGNOSTIC COMPLEX «SPECTRUM-IDC»

*In the article designing and developing software for information and diagnostic complex determining the concentration of background impurities in semiconductor silicon are discussed. The block diagram of hardware component measuring complex presented, defined its functional parts and control nodes. Besides, the two-level software architecture and the computer program for top-level management of the complex "Spectrum-IDC" are developed.*

**Keywords:** *software; semiconductor silicon; background impurities; architecture; algorithm, interface; LabView.*

## BIBLIOGRAPHY (TRANSLITERATED)

1. Siora O.S. Rozrobka aпаратного і програмного забезпечення інформаційно-діагностичного комплексу «Спектр-ІДК» / O.S. Siora, C.V. Miroshnichenko, C.V. Bogdanov // Novi tehnologii. Naukovij visnik KUEITU, 2011. – № 3(33). – S. 49-55.
2. Siora O.S., Bogdanov C.I. Udoskonalennya aпаратnix zasobiv kontrolyu koncentracii fonovix domishok v plastinax Cz-Si // X Mizhnarodna naukovo-texnichna konferenciya «Fizichni procesi ta polya texnichnix ta

- biologichnix ob'ektiv». KDPU im. M.Ostrograds'kogo, Kremenchuk, 2011. – Tezi dopovidej. – 156 s.
3. Blyum P. LabView stil' programmirovaniya: per. s angl.; pod red. Mixeeva P. – M.: DMK Press, 2008. – 400 s.
  4. Oksanich A.P. Cifrovaya obrabotka spektra propuskaniya kak sredstvo povy'sheniya tochnosti izmereniya koncentracii ugleroda v plastinax kremniya / A.P. Oksanich, V.R. Petrenko, S.E'. Pritchyn, A.S. Siora // Skladni sistemi i procesi, 2008. – № 2(14). – S. 96 -102.

А.В. ГРАЧЁВ, Т.М. КИСЕЛЁВА, А.С. ДОБРЫНИН, Р.С. КОЙНОВ

## О МЕТОДЕ ВЫБОРА ПРОМЕЖУТОЧНЫХ УЗЛОВ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ ДЛЯ МАРШРУТИЗАЦИИ В ИЕРАРХИЧЕСКИХ СЕТЯХ РАЗНОЙ ТОПОЛОГИИ

*Предложены метод определения промежуточного узла в сетях с разной топологией для задачи маршрутизации и способ оценивания используемого канала связи. Применяется ряд критериев, охватывающих параметры, описывающих работу сети в условиях ограниченного присутствия администратора, а также историю использования узла (сегмента).*

**Ключевые слова:** сети связи; узлы связи; маршрутизация; топология сети; передача данных.

### ВВЕДЕНИЕ

В современных сетях условным управляющим узлом является узел-инициатор передачи данных [1]. На основе определенных протоколов он формирует канал передачи данных и он же следит за их доставкой (если такая возможность предусмотрена протоколом). Однако наличие задач, в которых необходима не только передача, но и контроль над получением данных, не позволяет исключить управляющий узел из числа задействованных в передаче соединений. Тогда, чтобы сократить количество сервисного трафика, необходимо сократить часть функций узла контроля, оставив ему самое необходимое.

### СОВРЕМЕННАЯ ПРОБЛЕМАТИКА

Задачу освобождения основного управляющего узла от части сервисных функций можно рассматривать как комплексный подход, состоящий из выявления в объеме подчиненных узлов точек, являющихся транспортными узлами для большого количества маршрутов, и метода рассмотрения обнаруженных узлов как потенциальных кандидатов на делегирование им части транспортных функций.

В качестве исходного состояния принимается, что сеть имеет открытую инфраструктуру как на физическом уровне<sup>1</sup> (количество узлов в сети непостоянно и может изменяться от нуля до некоторого значения  $N$ ), так и канальном уровне – сеть может состоять из нескольких сегментов с разными топологиями. Например, сочетать в себе традиционную локальную вычислительную сеть на основе протоколов TCP/IP и через шлюзы быть соединенной с сегментом мобильной сети или с сегментом производственной линии, состоящей из узкоспециализированных устройств [2].

Также принимаются исходные условия, при которых присутствие администратора сети на постоянной основе невозможно, как и невозможна предварительная оценка состояния разных сегментов сети. Структурная схема этого процесса представлена на рисунке 1.

В идеальных условиях параметры сети заранее известны. Это, как правило, данные о скоростных характеристиках сети (компьютерные сети) или данные об оборудовании. Но развитие сетей разного назначения рано или поздно приведет к ситуации, когда возникнет необходимость, комбинируя сети разных физических условий и топологий, произвести передачу данных. В таких условиях не следует рассчитывать, что данные о состоянии сети будут заранее известны. И маршрутизатору придется прокладывать маршрут, имея в наличии только сам канал связи. Еще одним ограничением является отсутствие администратора,

<sup>1</sup> Подразумевается сетевая модель OSI (англ. open systems interconnection basic reference model — базовая эталонная модель взаимодействия открытых систем, сокр. ЭМВОС; 1978 г) // URL: [http://ru.wikipedia.org/wiki/Сетевая\\_модель\\_OSI](http://ru.wikipedia.org/wiki/Сетевая_модель_OSI) (дата обращения: 21.03.2014).

способного задать параметры работы и организации. Тогда сети требуется самоорганизация в условиях неопределенности. И необходимыми критериями, определяющими качество узла, будут такие критерии, которые возможно оценить и измерить.

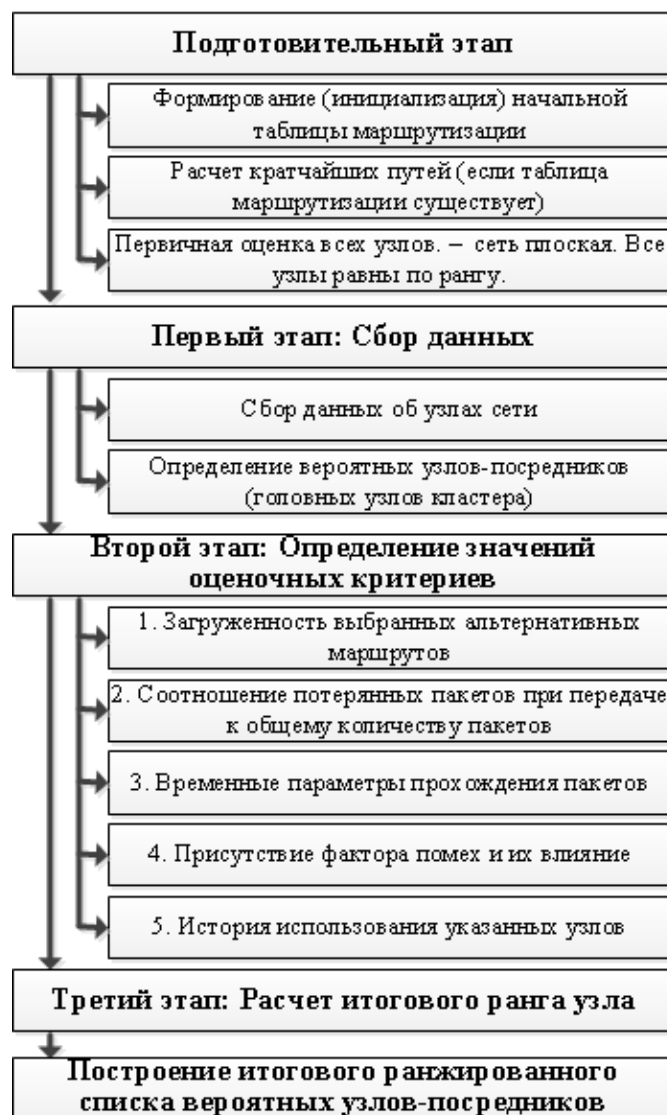


Рисунок 1 – Структурная схема процесса ранжирования узлов

Не менее важной задачей является самоорганизация сети, когда участие командного узла невозможно. Схема работы алгоритма представлена на рисунке 2.

### МЕТОД РАНЖИРОВАНИЯ ИСПОЛЬЗУЕМЫХ УЗЛОВ СЕТЕВОЙ СТРУКТУРЫ

На этапе выявления потенциальных промежуточных транспортных узлов стоит обратить внимание на методику определения так называемых «малых миров». Выбор головного узла определенного сегмента сети является основной проблемой для алгоритма, отвечающего за построение маршрута. Выделение необходимого узла на первоначальном этапе после инициации сети следует производить по результатам накопленной статистики. Когда сеть инициализирована, то необходимых данных для адаптивной маршрутизации еще не собрано. Поэтому в данном случае сеть опирается исключительно на свою структуру. При этом все узлы имеют исторический ранг 1 ( $S_{истр} = 1$ ).

Дальнейшая работа сетевой структуры в зависимости от выбранного протокола формирует начальную таблицу маршрутизации. При этом, поскольку ни один из узлов еще не был назначен узлом-посредником, то у всех узлов на первоначальном этапе ранг посредника равен нулю ( $Q_{поср} = 0$ ).



Рисунок 2 – Схема работы алгоритма самоорганизации сети

Следует различать ранг исторической оценки и ранг посредника. Ранг исторической оценки показывает, насколько узел хорошо себя проявил в прошлых эпизодах работы в составе сети, при этом неважно, был ли он узлом-посредником или обычным узлом. Исходя из того, что некоторые протоколы имеют возможность сохранять таблицу маршрутизации на время выключения питания, в момент инициализации сети узел получает ранг 1, т.е. он активен и готов принимать и передавать данные. Если же данный узел фигурирует в сохраненной ранее таблице маршрутизации, но на новом этапе работы сети он не доступен, то ему присваивается ранг 0, соответственно, при последующем обновлении таблицы маршрутизации этот узел в построении маршрутов не используется.

Топология искусственной нейронной сети, используемая в модели оценки маршрута через узел, состоит из пяти элементов на входе и из одного элемента на выходе. На рисунке 3 приведена модель с использованием обучаемой нейронной сети. Параметры  $x_1, x_2, x_3, x_4, x_5$  зависят от оцениваемого сегмента сети. Они обязательно учитывают и физическую составляющую, и типы пользовательских данных, и историю использования (надежности).

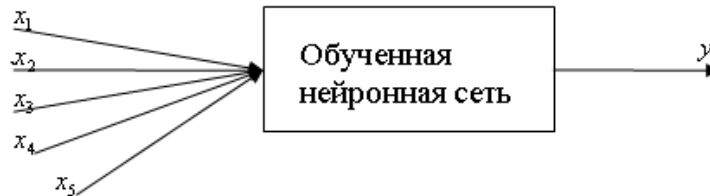


Рисунок 3 – Модель оценки маршрута

В качестве первой переменной  $x_1$  предлагается использовать загруженность выбранных альтернативных маршрутов, взятых в промежутке от узла-посредника до конечного узла-получателя. Их оценку следует производить с учетом пропускной способности и загруженности канала. Соотношение для вычисления имеет вид:

$$Qr = \frac{S(1+P)}{C}, \quad (1)$$

где  $Qr$  – оценка маршрута;  $S$  – максимальная скорость среды передачи на промежутке;  $P$  – постоянная загруженность канала в долях процентов;  $C$  – средняя скорость передачи на канале.

Следующий параметр  $x_2$ , который был выбран для оценивания предложенного сегмента – это соотношение потерянных пакетов при передаче к общему количеству пакетов. Сети со стопроцентной проводимостью редки. Чаще всего любой из сегментов сети имеет определенный процент потерянных пакетов. Причем при каждом цикле передачи количество потерянных пакетов может меняться. Для того, чтобы оценить работу сегмента, следует провести анализ потерь при его работе. Исходные данные для анализа можно получить, используя анализатор трафика, программный продукт для накопления и статистической обработки трафика на заданном сегменте. Самые известные программные продукты в данной области – Wireshark, tcpdump.

Третьей переменной  $x_3$  является временная характеристика. Временные затраты на передачу пакета данных являются одним из самых показательных. Данные о временных параметрах прохождения пакетов являются частью сетевых протоколов и для их получения достаточно использовать уже упоминавшиеся выше программные комплексы – Wireshark, tcpdump.

Четвертой характеристикой  $x_4$  предлагается считать наличие «агрессивного фактора» в сегменте. В современных условиях наличие агрессивного фактора обретает все большее значение. Поэтому, по мнению авторов, для успешного применения адаптивной маршрутизации необходимо учитывать наличие «агрессивного фактора». Под агрессивным фактором следует понимать любое противодействие процессу передачи данных и препятствие нормальной работе сети. Процесс оценки «агрессивного фактора» сложен, так как почти не имеет численных показателей, пригодных для расчетов. Поэтому для оценки сегмента с наличием в нем активного противодействия предлагается применять аппарат нечеткой логики [3]. Это позволит оценить доступную ширину канала для передачи разных типов данных.

Последней переменной  $x_5$ , необходимой для принятия решения, следует считать опыт использования канал в прошлые циклы передачи данных. Опыт работы выделенного сегмента может оказать существенное воздействие на оценку всего сегмента. Так, информация о прошлых циклах использования сегмента несет в себе данные о непосредственной работе.

В качестве такой переменной может выступать численный показатель, зависящий от количества узлов в сегменте, количества предыдущих циклов и количества отказов. Формула имеет вид:

$$Q = \frac{N * P}{q}, \quad (2)$$

где  $Q$  – численный показатель надежности канала;  $N$  – число узлов в выделенном сегменте;  $P$  – количество предыдущих циклов;  $q$  – количество отказов в предыдущих циклах.

Все входные и выходные данные имеют численные значения, следовательно, необходимость в кодировании входных и выходных параметров отсутствует. Тем не менее, величины были выбраны по принципу обеспечения наибольшего количества факторов, влияющих на работоспособность канала связи в условиях его интенсивного использования, поэтому входные и выходные переменные вполне могут иметь разнородные значения. Так как модель описывает разные характеристики, то и результаты ее работы не должны зависеть от применяемых данных. Поэтому для повышения эффективности модели следует привести предобработку данных, приводящую их к единому масштабу.

### ПРИМЕР ОБРАБОТКИ СЕГМЕНТА СЕТЕВОЙ СТРУКТУРЫ

Пример обработки сегмента сетевой структуры для выделения узлов посредников приведен на рисунке 4. Выборка взята для сегмента из ста произвольных узлов обычной локальной сети. Обработка произведена с помощью программного продукта Statistika Neural Networks и собственного макроса Microsoft Excel.

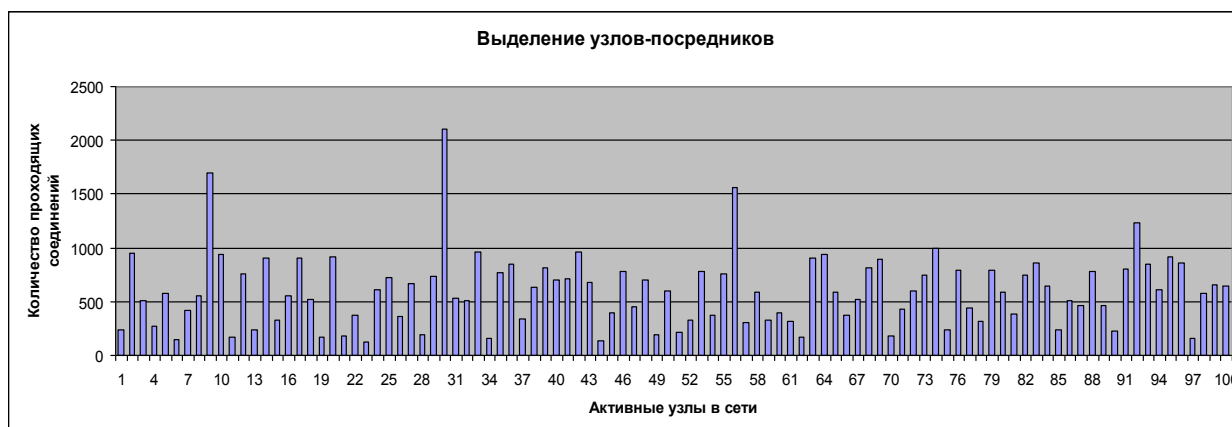


Рисунок 4 – Выделение узлов посредников

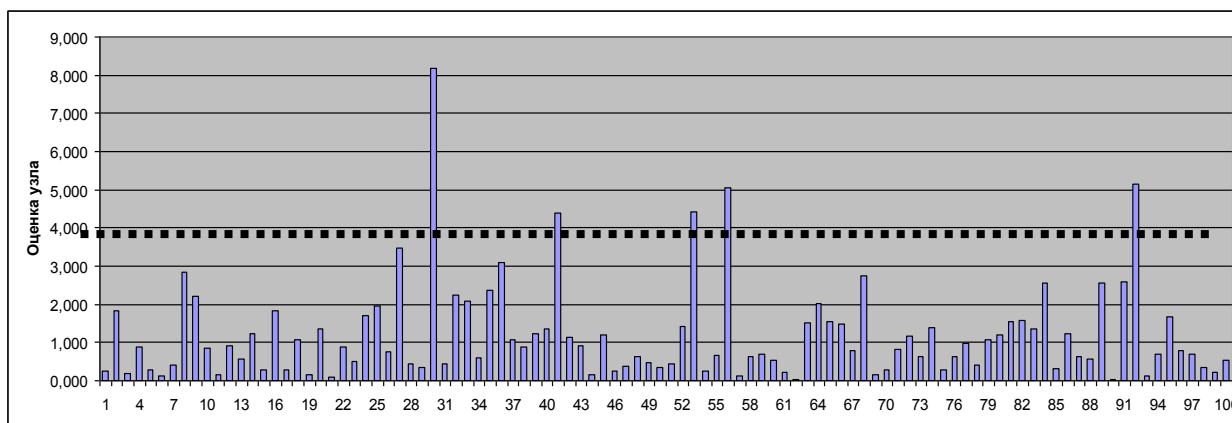


Рисунок 5 – Результат конечного оценивания выбранных узлов



Исходя из полученных данных, можно говорить о существовании в сети узлов, способных взять на себя задачи локального узла-посредника. Данные узлы соответствуют пикам выше среднего значения на рисунке 5 (выше пунктирной линии). Таким образом, мы наблюдаем, что 5 узлов соответствуют этому критерию, что даже избыточно для данного сегмента из ста узлов.

### **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Задача выбора узла маршрутизации является первым шагом для алгоритма, обеспечивающего гибкий подход к составлению маршрутов в условиях быстроменяющейся ситуации в процессе передачи данных. Сети, в которых участвуют узлы разной вычислительной мощности и разного прикладного значения, уже являются обычным делом. Поэтому решение задачи управления и маршрутизации должно опираться на факторы, учитывающие свойства таких сетей.

Таким образом, предложенный метод является одним из вариантов применения способов оценки для решения задачи оптимизации передачи значительного объема данных в глобальных вычислительных сетях. В результате получаем увеличение скорости передачи данных и повышение отказоустойчивости систем передачи в целом.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Сводная статистика по мировым точкам обмена трафиком (Москва) [Электронный ресурс]. – URL: [https://prefix.pch.net/applications/ixpdir/detail.php?exchange\\_point\\_id=191](https://prefix.pch.net/applications/ixpdir/detail.php?exchange_point_id=191).
2. Тимофеев А.В. Адаптивное управление и многоагентная обработка информационных потоков в интегрированных телекоммуникационных сетях // Труды СПИИРАН, 2006. – Том 3. – С. 62-70.
3. Заде Л. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений – М.: Изд. Мир, 1976. – 168 с.

#### **Грачев Александр Викторович**

Сибирский государственный индустриальный университет (СибГИУ), г. Новокузнецк  
Старший преподаватель кафедры систем информатики и программирования  
Тел.: 8 (3843) 46-35-02  
E-mail: ansel@zaoproxy.ru

#### **Киселева Тамара Васильевна**

Сибирский государственный индустриальный университет (СибГИУ), г. Новокузнецк  
Доктор технических наук, профессор, заведующая кафедрой систем информатики и программирования  
Тел.: 8 (3843) 46-35-02  
E-mail: kis@siu.sibsiu.ru

#### **Добрынин Алексей Сергеевич**

Сибирский государственный индустриальный университет (СибГИУ), г. Новокузнецк  
Старший преподаватель, заведующий лабораторией кафедры автоматизации и информационных систем  
Тел.: 8 (3843) 78-43-76  
E-mail: serpentfly@mail.ru

#### **Койнов Роман Сергеевич**

Сибирский государственный индустриальный университет (СибГИУ), г. Новокузнецк  
Старший преподаватель, заведующий сектором кафедры автоматизации и информационных систем  
Тел.: 8 (3843) 78-43-76  
E-mail: koynov\_rs@mail.ru

---

A.V. GRACHYoV (*Senior Teacher of the Department of Informatics Systems and Programming*)

T.V. KISELYOVA (*Doctor of Engineering Science, Professor, Head of the Department of Informatics Systems and Programming*)

A.S. DOBRY'NIN (*Senior Teacher, Head of the Laboratory of the Department of Automation and Information Systems*)

R.S. KOJNOV (*Senior Teacher, Head of Sector of the Department of Automation and Information Systems*)  
*Siberian State Industrial University (SibSIU), Novokuzneck*

**THE METHOD OF SELECTION OF INTERMEDIATE NODES FOR ROUTING DATA IN  
HIERARCHICAL NETWORKS WITH DIFFERENT TOPOLOGIES**

*In the article the method for determining the intermediate node in networks with different topologies for the routing problem and the estimation method of the used communication channel are proposed. A variety of criteria covering the parameters describing the network in a limited presence administrator as well as a history of using node (segment) is using.*

**Keywords:** *network; communication nodes; routing; network topology; data transmission.*

**BIBLIOGRAPHY (TRANSLITERATED)**

1. Svodnaya statistika po mirovy'm tochkam obmena trafikom (Moskva) [E'lektronny'j resurs]. – URL: [https://prefix.pch.net/applications/ixpdir/detail.php?exchange\\_point\\_id=191](https://prefix.pch.net/applications/ixpdir/detail.php?exchange_point_id=191).
2. Timofeev A.V. Adaptivnoe upravlenie i mnogoagentnaya obrabotka informacionny'x potokov v integrirovanny'x telekommunikacionny'x setyax // Trudy' SPIIRAN, 2006. –Tom 3. – S. 62-70.
3. Zade L. Ponyatie lingvisticheskoy peremennoj i ego primenenie k prinyatiyu priblizhyonny'x reshenij – M.: Izd. Mir, 1976. – 168 s.

УДК 004.73

А.Н. ОСИПОВ

## МНОГОУРОВНЕВАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ОБМЕНА ДАННЫМИ ОПЕРАТИВНО-ДИСПЕТЧЕРСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ГАЗОТРАНСПОРТНЫМИ ПРЕДПРИЯТИЯМИ

*Предложен подход к описанию иерархической структуры процессов обмена данными оперативно-диспетчерского управления газотранспортными предприятиями, учитывающий особенности стека протоколов телекоммуникационных сетей в виде многомерного марковского процесса принятия решения.*

**Ключевые слова:** оперативно-диспетчерское управление; иерархическая система управления; межуровневые взаимодействия; марковские процессы принятия решений.

### ВВЕДЕНИЕ

Развитие газовой промышленности базируется на резком увеличении объемов добычи и транспорта газа с учетом формирования нефтегазовых комплексов в восточных регионах страны и освоения углеводородного потенциала континентального шельфа арктических морей и северных территорий России, повышении надежности Единой системы газоснабжения. Научно-технический прогресс в отрасли связан, прежде всего, с работами по автоматизации технологических процессов, совершенствованию планирования и управления процессами добычи, транспортировки, хранения и распределения газа [1].

Системы управления, включающие программно-технические средства АСУ ТП, АСУ производственно-хозяйственной деятельностью, средства автоматизации и телемеханизации технологического оборудования, средства и системы связи и передачи данных, рассматриваются как единый комплекс, все элементы которого должны функционировать взаимосвязано, образуя при должном развитии интегрированную систему управления предприятием, которая обеспечивает оптимизацию режима работы магистрального газопровода, сокращение затрат на транспорт газа, повышение надежности и эффективности работы технологического оборудования [2, 3].

Анализ мирового опыта применения спутниковой связи показал ее значительную роль в обеспечении работы крупнейших нефтегазовых и энергетических компаний мира. Перспективными направлениями использования спутниковой связи является обеспечение передачи данных в различных автоматизированных системах управления, например, с контролируемых пунктов линейной телемеханики магистральных трубопроводов, а также связь базовых станций подвижной радиосвязи вдоль магистральных трубопроводов, видеонаблюдение удаленных необслуживаемых объектов, обслуживание автомобильных заправок станций, сбор данных в системах мониторинга и диагностики [4].

### ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Алгоритмы, реализованные в стеке протоколов существующих вещательных каналов спутниковой связи, не позволяют достичь оптимальной эффективности использования ресурсов ввиду того, что заложенные в них процедуры ориентированы на использование статических моделей и детерминированных методов принятия решений, не учитывается стохастическая динамика трафика и условия распространения, не учитывается инерционность процессов измерений и принятия решений, не учитывается взаимодействие между уровнями. Совершенствованию математического и программного обеспечения задач оптимального управления функционированием и развитием газопроводных сетей и систем посвящены исследования Самойлова Р.В., Жидковой М.А., Меренкова А.П., Хасилева В.Я [5].

Необходимость анализа статистических характеристик многоуровневого процесса поступления, обработки и передачи блоков данных по стеку протоколов спутникового терминального оборудования, локальных вероятностных распределений вектора состояний процесса на отрезках времени конечной длительности (фрейма физического уровня и задержки распространения радиосигнала) с учетом выбранных стратегий управления обуславливает применение к моделированию многоуровневого процесса математического аппарата теории марковских процессов принятия решений. Работой в данном направлении занимались такие ученые, как Терентьев В.М., Жиров В.А. и др. [5, 6].

### МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОБМЕНА ДАННЫМИ ОПЕРАТИВНО-ДИСПЕТЧЕРСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ГАЗОТРАНСПОРТНЫМИ ПРЕДПРИЯТИЯМИ

Многоуровневая модель процесса обработки и передачи пакетных данных по стеку протоколов спутниковых вещательных каналов, основанная на иерархической структуре марковских процессов принятия решений с переменным горизонтом планирования, включает совокупность моделей для сетевого, МАС и физического уровня.

Статистические характеристики потоков пакетных данных удаленного абонентского терминального оборудования, соответствующих заданному классу сервиса, определяются на основе статистического анализа выборочных распределений объема пакетов и межпакетной длительности на интервалах локальной стационарности.

Статистические закономерности в динамике изменения состояния уровня приложений для интервалов локальной стационарности оцениваются вектором вероятностей и матрицей переходных вероятностей для усредненных значений интенсивности поступления пакетных данных со стационарной плотностью распределения объема пакета. Эти параметры являются входными для сетевого уровня (рис. 1).

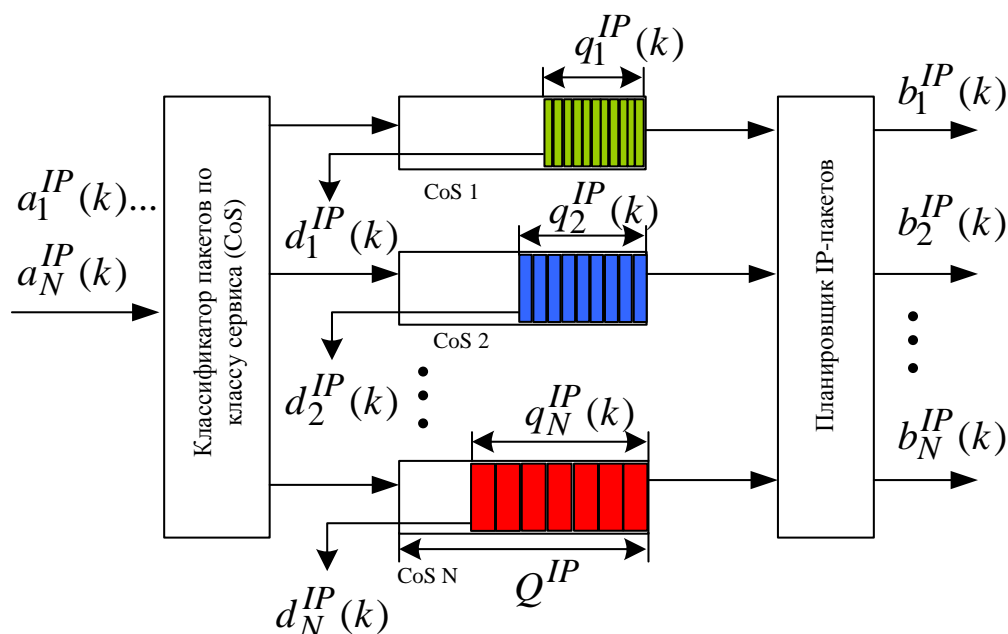


Рисунок 1 – Функциональная модель процессов обмена данными оперативно-диспетчерского управления на сетевом уровне

### СЕТЕВОЙ УРОВЕНЬ

Динамика загрузки буферных накопителей (БН) сетевого уровня с учетом его конечного объема представлена рекуррентным уравнением (1), которое определяет ожидаемое количество пакетов в очереди n-го класса сервиса к началу следующего шага управления через текущий объем очереди, ожидаемое количество поступивших пакетов (2),

переданных MAC-уровню вследствие применяемой стратегии передачи на сетевом уровне (3), а также потерянных пакетов (4):

$$q_n^{IP}(k+1) = q_n^{IP}(k) + a_n^{IP}(k+1) - b_n^{IP}(k+1) - d_n^{IP}(k+1), \quad (1)$$

где  $a_n^{IP}(k+1)$  – количество IP-пакетов  $n$ -го CoS, поступивших в БН сетевого уровня к моменту  $k+1$ ;

$$a_n^{IP}(k+1) = \lfloor \lambda_n^{IP}(k+1) \cdot T_k \rfloor, \quad (2)$$

где  $\lambda_n^{IP}(k+1)$  – интенсивность поступления IP-пакетов  $n$ -го CoS;  $T_k$  – длительность  $k+1$  шага;  $b_n^{IP}(k+1)$  – количество IP-пакетов  $n$ -го CoS, переданных из БН сетевого уровня в БН MAC-уровня к моменту  $k+1$ ;

$$b_n^{IP}(k+1) = \min(q_n^{IP}(k) + a_n^{IP}(k+1), u_n^{IP}(k)), \quad (3)$$

где  $u_n^{IP}(k)$  – потенциально возможное количество пакетов  $n$ -го CoS (вариант управления), переданных из БН сетевого уровня в БН MAC-уровня к моменту  $k+1$ ;  $d_n^{IP}(k+1)$  – количество IP-пакетов  $n$ -го CoS, потерянных вследствие переполнения БН сетевого уровня к моменту  $k+1$ ;

$$d_n^{IP}(k+1) = \max(a_n^{IP}(k+1) - (Q_n^{IP} - q_n^{IP}(k) + \min(q_n^{IP}(k) + a_n^{IP}(k+1), u_n^{IP}(k))), 0), \quad (4)$$

где  $Q_n^{IP}$  – максимальное количество IP-пакетов, помещаемых в БН сетевого уровня.

Стратегия управления, определяющая количество переданных пакетов для разных дисциплин обслуживания потоков каждого класса сервиса, определяется выражениями (5)-(7).

Стратегия передачи IP-пакетов  $n$ -го CoS при использовании таких дисциплин обслуживания очередей пакетных данных всех CoS определяется как взвешенное циклическое обслуживание очередей (Weighted Round Robin, WRR), взвешенное справедливое обслуживание очередей (Weighted Fair Queuing, WFQ), обслуживание очередей с распределением по классам (Class-Based Queuing, CBQ):

$$u_n^{IP}(k) \in \{0, q_n^{IP}(k) + a_n^{IP}(k+1)\}. \quad (5)$$

Стратегия передачи IP-пакетов  $n$ -го CoS при использовании дисциплины обслуживания очередей пакетных данных всех CoS с абсолютными приоритетами (*Priority Queuing, PQ*):

для высшего (первого) приоритета:

$$u_n^{IP}(k) = u_\Sigma^{IP}(k) - (q_n^{IP}(k) + a_n^{IP}(k+1)) \quad \forall u_\Sigma^{IP} \geq 0, \forall q_n^{IP} \geq 0, \forall a_n^{IP} \geq 0, \quad (6)$$

для остальных приоритетов:

$$u_n^{IP}(k) = u_\Sigma^{IP}(k) - \sum_{i=1}^{n-1} (q_i^{IP}(k) + a_i^{IP}(k+1)), \quad \forall u_\Sigma^{IP} \geq 0, \forall q_i^{IP} \geq 0, \forall a_i^{IP} \geq 0. \quad (7)$$

Количество потерянных пакетов вследствие превышения допустимого времени пребывания в буфере определяется выражением (8).

$$d_n^{IP}(k+1) = \max\left(q_n^{IP}(k) - \sum_{x=0}^{X_n-1} a_n^{IP}(k+1-x) - u_n^{IP}(k), 0\right), \quad (8)$$

где  $x$  – текущее нормированное время пребывания пакета в БН (текущее число шагов, в течение которых пакет находится в БН);  $X_n$  – максимальное нормированное время пребывания пакета в БН (максимальное число шагов, в течение которых пакет может находиться в БН).

Принимая под состоянием процесса обработки пакетных данных соответствующего потока на сетевом уровне заполненность буфера, определяются (9) переходные вероятности

для каждого состояния и стратегии управления, а также локальные вероятностно-временные характеристики (10), (11):

$$s_n^{IP}(k) = q_n^{IP}(k), \quad (9)$$

$$\bar{p}(s_n^{IP}(k+1)/s_n^{IP}(k), u_n^{IP}(k)) = p(a_n^{IP}(k+1)) \cdot p(u_n^{IP}(k)), \quad \forall s_n^{IP} \geq 0, \forall u_n^{IP} \geq 0, \quad (10)$$

$$\bar{P}(s_n^{IP}(k+1)) = \bar{P}^T(s_n^{IP}(k+1)/s_n^{IP}(k), u_n^{IP}(k)) \cdot \bar{P}(s_n^{IP}(k)). \quad (11)$$

Вероятностное распределение интенсивности поступления в буферный накопитель IP-уровня пакетов на текущем шаге соответствует распределению интенсивности поступающего трафика верхнего уровня.

Функции дохода/потерь на сетевом уровне определяются выражением (1), (2), при этом под доходом понимается количество переданных пакетов, а под потерями – количество буферизованных и потерянных пакетов:

$$r_n^{IP}(k) = \{b_n^{IP}(k)\}, \quad g_n^{IP}(k) = \{q_n^{IP}(k), d_n^{IP}(k)\}. \quad (12)$$

### MAC-УРОВЕНЬ

На уровне доступа к среде входными параметрами являются количество пакетов каждого класса сервиса, переданных с сетевого уровня.

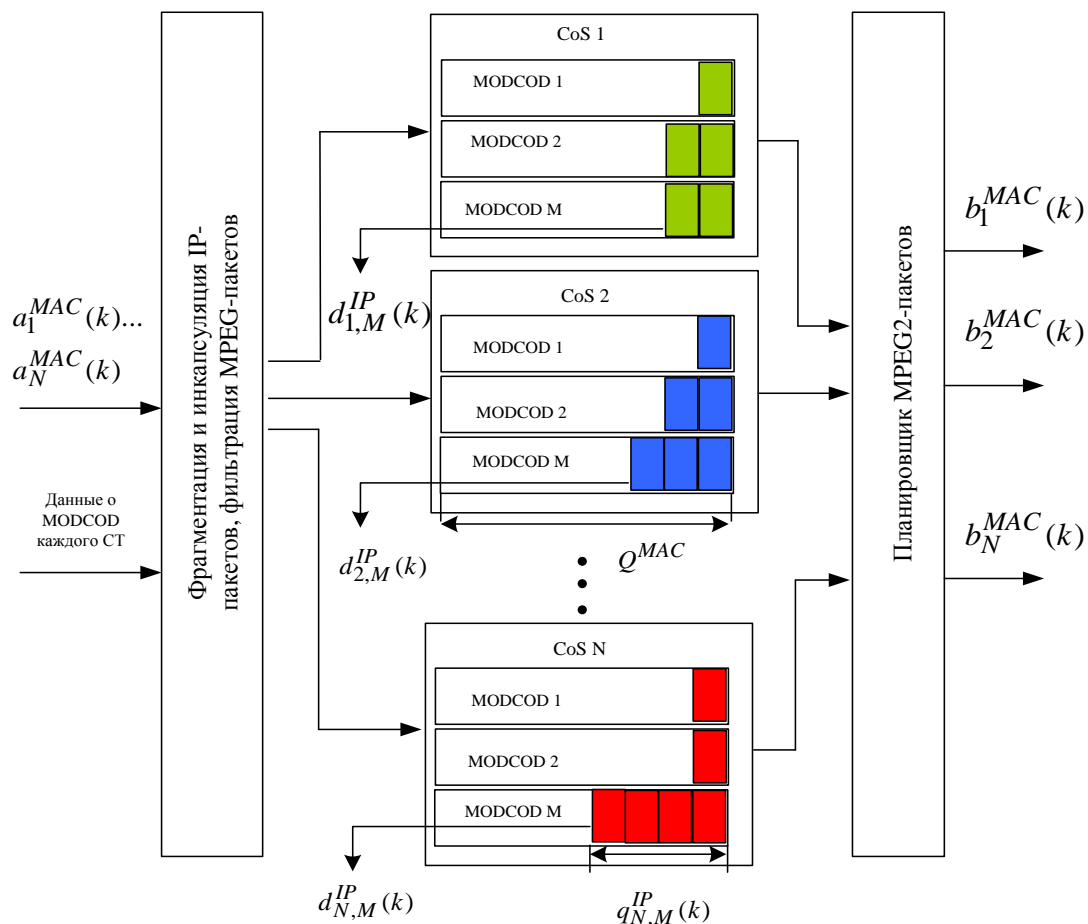


Рисунок 2 – Функциональная модель процессов буферизации данных оперативно-диспетчерского управления на MAC-уровне

На этом уровне происходит формирование MPEG-пакетов, их фильтрация по варианту кодирования и модуляции применяемому для дальнейшей передачи на физическом уровне.

Динамика загрузки каждого БН представлена следующим выражением:

$$q_{n,m}^{MAC}(k+1) = \min(q_{n,m}^{MAC}(k) + a_{n,m}^{MAC}(k+1) - b_{n,m}^{MAC}(k+1) - d_{n,m}^{MAC}(k+1), Q_n^{MAC}), \quad (13)$$

где  $Q_n^{MAC}$  – максимальное количество IP-пакетов, помещаемых в БН MAC-уровня;  $a_{n,m}^{MAC}(k+1)$  – количество IP-пакетов n-го CoS, поступивших в БН MAC-уровня к моменту  $k+1$ ;  $d_{n,m}^{IP}(k+1)$  – количество IP-пакетов n-го CoS, потерянных вследствие переполнения БН MAC-уровня к моменту  $k+1$ .

Количество поступающих, передаваемых и потерянных пакетов вследствие переполнения по входу определяются выражениями:

$$a_{n,m}^{MAC}(k+1) = b_{n,m}^{IP}(k+1), \quad (14)$$

где  $b_{n,m}^{MAC}(k+1)$  – количество IP-пакетов n-го CoS, переданных из БН MAC-уровня к моменту  $k+1$ ;

$$b_{n,m}^{MAC}(k+1) = \min(q_{n,m}^{MAC}(k), u_{n,m}^{MAC}(k)), \quad (15)$$

где  $u_{n,m}^{MAC}(k)$  – потенциально возможное количество IP-пакетов n-го CoS (вариант управления), переданных из БН MAC-уровня к моменту  $k+1$ ;

$$d_{n,m}^{MAC}(k+1) = \max(a_{n,m}^{MAC}(k+1) - (Q_n^{MAC} - q_{n,m}^{MAC}(k) + \min(q_{n,m}^{MAC}(k), u_{n,m}^{MAC}(k))), 0). \quad (16)$$

В результате фрагментации IP-пакетов на MAC-фреймы вероятностное распределение битового объема пакетов в буфере с учетом избыточности инкапсуляции определяется выражением (17), где  $L_{MPEG}$  – размер MPEG-пакета, определяющий с учетом заголовка  $H_{MPEG}$  статистическую избыточность инкапсуляции, определяемую выражением (18).

$$\bar{\eta}_{n,m}^{MAC}(k) = \left\lceil \frac{\bar{a}_{n,m}^{MAC}(k) \cdot \bar{L}_{IP-n}}{L_{MPEG}} \right\rceil \cdot \frac{(L_{MPEG} + H_{MPEG})}{a_{n,m}^{MAC}(k) \cdot \bar{L}_{IP-n}}, \quad (17)$$

$$Q_{q-n}^{MAC}(k) = \left\lceil \frac{Q_{b-n,m}^{IP}(k)}{L_{MPEG}} \right\rceil \cdot (L_{MPEG} + H_{MPEG}). \quad (18)$$

Состояние процесса обработки пакетных данных, а также функции дохода/потерь на MAC-уровне, определяются выражениями:

$$s_{n,m}^{MAC} = q_{n,m}^{MAC}, \quad (19)$$

$$r_{n,m}^{MAC}(k) = \{b_{n,m}^{MAC}(k), Q_{b-n,m}^{MAC}(k) = b_{n,m}^{MAC}(k) \bar{\eta}_{n,m}^{MAC}(k) \bar{L}_{IP-n}\}, \quad (20)$$

$$g_{n,m}^{MAC}(k) = \{q_{n,m}^{MAC}(k), d_{n,m}^{MAC}(k)\}. \quad (21)$$

Локальные вероятностно-временные характеристики процесса обработки пакетных данных на сетевом уровне определяются выражениями (22), (23).

$$\bar{p}(s_{n,m}^{MAC}(k+1)/s_{n,m}^{MAC}(k), u_{n,m}^{MAC}(k)) = p(a_{n,m}^{MAC}(k+1)) \cdot p(u_{n,m}^{MAC}(k)), \quad \forall s_{n,m}^{MAC} \geq 0, \forall u_{n,m}^{MAC} \geq 0, \quad (22)$$

$$\bar{P}(s_{n,m}^{MAC}(k+1)) = \bar{P}^T(s_{n,m}^{MAC}(k+1)/s_{n,m}^{MAC}(k), u_{n,m}^{MAC}(k)) \cdot \bar{P}(s_{n,m}^{MAC}(k)). \quad (23)$$

### ФИЗИЧЕСКИЙ УРОВЕНЬ

Состояние процесса на физическом уровне определяется соотношением сигнал/шум SNR в спутниковом канале (24), которое оценивается спутниковым терминалом на основе измерения для известной последовательности пилот-сигнала.

$$s^{PHY} = h_{\Delta t}^2 \in \{0, \bar{h}_1^2, \bar{h}_2^2, \dots, \bar{h}_{m_h}^2\}, \quad (24)$$

где  $h_{\Delta t}^2 \in \{0, \bar{h}_1^2, \bar{h}_2^2, \dots, \bar{h}_{m_h}^2\}$  – ряд средних значений отношения энергии сигнала на символ к спектральной плотности мощности за интервал  $\Delta t$ ;  $\bar{h}_{m_h}^2$  – среднее значение отношения энергии сигнала на символ к спектральной плотности мощности за интервал усреднения по состоянию  $h_{\Delta t}^2$ ;

В отличие от существующего способа, реализованного в DVB-S2, существует возможность выявлять статистические закономерности в динамике изменения условий распространения на временных интервалах и определять локальные вероятностно-временные характеристики процесса изменения SNR на физическом уровне в виде вектора вероятностей состояния  $SNR P(\bar{h}_{\Delta t}^2(k\Delta t))$  и матрицы переходных вероятностей по состояниям:

$$P(s^{PHY}(k+1)/s^{PHY}(k)) = \left\| p(\bar{h}_j^2(k\Delta t + 1) / \bar{h}_i^2(k\Delta t)) \right\|. \quad (25)$$

Стратегиями управления на физическом уровне (26) являются варианты кодирования и модуляции, выбираемые для передачи следующего фрейма, для которых прогноз SNR с учетом времени распространения сигнала будет выше порогового значения для каждого варианта кодирования и схемы модуляции (MODCOD).

$$u_i^{PHY}(k) \in \{R_i^{ldpc}, M_i\}, \quad h_{\Delta t}^2(k\Delta t + T_{rd}) \geq h_{\Delta t}^{*2}(u_i^{PHY}(k)). \quad (26)$$

Доходы на физическом уровне, являющиеся показателями частотно-энергетической эффективности вещательного канала, определяют потенциальную пропускную способность, зависящую от длительности и формата фрейма.

На следующих этапах осуществляется помехоустойчивое кодирование и модуляция в соответствии с вариантом управления [7].

В результате получаем множество состояний процесса обработки и передачи пакетных данных каждого уровня. Глобальное состояние уровней иерархической структуры процессов определяется вектором глобальных состояний, определяющих множество состояний процессов обработки и передачи пакетных данных на всех уровнях.

Уровневое управление, устанавливающее динамику переходов между состояниями процессов, направлено на повышение информационной эффективности (для MAC и сетевого уровней), частотно-энергетической эффективности (для физического уровня) и обеспечение требуемого качества обслуживания QoS для трафика поддерживаемых приложений. При этом существует множество всех управлений иерархической структуры процессов.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для рассматриваемой иерархической структуры процессов обработки и передачи пакетных данных элементы агрегированной матрицы одношаговых переходных вероятностей являются условно зависимыми по текущим состояниям и принимаемым решениям более верхних уровней.

В результате для любого вектора состояний процессов по уровням, характеризующего глобальное состояние спутникового терминального оборудования на каждом шаге, принятая управляющим вычислительным комплексом стратегия управления определяет через агрегированную матрицу переходных вероятностей динамику изменения вектора показателей качества функционирования по доходам (коэффициенту использования частотно-энергетического ресурса транспондера) и потерям средней задержки пакетов (джиттеру средней задержки), коэффициенту потерь пакетов, усредненных к величине шага.

Каждый из показателей качества функционирования можно представить как функцию Беллмана в рекуррентной форме, который включает две составляющие: непосредственный доход/потери в состоянии  $\vec{s}$ , либо на  $k$ -й шаг и средний ожидаемый доход/потери на следующем шаге.

Оптимальные значения функции доходов/потерь могут быть вычислены решением задачи динамического программирования [8].

## 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 / Мосягин М.Н., Руденко А.М., Никаноров В.В., Гармаш В.Б., Бениаминов П.Е., Фурманчук О.В. // 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. Еременко В.Т. Моделирование информационных потоков в сетях передачи данных интегрированных АСУ / В.Т. Еременко, С.И. Афонин, Т.М. Парамохина, Л.В. Кузьмина, Д.А. Плащенков // Информационные системы и технологии, 2011. – № 6. – С. 35-42.
6. Еременко В.Т. Метод проектирования сетей передачи данных, совместимых с неблокируемой маршрутизацией / В.Т. Еременко, А.И. Офицеров, С.А. Черепков // Вестник компьютерных и информационных технологий, 2012. – № 4. – С. 38-46.
7. 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.
8. Таха Х. Введение в исследование операций: в 2-х книгах. – Кн. 1.: пер. с англ. – М.: Мир, 1985. – 479 с.: ил.

**Осипов Алексей Николаевич**

Академия ФСО России, г. Орел

Преподаватель

E-mail: osipov2008@inbox.ru

A.N. OSIPOV (*Teacher*)

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

#### **MULTILEVEL MODEL OF DATA EXCHANGE PROCESS OF OPERATIVELY-DISPATCHING MANAGEMENT OF THE GAS-TRANSPORT ENTERPRISES**

*The approach to the description of hierarchical structure of processes of data exchange of operatively-dispatching management by the gas-transport enterprises, considering features of a stack of reports of telecommunication networks in the form of multidimensional Markov decision-making process is offered.*

**Keywords:** *operatively-dispatching management; hierarchical control system; inter-level interaction; Markov decision-making processes.*

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

1. Berner L.I., Nikanorov V.V. Sovremennyye trebovaniya k sistemam lineynoy telemexaniki magistral'ny'x gazoprovodov // Avtomatizatsiya, telemexanizatsiya i svyaz' v neftyanoy promy'shlennosti, 2013. – № 1. – S. 5-7.
2. Mosyagin M.N. Opy't sozdaniya integrirovannoy ASUTP gazotransportnogo predpriyatiya / Mosyagin M.N., Rudenko A.M., Nikanorov V.V., Garmash V.B., Beniaminov P.E., Furmanchuk O.V. // Nauchno-e'konomicheskij sbornik «Gazovaya promy'shlennost'». – М.: ООО «IRC Gazprom», 2010. – № 6. – S. 22-25.
3. Nosonov A.Yu., Luzin V.Yu. Korporativnaya set' peredachi danny'x Gruppy' «Gazprom» – transportnaya osnova realizatsii Strategii informatizatsii OAO «Gazprom» // Specvy'pusk zhurnala «Gazovaya promy'shlennost'» – Avtomatizatsiya proizvodstvenno-texnologicheskix processov, metrologiya i svyaz' na ob''ektax gazovoj otrasli. – М.: ООО «IRC Gazprom», 2012. – S. 34-56.
4. Muminov R.M. Kosmicheskie texnologii v sisteme upravleniya gazovoj otrasli // Nauchno-e'konomicheskij sbornik «Gazovaya promy'shlennost'». – М.: ООО «IRC Gazprom», 2009. – № 6. – S. 35-42.

5. Eryomenko V.T. Modelirovanie informacionny'x potokov v setyax peredachi danny'x integrirovanny'x ASU / V.T. Eryomenko, S.I. Afonin, T.M. Paramoxina, L.V. Kuz'mina, D.A. Plashhenkov // Informacionny'e sistemy' i tehnologii, 2011. – № 6. – S. 35-42.
6. Eryomenko V.T. Metod proektirovaniya setej peredachi danny'x, sovmestimy'x s neblokiruemoj marshrutizaciej / V.T. Eryomenko, A.I. Oficerov, S.A. Cherepkov // Vestnik komp'yuterny'x i informacionny'x tehnologij, 2012. – № 4. – S. 38-46.
7. 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.
8. Таха Х. Введение в исследование операций: в 2-х книгах. – Кн. 1.: пер. с англ. – М.: Мир, 1985. – 479 с.: ил.

УДК 621.391:519.725

ЩАГИН А.В., НАИНГ ЛИН ЗО, ВЭЙ ЯН ЛВИН, ПЬО ХЫЛАМ ХТУТ

## МЕТОДЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДОСТОВЕРНОСТИ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ В ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩИХ PLC-СЕТЯХ ПРЕДПРИЯТИЙ

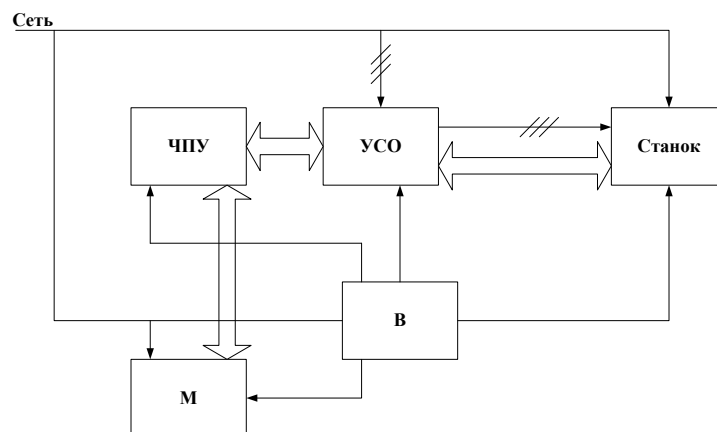
В статье рассматриваются методы обеспечения достоверности передачи информации в информационно-управляющих PLC (Power Line Communication) сетях предприятий. В первую очередь, она направлена на реализацию базовой модели связи по линии электропередачи для PLC коммуникации. Различные уровни частот отображения носителей в OFDM (QPSK, 16-QAM) были смоделированы на предложенной модели.

**Ключевые слова:** PLC (Power Line Communication); система числового программного управления; модуляция.

В настоящее время компьютерные технологии и, в частности, компьютерная связь стали неотъемлемой частью производственного процесса и жизнедеятельности человека. В статье рассматриваются методы обеспечения достоверности передачи информации в информационно-управляющих PLC (Power Line Communication) сетях предприятий.

Сейчас зачастую несколько станков с ЧПУ объединяют в автоматизированную производственную систему, которая, в свою очередь, входит в состав автоматической производственной линии, что позволяет отслеживать производственный процесс на всем его протяжении [1]. Для снижения себестоимости при организации информационной сети станки с ЧПУ для приема-передачи технологических программ и мониторинга их работы могут быть подключены к PLC сети.

Система числового программного управления (ЧПУ) – компьютеризованная система управления, управляющая приводами подач главного движения и другими системами технологического оборудования, собирая информацию с датчиков и анализируя их показания в режиме реального времени. На сегодняшний день она незаменима при производстве высокоточных деталей сложной геометрической формы и находит широчайшее применение в промышленном оборудовании [2]. Структура станка с ЧПУ приведена на рисунке 1.



**Рисунок 1 – Структура станка с ЧПУ,**

где ЧПУ= система числового программного управления; УСО= устройств сопряжения с объектом;  
М= PLC модем; В= выпрямитель

В последние годы пристальный интерес и повышенное внимание обращено к PLC-технологии с использованием модуляции OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing – мультиплексирование с ортогональным частотным разделением), использование которой

позволяет существенно увеличить пропускную способность канала связи. В первую очередь, она направлена на реализацию базовой модели связи по линии электропередачи для PLC коммуникации. Различные уровни частот отображения носителей в OFDM (QPSK, 16-QAM) были смоделированы на предложенной модели.

Существует необходимость выбрать подходящий метод передачи для приложения в качестве надежного средства коммуникации [3, 4]. Целый ряд схем модуляции может использоваться в PLC. Некоторые из них – это мультиплексирование с ортогональным частотным разделением каналов (OFDM), двоичная фазовая манипуляция (BPSK), частотная манипуляция (FSK), распространение-FSK (S-FSK) и собственные схемы (например, дифференциально-кодовая модуляция (DCSK) от Yitran). В таблице ниже BPSK, FSK, SFSK и OFDM сравниваются на основе двух важных критериев – эффективность использования полосы частот и сложность (стоимость).

Таблица 1 – Сравнение схем модуляции

СХЕМЫ МОДУЛЯЦИИ	ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОЛОСЫ ЧАСТОТ	СЛОЖНОСТЬ
BPSK	средняя	низкая
FSK	средняя	низкая
SFSK	низкая	средняя
OFDM	высокая	высокая

Элементарная схема PLC делится на три основные части: получатели, канал связи и отправители. Полученная в результате модель показана на рисунке 2. Двоичный генератор Bernoulli используется в качестве источника данных в предложенной модели. Это генератор, который создает случайные двоичные числа, согласно правилу распределения Bernoulli. В реальных системах распределение бита (отображение) может быть получено из уравнения [5]:

$$b_n = \log_2 \left( 1 + \frac{3}{\left( Q^{-1} \left( \frac{BER}{2} \right) \right)^2 \cdot SNR_n} \right), \quad (1)$$

где  $b_n$  – число битов в  $n$ -подканале,  $SNR_n$  – отношение сигнала к шуму в подканале  $n$ , где  $Q^{-1}$  определяется как:

$$Q(x) = \frac{1}{\sqrt{2 \cdot \pi}} \cdot \int_x^{\infty} e^{-\frac{y^2}{2}} dy. \quad (2)$$

Базовая PLC модель с системой OFDM показана на рисунке 2.

Кодер добавляет избыточную информацию к последовательности битов. Если имеется ошибка в цепи битов, то избыточная информация может быть использована для обнаружения и коррекции ошибок с помощью обнаружения и исправления. Схема кодирования предназначена для обнаружения и коррекции независимых ошибок. Схема не предназначена для обнаружения всех ошибок. Технологии перемежения используются для повторения всех ошибок во время передачи. Последовательную передачу данных получают из блока кодирования. Этот блок подключен к блоку отображения. В блоке отображения существует передача битов последовательности в последовательность символов. Распределение символа является результатом отображения. Это распределение показано в диаграмме, оно зависит от выбранной модуляции.

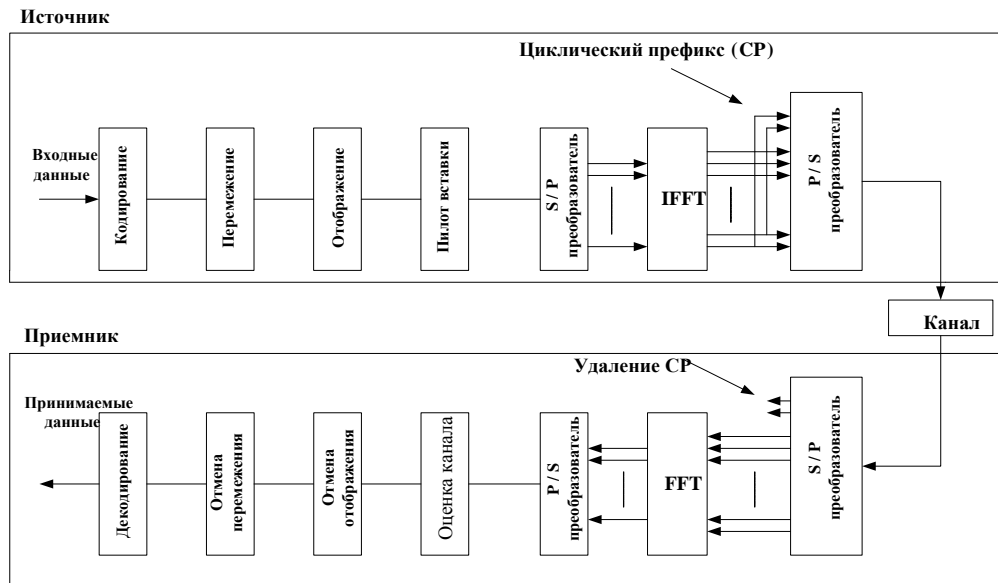


Рисунок 2 – Базовая модель PLC коммуникации с OFDM системой

Пилот-сигналы необходимы для подключения в передачу в случае обнаружения непрерывной системы. Оценка важна для определения амплитуды и фазы созвездия карты каждой из поднесущих. Оценка канала передачи в системе OFDM требует вставки известных символов или структуры пилот-сигнала в сигнал OFDM. Полезные данные передаются в параллельный поток в S/P-преобразователе. Количество параллельных потоков соответствует количеству носителей. Эти носители будут передавать полезные данные. Защитный интервал используется в OFDM для предотвращения интерференции внутреннего символа (ISI). Циклическое добавление (CP) создается с помощью нескольких последних образцов OFDM-символов.

CP создает защитный интервал между соседними переданными символами OFDM во временной области. Это способ сохранения носителей в ортогональном положении. IFFT блок передает данные от частоты во временную область. Помимо моделирования передаточной характеристики, необходимо идентифицировать возможные источники помех, потому что у линии электропередачи есть значительное затухание сигнала, различные помехи и шумы. Поэтому при передаче данных имеет высокая погрешность без алгоритма проверки. Основное влияние на передачу данных по линии электропередач – это, в основном, негативные характеристики электрических сетей [5].

Испытание различных видов модуляции и кодирования для передачи данных по линии электропередач были достигнуты на созданной модели. На рисунке 3 показано сравнение QPSK, 16-QAM, 64-QAM, 256-QAM и 1024-QAM модуляции в системе OFDM с точки зрения сравнения ошибочного бита (BER) с нормированным сигналом к шуму ( $E_b / N_0$ ).

Если мы устанавливаем нужное значение  $BER = 10^{-2}$ , то есть менее одного неисправного бита на сто от общего значения; искомое значение нормированного сигнала к шуму ( $E_b / N_0$ ) будет такое, как показано в таблице 2.

Таблица 2 – Требуемое значение нормализованного соотношения сигнал-шума для ошибок  $BER = 10^{-2}$  для конкретных модуляций

Модуляция	QPSK	16-QAM	64-QAM	256-QAM	1024-QAM
$E_b / N_0$ [dB]	5,1	9,9	14,8	19,8	24,9

Преимущество использования QAM состоит в том, что этот метод является формой более высокого порядка модуляции и в результате он способен нести больше битов информации на символ. Выбирая формат более высокого порядка QAM, можно увеличить скорость передачи данных.

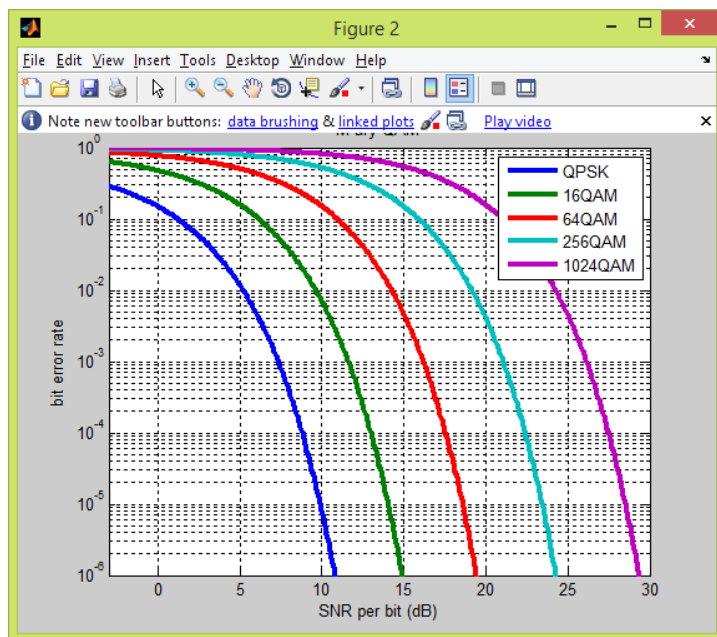


Рисунок 3 – BER-зависимость от  $(E_b / N_0)$  для конкретной модуляции в системе OFDM

Таблица 3 – Примеры скоростей битов различных форм QAM и PSK

Модуляция	Количество битов на символ	Скорость символов
BPSK	1	1 на бит
QPSK	2	1 на 2 бита
8PSK	3	1 на 3 бита
16QAM	4	1 на 4 бита
32QAM	5	1 на 5 битов
64QAM	6	1 на 6 битов

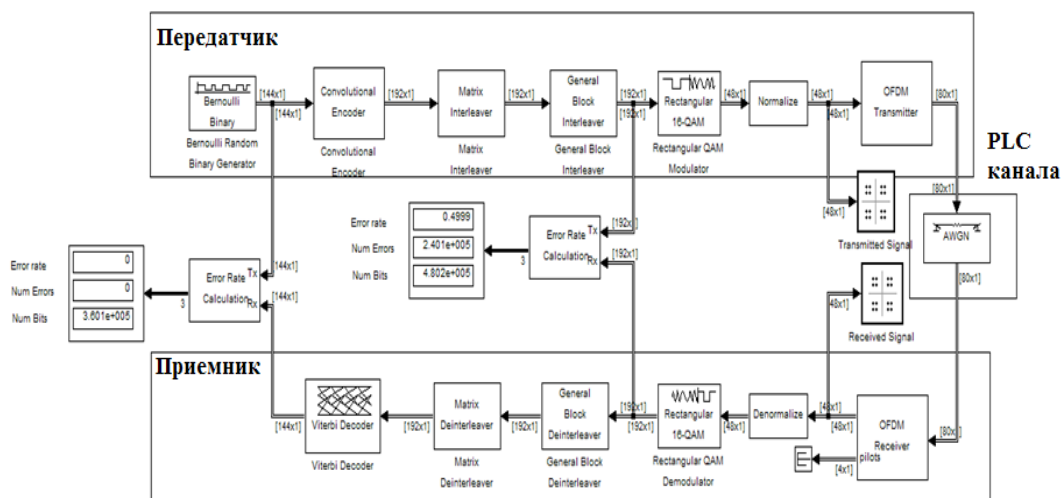


Рисунок 4 – Модель OFDM линии электропередачи с шумами в Matlab

Существует один из возможных способов просмотра эффекта интерференции, а именно – только через диаграмму созвездия. Поэтому влияние помех на символы моделируется в диаграмме созвездия для различных модуляций. В данной статье рассматривается моделирование эффекта интерференции QPSK и 16-QAM.

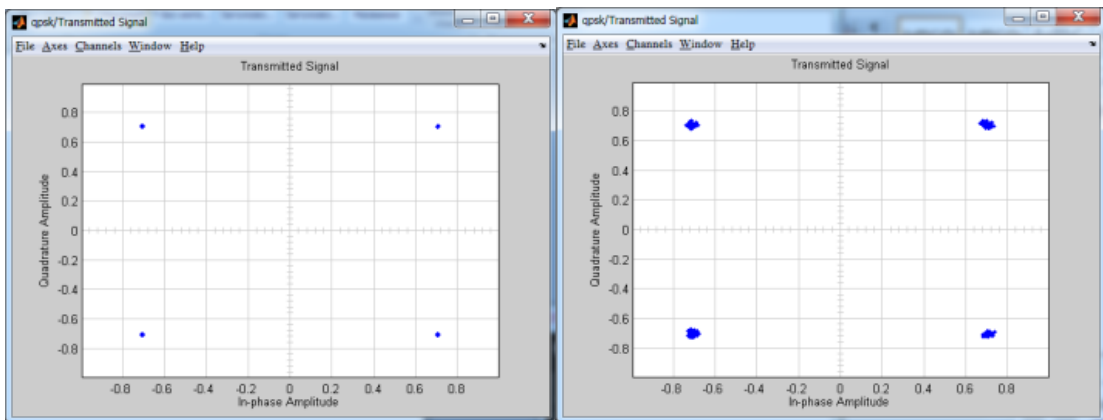
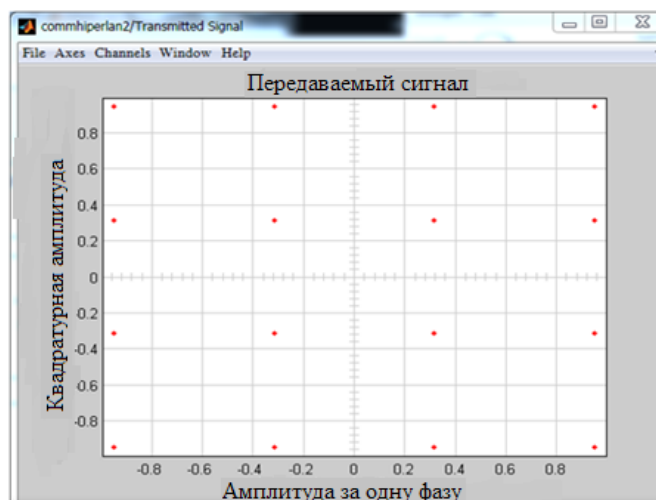
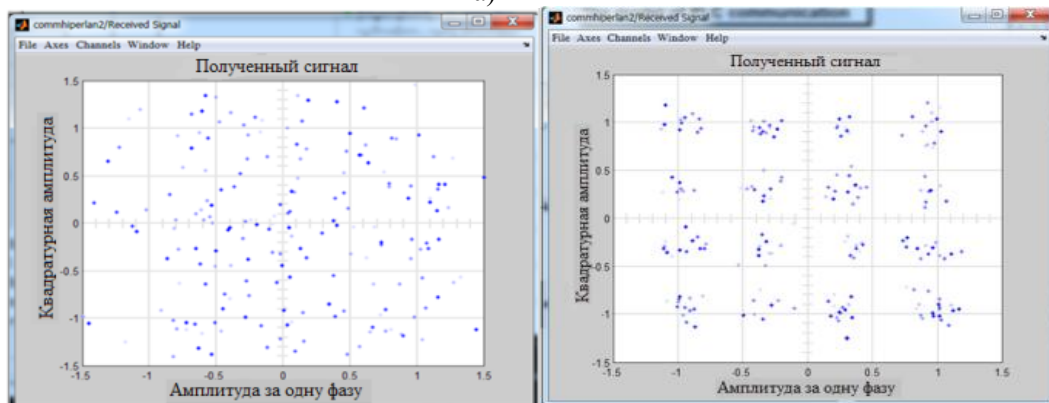


Рисунок 5 – Влияние SNR на созвездие OFDM модуляции с QPSK

Базовая схема символа в диаграмме созвездия и ее поведение для различных уровней отношения шума (SNR) показана на рисунке 5 для OFDM с QPSK модуляций. Видно, что чем больше расстояние отношения сигнал/шум (SNR) уменьшается, тем больше символы рассеяны в диаграмме созвездия. Можно увидеть, что модуляция относительно устойчива к помехам. Это связано с использованием меньшего числа состояний, которые есть у QPSK.

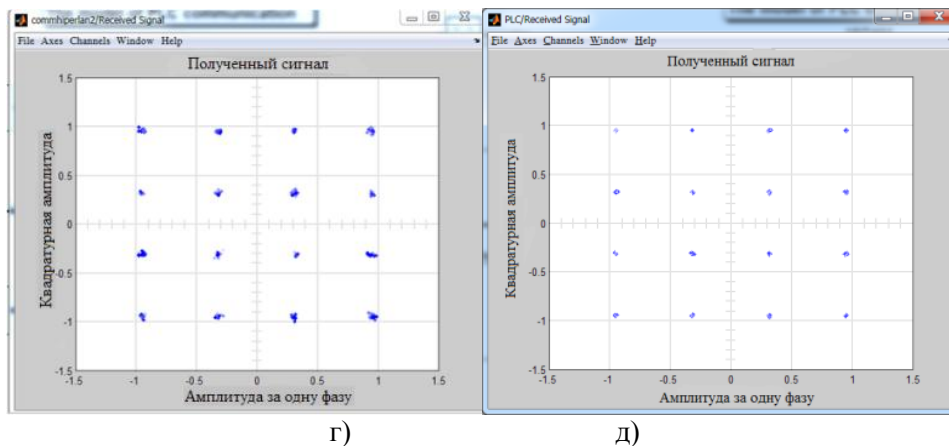


а)



б)

в)



**Рисунок 6 – Диаграмма влияния SNR на модуляцию созвездия OFDM с 16-QAM:**  
 а) схема созвездия для 16-QAM; б) ОСШ = 5 дБ; в) ОСШ = 15 дБ; г) ОСШ = 30 дБ; д) ОСШ = 40 дБ

Базовая схема символа в диаграмме созвездия и ее поведение для различных уровней отношения шума (SNR), показана на рисунке 6 для OFDM с 16-QAM. Видно, что чем больше уменьшается расстояние сигнала к отношению сигнал/шум (SNR), тем больше рассредоточены символы в диаграмме созвездия. На рисунке 6 показано, что модуляция 16-QAM очень чувствительна к помехам. Это связано с использованием большого количества состояний, которые имеет 16-QAM.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Статья посвящена методам обеспечения достоверности передачи информации в информационно-управляющих PLC сетях предприятий. Она описывает основную модель сети электропередачи для узкополосной PLC коммуникации. В предложенной модели было смоделировано влияние интерференции на перестановку символов в диаграмме созвездия. Наиболее устойчивым методом против влияния интерференции была установленная модель OFDM с QPSK и QAM. Из результатов моделирования следует, что плохой выбор модуляции и кодирования коррекции ошибок может значительно влиять на результирующий сигнал. Из результатов моделирования следует, что неправильный выбор модуляции может существенно повлиять на результирующий сигнал. PLC модель может быть использована для сравнения эффективности различных схем модуляции и для будущей стандартизации. Результаты моделирования могут быть использованы для сравнения с результатами измерений.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сосонкин В.Л., Мартинов Г.М. Система числового программного управления: учебное пособие. – М.: Логос, 2005.
2. Каштальян И.А., Клевзович В.И. Обработка на станках с числовым программным управлением. – Минск: Вышэйшн. шк., 1989.
3. Peterson L., Ziemer R.E., Borth D.E. Introduction to Spread Spectrum Communications. – NJ: Prentice-Hall, 1995.
4. Proakis J., Salehi M. Digital Communications. – New York: McGraw-Hill, 2008.
5. Anis M.I., Waqas M., Zammil M.U. «Analysis and System Level Simulation of BER on different Modulation Techniques using OFDM», 12th WSEAS International Conference on Communications, Heraklion, Greece, July 23-25, 2008.

**Шагин Анатолий Васильевич**

ФГБОУ ВПО «Национальный исследовательский университет «МИЭТ», г. Москва, Зеленоград



Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой систем автоматического управления и контроля

**Наинг Лин Зо**

ФГФООУ ВПО «Национальный исследовательский университет «МИЭТ», г. Москва, Зеленоград  
Аспирант кафедры систем автоматического управления и контроля  
E-mail: nainglinzaw49@gmail.com

**Вэй Ян Лвин**

ФГФООУ ВПО «Национальный исследовательский университет «МИЭТ», г. Москва, Зеленоград  
Аспирант кафедры систем автоматического управления и контроля

**Пью Хылам Хтут**

ФГФООУ ВПО «Национальный исследовательский университет «МИЭТ», г. Москва, Зеленоград  
Аспирант кафедры систем автоматического управления и контроля

---

*A. V. ShhAGIN (Doctor of Engineering Science, Professor, Head of the Department of Automatic Control Systems and Control)*

*NAING LIN ZO (Post-graduate Student of the Department of Automatic Control Systems and Control)*

*VE'J YaN LVIN (Post-graduate Student of the Department of Automatic Control Systems and Control)*

*P'О XY'LAM XTUT (Post-graduate Student of the Department of Automatic Control Systems and Control)  
National Research University «MIET», Moscow, Zelenograd*

**METHODS OF PROVIDING THE RELIABILITY OF INFORMATION TRANSMISSION IN INFORMATION-MANAGEMENT PLC-NETWORKS OF ENTERPRISES**

*In the article methods of providing the reliability of information transmission in information-management PLC networks of enterprises are considered. Primarily, it is aimed at a realization of basic power line communication model for PLC communication. The different levels of mapping carrier frequencies in OFDM (QPSK, 16-QAM) were simulated on the proposed model.*

**Keywords:** *PLC (Power Line Communication); numerical control system; modulation.*

**BIBLIOGRAPHY (TRANSLITERATED)**

1. Sosonkin V.L., Martinov G.M. Sistema chislovogo programmnoy upravleniya: uchebnoye posobie. – M.: Logos, 2005.
2. Kashtal'yan I.A., Klevzovich V.I. Obrabotka na stankax s chislovy'm programmny'm upravleniem. – Minsk: Vyshe'jn. shk., 1989.
3. Peterson L., Ziemer R.E., Borth D.E. Introduction to Spread Spectrum Communications. – NJ: Prentice-Hall, 1995.
4. Proakis J., Salehi M. Digital Communications. – New York: McGraw-Hill, 2008.
5. Anis M.I., Waqas M., Zammil M.U. «Analysis and System Level Simulation of BER on different Modulation Techniques using OFDM», 12th WSEAS International Conference on Communications, Heraklion, Greece, July 23-25, 2008.

УДК 004.942

С.С. ЖАРИНОВА, А.А. БАБЕНКО

## ОПТИМИЗАЦИЯ ИНВЕСТИЦИЙ В ИНФОРМАЦИОННУЮ БЕЗОПАСНОСТЬ ПРЕДПРИЯТИЯ

*Исследование посвящено проблеме эффективного инвестирования в информационную безопасность предприятия. Практическая значимость результатов исследования состоит в разработке метода оптимизации инвестиций в информационную безопасность предприятия, опирающегося на новый формализованный комплексный подход оценки эффективности инвестиций в информационную безопасность.*

*Информационную основу исследования составили открытые статистические данные об информационной безопасности предприятий и корпораций. Теоретической базой исследования являются труды об использовании современных подходов и методов к оценке эффективности инвестирования в информационную безопасность предприятий. Результаты экспериментов показали, что предложенный метод обеспечивает повышение эффективности инвестиций в информационную безопасность предприятия.*

**Ключевые слова:** информационная безопасность предприятия; оптимизация инвестиций; оценка эффективности инвестиций.

Обеспечение информационной безопасности (ИБ) предприятия сейчас представляет собой процедуру, которая подвержена воздействию комплекса внешних и внутренних дестабилизирующих факторов. Одним из таких основополагающих факторов являются инвестиции. Инвестиции – это капитал, вложенный с целью извлечения прибыли из определенного вида деятельности (инвестиции отображают перспективу окупаемости) [7]. Непосредственно с помощью инвестиций осуществляется запуск механизма реализации проектов разработки и внедрения системы защиты информации (СЗИ).

В рыночных условиях любое предприятие сосредоточено на поддержании конкурентоспособности. В таких экономических условиях критерии СЗИ «отказоустойчивость» и «эффективность» влияют опосредованно на конечные финансовые показатели предприятий (компаний, коммерческих и государственных организаций) через качество бизнес-процессов. В проигрыше остаются те компании, в которых финансирование деятельности, направленной на построение СЗИ, ведется по остаточному принципу. В связи с тем, что вклад инвестиций в развитие компаний должен быть спрогнозирован, необходимо использовать оптимизационные технологии [7]. При принятии решения об инвестировании проектов, реализующих ИБ предприятия, необходимо использовать методологию, позволяющую произвести эффективные затраты на построение, реализацию и внедрение системы информационной безопасности (СИБ). Необходимость в улучшении СЗИ и СИБ обусловлена развитием информационных систем, автоматизированных систем, информационных технологий [4]. Поэтому остро стоит проблема эффективного инвестирования не только внедрения, но и эксплуатационного сопровождения СЗИ и СИБ. Одной из основных задач по обеспечению ИБ предприятия является оценка экономической составляющей использования мер и технологий в сфере защиты информации.

Вопросы оценки эффективности инвестиций в информационную безопасность рассматриваются в работах российских и зарубежных авторов В.А. Белецкого, В.Н. Ясенева, С.А. Петренко, С.В. Симонова, М.А. Амшина, Е.З. Зиндер, D. Geer, M. Bishop и других, однако открытым является ряд вопросов: оценка эффективности инвестиций в ИБ, адаптация данной оценки к реальному времени, принятие решений об организации инвестиционного оборота предприятия в условиях недостатка статистических данных и параметрических оценок, сопоставление оценок возможных рисков и новых угроз нарушения ИБ, повышение

уровня эффективности инвестирования деятельности, направленной на реализацию ИБ предприятия. Причина этого в том, что разработка методологий инвестиционных проектов построения СИБ предприятий ведется сравнительно недавно. В связи с этим данной области исследования посвящено не так много научных работ.

Отсутствие стандартизированных методик, позволяющих оценить эффективность затрат в ИБ, сильно осложняет принятие решений специалистами ИБ, а также инвестиционных аналитиков в планировании и распределении финансов на СИБ. В работах В.Н. Ясенева, С.А. Петренко, Л.Л. Гриценко, И.М. Боярко рассматриваются следующие подходы к оценке затрат в ИБ: ССВ, Net present value (NPV), Internal Rate of Return (IRR). Основным недостатком данных подходов является то, что нельзя получить комплексную оценку эффективности инвестиций в ИБ предприятия.

В качестве решения указанной проблемы мы предлагаем оптимизацию инвестиций в ИБ предприятия, основанную на формализованной модели, получающей интегральный критерий эффективности инвестиций в ИБ. Научной новизной исследования является то, что при помощи оптимизации затрат можно повысить эффективность инвестиций в ИБ предприятия.

Оптимизация инвестиций в ИБ позволяет получить значение интегрального критерия оценки эффективности инвестиций в ИБ предприятия, который состоит из следующих параметров:

- 1) значимость информационного актива;
- 2) признак эффективности затрат;
- 3) единичный риск;
- 4) субъективный риск;
- 5) совокупный риск;
- 6) ранг процесса разработки СЗИ;
- 7) приведенная стоимость денежного потока;
- 8) коэффициент рентабельности инвестиций в ИБ;
- 9) степень риска в единицу среднего дохода;
- 10) оценка дохода от использования СЗИ.

Значимость информационного актива (ресурса, объекта информатизации, объекта защиты)  $IO$  можно определить по следующей формуле:

$$IO = \frac{E}{Y}, \quad (1)$$

где  $E$  – стоимость информационного ресурса,  $Y$  – капитал, вложенный в эксплуатацию этого информационного ресурса [3].

Признак эффективности затрат оценивается так:

$$\varphi = \frac{e}{b}, \quad (2)$$

где  $e$  – ожидаемый экономический эффект,  $b$  – расходы на разработку системы защиты информации.

Единичный риск нарушения ИБ предприятия  $R_i$  исчисляется количественно, исходя из следующей формулы:

$$R_i = p_i u_i, \quad (3)$$

где  $p_i$  – вероятность реализации  $i$ -ой угрозы нарушения информационной безопасности,  $u_i$  – ущерб, нанесенный осуществленной  $i$ -ой угрозой [5].

Субъективный риск нарушения ИБ предприятия (информационный риск)  $risk$  определяется следующим образом:

$$risk = \frac{E}{M}, \quad (4)$$

где  $E$  – общее количество рисков,  $M$  – число всех возможных рисков.

Совокупный риск  $Q$  нарушения ИБ предприятия вычисляется по формуле:

$$Q = \sum_{i=1}^n R_i + risk, \quad (5)$$

где  $n$  – количество угроз нарушения информационной безопасности предприятия.

Затраты на разработки СЗИ исчисляются рангом. Количественная оценка ранга разработки и внедрения СЗИ  $rang$  производится по следующей формуле:

$$rang = \frac{SUM * p}{s}, \quad (6)$$

где  $SUM$  – ожидаемая прибыль от внедрения системы защиты информации предприятия,  $p$  – вероятность успеха использования СЗИ,  $s$  – расходы на разработку, внедрение и поддержание высокого и стабильного уровня защищенности СЗИ.

Приведенная стоимость денежного потока  $d$  оценивается по формуле:

$$d = D + I_C W, \quad (7)$$

где  $D$  – коэффициент дисконтирования,  $I_C$  – инвестиционные затраты на проект построения и внедрения СЗИ,  $W$  – доходы, полученные от эксплуатации СЗИ.

Коэффициент рентабельности инвестиций  $r$  в информационную безопасность вычисляется по формуле:

$$r = \sum_{t=1}^T \frac{CF_t}{(1+k)^t}, \quad (8)$$

где  $t$  – начало временного периода,  $CF_t$  – денежный поток в период времени  $t$ ,  $k$  – доход от реализации проекта,  $T$  – конец временного периода.

Количественную оценку степени риска в единицу среднего дохода  $CV$  можно получить, используя формулу:

$$CV = \frac{\sigma(E)}{M(E)}, \quad (9)$$

где  $\sigma(E)$  – среднее квадратическое отклонение затрат на реализацию системы защиты информации предприятия,  $M(E)$  – математическое ожидание затрат на реализацию системы защиты информации предприятия [3, 6].

Возможный доход  $D$  (или прибыль) от применения и эксплуатации СЗИ можно оценить по формуле

$$D = Cost_1 P_o - Cost_2 (1 - P_o), \quad (10)$$

где  $P_o$  – вероятность получения дохода,  $(1 - P_o)$  – вероятность получения убытков,  $Cost_1$  и  $Cost_2$  – единицы стоимости информационного актива [2].

Такая оптимизация инвестиций в ИБ формирует инвестиционный поток в течение времени, следовательно, является динамической. Изменение инвестиционного потока характеризуется параметром «интенсивность».

Описательной характеристикой изменения инвестиционного потока является его интенсивность  $l(t)$  – среднее число изменений, произошедших в потоке в единицу времени [2]. Интенсивность позволяет оценить интервалы времени  $\Delta t_{[i-q]}$  между изменениями, произошедшими в потоке, по формуле:

$$\Delta t_{[i-q]}(t) = \frac{K}{l(t)}, \quad (11)$$

где  $K$  – суммарное количество изменений инвестиций,  $l(t)$  – интенсивность инвестиционного потока,  $i; q \in N$  – порядковые номера изменений, причем  $i \geq q$ .

Таким образом, данный метод оптимизации инвестиций в ИБ способен учитывать изменение инвестиций в ИБ предприятия с течением времени.

Изменения процессов инвестирования проектов, реализующих СИБ (или СЗИ), описываются в виде конечного автомата  $H$ , состояния которого отображает следующая формула:

$$H = \langle S^I, value, \delta, S_0^I \rangle, \quad (12)$$

где  $S^I$  – конечное состояние инвестиций,  $value$  – значение изменений инвестиций,  $\delta$  – функция переходов инвестиций из состояния  $k$  в состояние  $j$ ,  $S_0^I$  – начальное состояние инвестиций.

Следовательно, функцию переходов инвестиций  $\delta$  из состояния  $k$  в состояние  $j$  можно описать следующей формулой:

$$\delta = S^I \times value \rightarrow S^I, \quad (13)$$

Оценку потенциального ущерба  $U$  информационного актива можно получить, исходя из формулы

$$U = p_j \lambda T, \quad (14)$$

где  $p_j$  – вероятность возникновения  $j$ -ой угрозы,  $\lambda$  – воздействие угрозы нарушения информационной безопасности, которой может быть подвержен информационный ресурс,  $T$  – ценность информационного ресурса.

Таким образом, количественная оценка общего ожидаемого ущерба  $OU$  состоит из потенциальных ущербов, которым могут быть подвержены информационные ресурсы. Эту оценку можно получить по формуле:

$$OU = \sum_{j=1}^n U. \quad (15)$$

Так, параметры интегрального критерия оценки эффективности инвестиций в ИБ обозначим в виде следующего кортежа:

$$K_1 = (I_a, \varphi, R_i, risk, Q, rang, d, r, CV, D). \quad (16)$$

Присвоим весовые категории каждому параметру модели в соответствии с правилом Фишберна [3]:

$$w_i = \frac{\left[ \frac{2}{(N - n + 1)} \right]}{(N + 1) * N}, \quad (17)$$

где  $w_i$  – весовой коэффициент Фишберна для критерия оценки эффективности инвестиций в ИБ,  $N$  – общее количество параметров интегрального критерия оценки эффективности инвестиций в информационную безопасность предприятия,  $n$  – порядковый номер параметра,  $i = \overline{1,8}$ .

Таким образом, формируется система весовых коэффициентов Фишберна  $W^\Phi$ .

Условия, которым удовлетворяет система весовых коэффициентов Фишберна, задаются выражением вида [3]:

$$\begin{cases} w_i \in [0;1] \\ W^\eta = \sum_{i=1}^N w_i = 1 \end{cases}, \quad (18)$$

где  $i = \overline{1, N}$ .

В качестве оптимизационных параметров, которыми оперирует предложенная модель, выступают совокупная стоимость затрат на ликвидацию последствий реализации угрозы и иных причин вывода из строя СЗИ и суммарные выплаты источникам финансирования.

Комплексная оценка совокупной стоимости затрат  $M$  ликвидации последствий реализации угрозы и иных причин вывода из строя СЗИ (либо подсистемы ЗИ) производится при использовании следующей формулы:

$$M = \sum_{i=1}^m C_i, \quad (19)$$

где  $C_i$  – стоимость  $i$ -ой меры,  $m$  – общее число принятых мер.

Оценка суммарных выплат  $c_i$  источников финансирования формируется по следующей формуле:

$$c_i = \sum_{j=1}^n A_{i,j}, \quad (20)$$

где  $c_i$  – суммарные выплаты  $j$ -ому источнику финансирования,  $A_{i,j}$  – выплаты  $j$ -ому источнику финансирования,  $n$  – число источников финансирования,  $i, j = \overline{1, n}$ .

Оценки (19) и (20) объединим в кортеж  $K_2$ :

$$K_2 = (M, c_i), \quad (21)$$

Разработанная оптимизация инвестиций в ИБ предприятия позволяет находить решение задачи повышения эффективности инвестиций в информационную безопасность предприятия, минимизируя затраты на ИБ. Минимизация затрат на ИБ предприятия осуществляется оптимизационным процессом по формуле

$$\min(E_1 b_1 + E_2 b_2 + \dots + E_j b_n), \quad (22)$$

где  $E_j$  –  $j$ -ый критерий оптимизации,  $j = \overline{1..n}$ ,  $n$  – количество критериев,  $b_n$  – признак использования  $j$ -ого источника финансирования. Кроме того,

$$b_n = \begin{cases} 1 \\ 0 \end{cases}, \quad (23)$$

где  $b_n = 1$  – если источник финансирования был использован,  $b_n = 0$  – если источник финансирования не использовался.

Данная оптимизация инвестиций в ИБ позволяет оценить такие параметры, как: совокупная стоимость затрат ликвидации последствий реализации угрозы или иных причин вывода из строя СЗИ, суммарные выплаты источников финансирования для того, чтобы определить допустимые уровни рисков нарушения информационной безопасности предприятия. При параметрах кортежа  $K_2$  ущерб  $U$  минимален, а затраты на информационную безопасность предприятия являются эффективными, так как прибыль, полученная от внедрения средств защиты информации, больше, чем вложенный капитал.

Параметры, объединённые в кортеж  $K_1$ , позволяют определить интегральный критерий  $G$  эффективности инвестиций в информационную безопасность предприятия по следующей формуле:

$$G = \sum_{i=1}^N w_i M, \quad (24)$$

где  $w_i$  – весовой коэффициент Фишберна для параметра оценки эффективности инвестиций в информационную безопасность предприятия,  $M$  – совокупная стоимость затрат ликвидации последствий реализации угрозы и иных причин вывода из строя системы защиты информации предприятия.

Специфическими отличиями оптимизации инвестиций в ИБ предприятий от других, а также от формализованных и качественных моделей, решающих схожие задачи, являются:

- полная формализация процесса оптимизации затрат;
- оптимизация инвестиций в ИБ производит комплексную оценку затрат на ИБ предприятия;

- такая оптимизация позволяет определить интервалы времени между изменениями инвестиций в ИБ предприятия;
- данная оптимизация инвестиций в ИБ повышает уровень эффективности инвестиций в ИБ предприятия.

Результат применения оптимизации инвестиций в ИБ (ее программной реализации) отображен в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты исследования программной реализации оптимизации инвестиций в ИБ предприятия

№ испытания	Название показателя/обозначение	Входные данные		Результат
		Стоимость ИР, руб.	Эксплуатационный капитал, руб.	
1	Параметр оценки информационного актива/ $I_a$			Значимость информационного актива, единицы
		5500	1200	4
		12000	250	4
		24000	7000	3
		2600	1000	2
		14000	8700	1
2	Единичный риск/ $R_i$	Вероятность реализации угрозы	Величина ущерба от осуществления угрозы, руб.	Риск, связанный с программно – технической реализацией СЗИ, руб.
		0,3	4000	1200
		0,6	9000	5400
		0,07	2000	140
	Субъективный риск/ $risk$	Общее количество рисков	Число всех возможных рисков	Риск, связанный с технологической реализацией СЗИ
		7	10	0,7
		2	12	0,025
		10	11	0,909
	Совокупный риск/ $Q$	Субъективный риск	Единичный риск, руб.	Риск, связанный с рыночной конъюнктурой, руб.
		0,6	17000	18000
		1	8000	9000

		0,25	3400	3450	
3	Коэффициент рентабельности инвестиций/ $r$	Денежный поток за $t$ , руб.	Доход от реализации СЗИ, руб.	Период времени $t$ , дней	За 12 дней: $r = 0,12$ За 38 дней: $r = 9,76$
		1000	20000	10	
		27000	13000	16	
		12000	24000	12	
4	Ранг процесса разработки СЗИ/ $rang$	Коэффициент рентабельности	Коэффициент дисконтирования		0,83
		9,76	8		

Чтобы проанализировать полученные данные, построим асимптотический показатель эффективности инвестиций в ИБ (рис. 1).

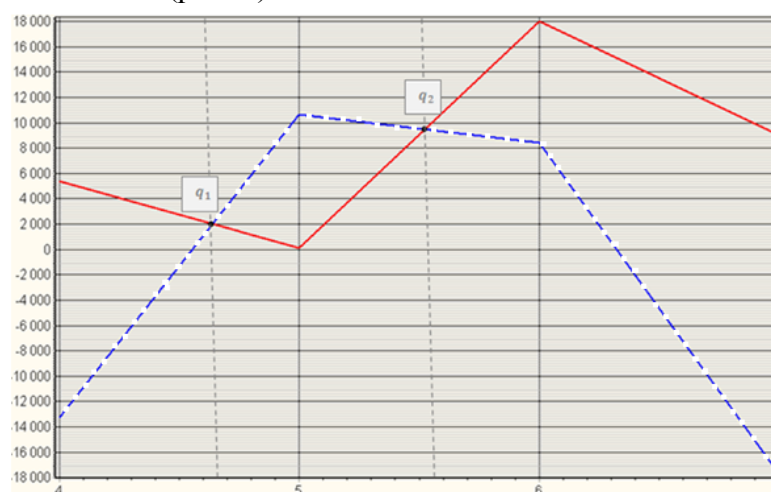


Рисунок 1 – Асимптотический показатель эффективности инвестиций в ИБ (экранная копия)

Оценка суммарных выплат источников финансирования  $c_i$ , выполненная по формуле (20), отображается в виде прямой, изображенной пунктирной линией (рис. 1). Сплошная линия показывает, что эффективные вложения на реализацию и внедрение СЗИ начинаются от значения 6000 руб. и выше. Кроме того, активно прослеживается спад эффективности вложений от 4000 руб. и ниже в 5 временном периоде. Спад наблюдался потому, что риск, связанный с рыночной конъюнктурой, составил 3450 руб., а единичный риск – 3400 руб., при субъективном риске 0,25 (то есть риску нарушения информационной безопасности были подвергнуты часть активов, подлежащих защите). Значение риска нарушения ИБ предприятия отображается как стоимость 3450 руб., которая очень близка к значению 4000 руб.

Определим суммарную стоимость информационных ресурсов:

$$E = 5500 + 12000 + 24000 + 2600 + 14000 = 58100 \text{ руб.}$$

Определим суммарный капитал, вложенный в эксплуатацию информационных ресурсов:

$$Y = 1200 + 250 + 7000 + 1000 + 8700 = 18150 \text{ руб.}$$



Чтобы получить количественное значение инвестирования, необходимо вычислить разницу  $A$  суммарной стоимости информационных ресурсов и суммарного капитала, вложенного в эксплуатацию этих информационных ресурсов:

$$A = E - Y = 58100 - 18150 = 39950 \text{ руб.}$$

Денежная сумма размером 39950 руб. была вложена на инвестирование деятельности, направленной на построение СЗИ. Но когда риск, связанный с рыночной конъюнктурой, достиг значения 18000 руб., произошел второй инвестиционный спад.

Точка  $q_1$  – критерий оптимизации суммарных выплат источников финансирования, представленный ранее как (20), а точка  $q_2$  – критерий оптимизации совокупной стоимости затрат, соответствующий (19). Интегральный критерий эффективности инвестиций в ИБ, оцененный по формуле (24), составил 1400,1.

Таким образом, эксперимент показал, что максимальным риском нарушения информационной безопасности является 18000 руб. При этом риске наблюдается снижение показателя эффективности инвестиций ИБ по обоим критериям ( $q_1$  и  $q_2$ ).

Результатом оптимизационного процесса является рост показателя эффективности инвестиций в ИБ, так как средним риском нарушения ИБ является риск, связанный с рыночной конъюнктурой, размером 9000 руб. Таким образом, данный риск является минимальным. Оптимизационный процесс показал, что при инвестировании суммы меньше 6000 руб. минимальным является риск в 2000 руб.

По проведенному исследованию можно сделать вывод, что оптимизация инвестиций в ИБ предприятия позволяет определить допустимые уровни риска нарушения ИБ, при которых прибыль, полученная от инвестиций, будет максимальной. В рассмотренном частном случае допустимыми уровнями риска нарушения ИБ являются значения 2000 руб. и 9000 руб. Данные уровни риска были получены с помощью программной реализации метода оптимизации инвестиций в ИБ предприятия в ходе проведения экспериментальных исследований. Следовательно, предложенный метод оптимизации инвестиций в ИБ предприятия позволил повысить уровень эффективности инвестирования деятельности, направленной на построение, реализацию, внедрение и эксплуатацию СИБ.

Перспективами дальнейшего развития оптимизации инвестиций в ИБ предприятия являются:

- разработка модели оценки качества инвестирования ИБ предприятия;
- централизованное управление ИБ предприятия;
- автоматизация инвестиционного оборота;
- автоматизированное управление процессами инвестирования ИБ предприятия;
- разработка подходов и методов принятия решения и управления ИБ предприятий в условиях минимального финансирования;
- исследование практических аспектов управления ИБ как системы в целом посредством агентов управления.

Повышение эффективности инвестиционных проектов реализации СЗИ, СИБ, а также систем, направленных на установление режима ИБ можно найти в системах синтеза, таких, как:

- система синтеза проектов рациональных катастрофоустойчивых решений для корпоративных информационных систем;
- система синтеза адаптивных систем обеспечения ИБ корпоративных сетей
- система синтеза ИБ корпоративных порталов.

Так, система синтеза проектов рациональных катастрофоустойчивых решений для корпоративных информационных систем является элементом стратегии планирования непрерывности функционирования бизнеса. Поэтому можно сделать вывод, что оптимизация

инвестиций в ИБ предприятия может выступать в качестве подсистемы системы, модель которой подробно описана в [1].

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аткина В.С. Система синтеза проектов рациональных катастрофоустойчивых решений для корпоративных информационных систем // Информационные системы и технологии, 2013. – № 4(78), 2013. – С. 122-130.
2. Боярко И. М., Гриценко Л.Л. Инвестиционный анализ. – К.: Центр учебной литературы, 2012. – 400 с.
3. Орлов А.И. Прикладная статистика. – М: Экзамен, 2006. – 672 с.
4. Петренко С.А., Симонов С.В., Кислов Р.И. Информационная безопасность: экономические аспекты [Электронный ресурс]. – URL: [http://www.jetinfo.ru/Sites/new/Uploads/2003\\_10.319A4A356B684F33A06E15C657633935.pdf](http://www.jetinfo.ru/Sites/new/Uploads/2003_10.319A4A356B684F33A06E15C657633935.pdf) (дата обращения: 02.09.2013).
5. Симонов С.В. Технологии и инструментарий для управления рисками [Электронный ресурс]. – URL: [http://www.jetinfo.ru/Sites/new/Uploads/2003\\_2.319A4A356B684F33A06E15C657633935.pdf](http://www.jetinfo.ru/Sites/new/Uploads/2003_2.319A4A356B684F33A06E15C657633935.pdf) (дата обращения: 12.05.2013).
6. Чудин А. Методы оценки эффективности ИТ на этапе эксплуатации [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.google.ru/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CCkQFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.spellabs.ru%2Fdownload%2Fit-efficiency.pdf&ei=aW5ZUuuVLqi74ASHrYHgDg&usg=AFQjCNFpm8yjP4G6LAyLQio3WWDtGxhzGA&sig2=9Fbn1eoR5sUvWUeO7MvXQ&bvm=bv.53899372,d.bGE&cad=rjt> (дата обращения: 18.04.2013).
7. Ясенев В.Н. Информационная безопасность в экономических системах. Учебно-методическое пособие. Нижний Новгород: Федеральное агентство по образованию, Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского», 2006.

**Жаринова Светлана Сергеевна**

Волгоградский государственный университет, г. Волгоград  
Студент кафедры информационной безопасности  
Тел.: 8 (8442) 46-03-68  
E-mail: one1100n@gmail.com

**Бабенко Алексей Александрович**

Волгоградский государственный университет, г. Волгоград  
Кандидат педагогических наук, доцент, доцент кафедры информационной безопасности  
Тел.: 8 (8442) 46-03-68  
E-mail: ba\_benko@mail.ru

---

S.S. ZhARINOVA (*Student of the Department of Information Security*)

A.A. BABENKO (*Candidate of Pedagogic Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Information Security*)  
*Volgograd State University, Volgograd*

#### OPTIMIZING INVESTMENTS IN INFORMATION SECURITY FOR BUSINESS

*The research is devoted to the problem of effective investment activities in information security for business. The practical significance of the research results is to develop a method for optimizing investments in information security for business that is based on a new formal comprehensive approach for estimating efficiency of investments in information security for business.*

*The information foundation for the research is open statistical data on the information security for business. The theoretical foundation for the research is works on the use of modern methods and approaches for estimating*

*efficiency of investments in information security for business. The experimental results have shown that the proposed method ensures a higher efficiency of investments in information security for business.*

**Keywords:** *information security for business; optimizing investments; estimating efficiency of investments.*

#### BIBLIOGRAPHY (TRANSLITERATED)

1. Atkina V.S. Sistema sinteza proektov racional'nyx katastrofoustojchivyx reshenij dlya korporativny'x informacionny'x sistem // Informacionny'e sistemy' i tehnologii, 2013. – № 4(78). – S. 122-130.
2. Boyarko I.M., Gricenko L.L. Investicionny'j analiz. – K.: Centr uchebnoj literatury', 2012. – 400 s.
3. Orlov A.I. Prikladnaya statistika. – M: E'kzamen, 2006. – 672 s.
4. Petrenko S.A., Simonov S.V., Kislov R.I. Informacionnaya bezopasnost': e'konomicheskie aspekty' [E'lektronny'j resurs]. – URL: [http://www.jetinfo.ru/Sites/new/Uploads/2003\\_10.319A4A356B684F33A06E15C657633935.pdf](http://www.jetinfo.ru/Sites/new/Uploads/2003_10.319A4A356B684F33A06E15C657633935.pdf) (data obrashheniya: 02.09.2013).
5. Simonov S.V. Texnologii i instrumentarij dlya upravleniya riskami [E'lektronny'j resurs]. – URL: [http://www.jetinfo.ru/Sites/new/Uploads/2003\\_2.319A4A356B684F33A06E15C657633935.pdf](http://www.jetinfo.ru/Sites/new/Uploads/2003_2.319A4A356B684F33A06E15C657633935.pdf) (data obrashheniya: 12.05.2013).
6. Chudin A. Metody' ocenki e'ffektivnosti IT na e'tape e'kspluatacii [E'lektronny'j resurs]. – URL: <https://www.google.ru/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CCkQFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.spellabs.ru%2Fdownload%2Fit-efficiency.pdf&ei=aW5ZUuuvLqi74ASHrYHgDg&usq=AFQjCNFpm8yjP4G6LayLQio3WWDtGxhzGA&sig2=9Fbzn1eoR5sUvWUeO7MvXQ&bvm=bv.53899372,d.bGE&cad=rjt> (data obrashheniya: 18.04.2013).
7. Yasenev V.N. Informacionnaya bezopasnost' v e'konomicheskix sistemax. Uchebno-metodicheskoe posobie // Nizhnij Novgorod: Federal'noe agentstvo po obrazovaniyu, Gosudarstvennoe obrazovatel'noe uchrezhdenie vy'sshego professional'nogo obrazovaniya «Nizhegorodskij gosudarstvenny'j universitet im. N.I. Lobachevskogo», 2006.

## 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.